



University of Freiburg
Department of International Economic Policy
Discussion Paper Series
Nr. 16

Gestaltungskriterien für ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll

*Eine ökonomische Analyse des globalen
Klimaschutzes*

Carolin Kleber

July 2011

ISSN 1866-4113

University of Freiburg
Department of International Economic Policy
Discussion Paper Series

The Discussion Papers are edited by:
Department of International Economic Policy
Institute for Economic Research
University of Freiburg
D-79085 Freiburg, Germany
Platz der Alten Synagoge 1

Tel: +49 761 203 2342
Fax: +49 761 203 2414
Email: iep@vwl.uni-freiburg.de

Editor:
Prof. Dr. Günther G. Schulze

ISSN: 1866-4113
Electronically published: 7.7.2011

Gestaltungskriterien für ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll

– Eine ökonomische Analyse des globalen
Klimaschutzes –

von

Carolin Kleber

Juni 2011

Abstract

Latest findings of climate change research indicate that anthropogenic greenhouse gas emissions since the beginning of the industrial revolution have significantly contributed to the observed rise in global mean temperature. In addition, a further rise, with the potential passing of critical “tipping points” in the climate system, is projected if emissions are not reduced. The Kyoto Protocol regulates the emissions from most developed countries for the period from 2008 to 2012. However, since the treaty came into force, the concentration of greenhouse gases in the atmosphere has been growing continuously. For the time past 2012, a post-Kyoto agreement is indispensable in order to effectively control worldwide emissions and to slow global warming. This paper defines necessary criteria for the construction of such an agreement from an economic point of view. The three major elements that characterize an international climate treaty are the emissions reduction path, the contracting parties and the instruments for achieving the agreed-upon targets. This paper shows that global emission reductions should be determined via the use of an Integrated Assessment Model (IAM) to equalize marginal costs and benefits of mitigation. An examination of the effectiveness of sub-global treaties reveals that induced emission reductions could either be offset or even overcompensated by increases in other states through the channels of carbon leakage and the so-called “green paradox”. Therefore it is essential that a post-Kyoto agreement includes all or at least the most important global emitters. Although the well-known Weitzman theorem advocates the use of price-based rather than quantity-based instruments in climate policy, this paper recommends using an international cap-and-trade system. This market-based instrument overcomes implementation problems related to international taxes and is better suited to reach ecological effectiveness. Additional mechanisms for improving time flexibility can be used to avoid allowance price volatility and undesirable high compliance costs. A burden sharing rule that determines the allocation of emissions allowances among the contracting parties should be based on a “polluter-pays”- as well as an “ability-to-pay”-principle. This combination is likely to reveal a high level of acceptance among the negotiating states because it seems to be a reasonable application of the idea of the “common, but differentiated responsibilities” specified in the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The paper concludes with the determination of enforcement strategies and a discussion of implementation problems. The definition of a less ambitious reduction target as well as the use of “issue linkage” could be helpful strategies to achieve a higher probability of international cooperation.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	i
Abkürzungsverzeichnis	ii
1. Einleitung	1
2. Das globale Problem	2
2.1 Der Klimawandel	2
2.2 Zielformulierungen einer effizienten globalen Klimapolitik	8
2.2.1 Integrated Assessment Models	10
2.2.1 Die Berücksichtigung von Unsicherheit	15
3. Ein globales Abkommen	19
3.1 Probleme subglobaler Klimaschutzpolitik: Der Leakage-Effekt und das grüne Paradoxon	19
3.1.1 Die Wirkungskanäle des Leakage-Effekts	20
3.1.2 Sensitivitätsanalyse	25
3.1.3 Das grüne Paradoxon	28
3.2 Nationale Bestimmungsfaktoren für den Beitritt zu einem internationalen Klimaschutzabkommen	32
3.2.1 Kosten-Nutzen-Kalküle	33
3.2.2 Gerechtigkeitsaspekte und politische Ökonomie	38
4. Ein Instrumentarium zur effektiven Umsetzung globaler Klimaschutzpolitik	43
4.1 Instrumente zur Reduktion von Treibhausgasen: Steuern versus Emissionshandel	43
4.1.1 Theoretische Überlegungen: Das Weitzman-Theorem	46
4.1.2 Implementierungsschwierigkeiten von Steuern	48
4.1.3 Instrumente zur Reduktion von Unsicherheiten bezüglich der Zertifikatepreise im Fall eines internationalen Emissionshandels	51
4.1.4 Transformation des Status Quo zur Implementierung eines internationalen Emissionshandelssystems	57
4.2 Die Ausgestaltung von Lastenteilung und Durchsetzung der Verpflichtungen unter Einsatz eines internationalen Emissionshandels	59
4.2.1 Die Lastenteilung	60
4.2.2 Durchsetzungsmechanismen	68
4.3 Umsetzungsprobleme und Lösungsansätze	71
5. Zusammenfassung	74
Literaturverzeichnis	77

Abkürzungsverzeichnis

AAU	Assigned Amount Unit
BAU	business as usual
CaC	Command and Control
CCS	Carbon Capture and Storage
CDM	Clean Development Mechanism
CER	Certified Emission Reduction
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
EEA	European Environment Agency
EIA	United States Energy Information Administration
ERU	Emission Reduction Unit
EU-ETS	European Union Emissions Trading Scheme
F&E	Forschung und Entwicklung
GWP	Global Warming Potential
IAM	Integrated Assessment Model
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JI	Joint Implementation
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WMO	World Meteorological Organization
WRI	World Resources Institute
WTO	World Trade Organization

1. Einleitung

Ergebnisse umfassender Forschungen im Bereich der Klimawissenschaft bestätigen, dass in erster Linie der zunehmende Ausstoß von Treibhausgasen seit Beginn des industriellen Zeitalters zu einer Erwärmung des Klimasystems beigetragen hat.¹ Die Folgen sind ein Anstieg des Meeresspiegels, ein Abschmelzen von Eismassen und eine Häufung extremer Wetterereignisse. Prognosen legen den Schluss nahe, dass ohne eine künftige Beschränkung der Emissionen die Temperaturen weiter ansteigen werden. Ebenso das Risiko einer Überschreitung kritischer Temperaturschwellenwerte, die eine qualitative Veränderung von Teilen unseres Klimasystems zur Folge hätte.

Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen reguliert den Ausstoß der Treibhausgase seiner Vertragsparteien innerhalb der Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012.² Um die Emissionen nach diesem Zeitraum weiterhin kontrollieren zu können, werden bereits internationale Verhandlungen über ein Folgeabkommen geführt. Trotz in Kraft treten des Kyoto-Protokolls im Jahr 2005 sind die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen weiter angestiegen. Daher stellt sich die Frage, wie ein Folgeabkommen ausgestaltet werden sollte, um einen effektiveren Klimaschutz gewährleisten zu können. Die Festlegung entsprechender Gestaltungskriterien ermöglicht eine Identifizierung und Überwindung von Schwächen des geltenden Protokolls. Der Hauptanknüpfungspunkt besteht zweifellos in einer Ausweitung der von Reduktionsverpflichtungen betroffenen Staaten: Bisher sind lediglich Industrieländer zur Einschränkung ihrer Emissionen angehalten, dabei besteht die Gruppe der 25 weltweit größten Emittenten fast zur Hälfte aus Entwicklungs- und Schwellenländern.³

Zur Spezifikation eines künftigen Klimaschutzabkommens ist es erforderlich, Aussagen über weltweite Reduktionsziele für Treibhausgase zu treffen und zugehörige Zeitpläne zu definieren. Darüber hinaus müssen die Zusammensetzung der Vertragsparteien und Instrumente zur Umsetzung der globalen Klimaschutzpolitik bestimmt werden.

Hierzu wird im Folgenden zunächst die naturwissenschaftliche Seite des Klimawandels durchleuchtet. Anschließend erfolgt eine Problemformulierung aus ökonomischer Perspektive, die zur adäquaten Zielformulierung instrumentalisiert wird. Der Anspruch besteht darin, einen Emissionsreduktionspfad zu bestimmen, bei dem die Summe aus

¹ Vgl. IPCC (2007b), S. 2 ff. Die wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels sowie Folgenabschätzungen werden innerhalb des Unterkapitels 2.1 behandelt.

² Vgl. UN (1998), Art. 3, Abs. 1, S. 3.

³ Vgl. World Resources Institute (WRI) (2009b), S. 2.

Umweltschäden und Emissionsvermeidungskosten minimiert wird. Im darauf folgenden Kapitel wird argumentiert, dass aus theoretischer Sicht Klimaschutz auf globaler Ebene vereinbart werden sollte. Die problematischen Folgen subglobaler Klimapolitik werden durch die Analyse des Leakage-Effekts sowie des grünen Paradoxons deutlich. Anhand der unterschiedlichen Interessen verschiedener Ländergruppen werden im Anschluss Gründe dafür aufgezeigt, warum bisher keine Einigung über eine künftige gemeinsame Klimaschutzpolitik erzielt werden konnte. Im letzten Kapitel werden schließlich geeignete Instrumente zur Treibhausgasreduktion, Mechanismen zur Lastenteilung und zur Durchsetzung der Verpflichtungen der Vertragsparteien erörtert. Dieses Kapitel beinhaltet in Bezug auf die Beschränkung der Treibhausgase eine Empfehlung zur Implementierung eines internationalen Emissionshandels. Die Arbeit schließt mit Hinweisen auf Umsetzungsschwierigkeiten und einer Bewertung möglicher Strategien, die zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit einer zukünftigen Realisierung des Klimaschutzabkommens beitragen können.

2. Das globale Problem

2.1 Der Klimawandel

Eine Quelle zur Informationsbeschaffung von Daten zum Klimawandel bietet das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), das von dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization, WMO) begründet wurde. Es befasst sich seit 1988 mit der Aufbereitung wissenschaftlicher Fakten über Klimaänderungen, deren potenziellen Folgen und möglichen Anpassungsmaßnahmen.⁴

Zur Temperaturentwicklung liefert das IPCC folgende Daten: Im Zeitraum von 1906 bis 2005 ist die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur um ca. $0,74^{\circ}\text{C}$ angestiegen.⁵ Der mittlere Temperaturanstieg pro Dekade beträgt demnach für den gesamten Zeitraum ca. $0,07^{\circ}\text{C}$.⁶ Bei isolierter Betrachtung der letzten 50 Jahre verdoppelt sich diese Rate allerdings nahezu auf annähernd $0,13^{\circ}\text{C}$.⁷ Der europäische Sommer des Jahres 2003 gilt als der heißeste seit Beginn vergleichbarer Aufzeichnungen im Jahr 1780.⁸ Eine aktuellere Meldung des

⁴ Informationen über das IPCC finden sich auf der Homepage der Deutschen IPCC-Koordinierungsstelle, vgl. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2009).

⁵ Vgl. Trenberth et al. (2007), S. 237.

⁶ Vgl. ebenda.

⁷ Vgl. ebenda.

⁸ Vgl. ebenda, S. 311.

britischen Met Office erklärt das Jahrzehnt von 2000 bis 2009 zum wärmsten seit Temperaturlaufzeichnungen ab dem Jahr 1850.⁹

Diese Temperaturänderungen decken sich mit Beobachtungen des Schnee- und Eisvorkommens sowie des Meeresspiegels. Besonders deutlich sind Veränderungen in der Ausdehnung des arktischen Meereises sichtbar: Die vier geringsten Ausmaße der Eisfläche seit Satellitenmessungen über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren wurden zwischen 2005 und 2009 gemessen.¹⁰ Ein extremer Rückgang der Eisschicht war 2007 zu verzeichnen, der zehnmal höher ausfiel, als die durchschnittliche jährliche Reduktion innerhalb der vorangegangenen zehn Jahre.¹¹ Die mittlere Schrumpfung der arktischen Eismasse liegt damit momentan bei 11,6 % pro Jahrzehnt,¹² während das IPCC im Jahr 2007 noch einen Wert von 2,7 % angab¹³. Ein weiteres sichtbares Zeichen der erhöhten Temperaturen ist der Schwund von Gletschern. Die Eisfläche am Kilimandscharo liefert hierfür ein eindrucksvolles Beispiel: In den Jahren zwischen 1912 und 2007 hat sie um ca. 85 % abgenommen.¹⁴ Berechnungen zufolge könnte der Gletscher innerhalb von ein bis zwei Jahrzehnten vollständig geschmolzen sein.¹⁵ Schließlich ist ein Anstieg des Meeresspiegels zu verzeichnen, was zum großen Teil auf Zuflüsse von schmelzenden Gletschern und Eiskappen zurückzuführen ist.¹⁶ Eine weitere wesentliche Ursache für den steigenden Meeresspiegel liegt in der Ausdehnung der Ozeane im Zuge ihrer Erwärmung.^{17,18} Der geschätzte lineare Trend des Meeresspiegelanstiegs auf Grundlage von Satellitenmessungen liegt gegenwärtig zwischen 3 und 3,5 mm pro Jahr.¹⁹

Der vierte Sachstandsbericht des IPCC von 2007 kommt zu dem Schluss, dass Beobachtungen von Temperatur, Meeresspiegel und Schnee- und Eisvorkommen eindeutig auf eine Erwärmung des Klimasystems schließen lassen.²⁰ Die potenziellen Ursachen des beobachteten Klimawandels können anhand von Klimasimulationen festgestellt werden.²¹

⁹ Vgl. Met Office (2009), o. S.

¹⁰ Vgl. Carlowicz (2009), o. S.

¹¹ Vgl. ESA (2007), o. S.

¹² Vgl. Carlowicz (2009), o. S.

¹³ Vgl. Lemke et al. (2007), S. 351.

¹⁴ Vgl. Thompson et al. (2009), S. 6.

¹⁵ Vgl. ebenda.

¹⁶ Vgl. Bindoff et al. (2007), S. 418.

¹⁷ Das Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen von 2006 gibt für die gesamte globale durchschnittliche Temperatur der Ozeane eine Erhöhung von lediglich 0,04°C seit 1955 an. Die Meeresoberflächentemperatur der Ozeane hat sich aber seit Anfang des 20. Jahrhunderts bereits um 0,6°C erhöht, vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006), S. 2.

¹⁸ Vgl. Bindoff et al. (2007), S. 414 ff.

¹⁹ Vgl. Cazenave et al. (2009), S. 3.

²⁰ Vgl. IPCC (2007b), S. 5.

²¹ Der Begriff Klimawandel betrifft Änderungen des Klimas, die entweder durch natürliche Schwankungen oder durch menschliche Aktivitäten verursacht wurden. Vgl. hierzu die Definitionen für Klima und Klimawandel

Grundsätzlich kommen natürliche interne Prozesse, wie sich ändernde Meeresströmungen, sowie externe Faktoren als Auslöser für Klimaänderungen in Frage.²² Bei letzteren unterscheidet man zusätzlich zwischen natürlichen Einflüssen, wie der Sonneneinstrahlung oder Vulkaneruptionen, und solchen, die vom Menschen verursacht wurden, wozu vor allem der Ausstoß von Treibhausgasen und Aerosolen gehört.²³ Simulationen zur Reproduktion des beobachteten Klimawandels machen deutlich, dass ausschließlich solche Klimamodelle, die sowohl natürliche als auch anthropogene Faktoren einbeziehen, in der Lage sind, den Temperaturanstieg des 20. Jahrhunderts zu erklären.²⁴ Zudem legen sie den Schluss nahe, dass der Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre „sehr wahrscheinlich“ hauptsächlich für die Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts verantwortlich ist.²⁵

Treibhausgase sind für den Erhalt eines lebensfreundlichen Klimas auf der Erde entscheidend. Die generierte Wärme auf der Erdoberfläche durch Sonneneinstrahlung würde ohne sie zum großen Teil wieder in Form von Wärmestrahlung ins Weltall abgegeben. In diesem Fall betrüge die mittlere Erdoberflächentemperatur nicht mehr als -18°C . Durch den natürlichen Treibhauseffekt wird ein Teil dieser Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückgehalten, was die Oberflächentemperatur um 33 Grad auf $+15^{\circ}\text{C}$ erhöht.²⁶ Die zu beobachtende zunehmende Konzentration der Treibhausgase verstärkt den Treibhauseffekt:²⁷ Eine höhere Gaskonzentration in der Atmosphäre führt zu einer gesteigerten Absorption der Wärmestrahlung, wodurch sich das Klima erwärmt. Der Strahlungsantrieb eines Treibhausgases gibt dabei dessen Einfluss auf die Änderung der Nettostrahlung an.²⁸

Wasserdampf ist für ca. 60 % des natürlichen Treibhauseffektes verantwortlich und daher das wichtigste Treibhausgas.²⁹ Seine Konzentration in der Atmosphäre unterliegt allerdings größtenteils der natürlichen Variabilität des Klimasystems und kann durch den Menschen kaum beeinflusst werden.³⁰ Problematisch hingegen ist vor allem der zu verzeichnende Anstieg sechs wichtiger anthropogener Treibhausgase bzw. Treibhausgasgruppen, deren

des IPCC im Glossar des vierten Sachstandsbericht Baede (2007), S. 78. Diese Definition des Klimawandels unterscheidet sich von anderen Definitionen, wie etwa derjenigen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), wonach der Begriff Klimawandel für eine direkt oder indirekt durch den Menschen verursachte Änderung der globalen Atmosphäre steht, vgl. United Nations (UN) (1992), Art. 1, S. 3.

²² Vgl. Hegerl et al. (2007), S. 667

²³ Vgl. ebenda. Eine nähere Betrachtung der Aerosole folgt weiter unten.

²⁴ Vgl. Hegerl et al. (2007), S. 684 f.

²⁵ Vgl. ebenda, S. 665. Der Ausdruck „sehr wahrscheinlich“ steht für das Zutreffen mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit, vgl. IPCC (2007a), S. 27.

²⁶ Vgl. zum Treibhauseffekt Rahmstorf und Schellnhuber (2006), S. 30 ff.

²⁷ Vgl. hierzu ebenda, S. 12 f.

²⁸ Zum Konzept des Strahlungsantriebs vgl. Forster et al. (2007), S. 133 ff.

²⁹ Vgl. Kiehl und Trenberth (1997), S. 202 f.

³⁰ Rahmstorf und Schellnhuber (2006), S. 35 f.

Emissionen bereits durch das 2005 in Kraft getretene Kyoto-Protokoll reguliert werden. Diese sind: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O, Lachgas), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs) und Schwefelhexafluorid (SF₆).^{31,32}

Treibhausgase verteilen sich aufgrund ihrer Langlebigkeit gleichmäßig in der Atmosphäre.³³ Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres globalen Erwärmungspotenzials (Global Warming Potential, GWP), das sich aus ihrer Verweildauer in der Atmosphäre sowie aus ihrem Strahlungsantrieb zusammensetzt.³⁴ Um sie vergleichbar zu machen, werden die einzelnen Treibhausgase in CO₂ äquivalente Gase, dessen GWP auf eins normiert ist, umgerechnet. Die Konzentration der sechs „Kyoto-Gase“ in der Atmosphäre hat sich gegenüber dem vorindustriellen Niveau kontinuierlich erhöht. Von 278 ppm im Jahr 1750 ist sie bis zum Jahr 2007 auf 436 ppm CO₂-Äquivalente (CO₂e) angestiegen.^{35,36}

CO₂, das vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe anfällt, hat einen Anteil von 63,5 % an der gesamten Verstärkung des Treibhauseffekts seit 1750 und gilt damit als das wichtigste anthropogene Treibhausgas.³⁷ Daneben werden oft Methan und Lachgas, mit Anteilen von 18,2 bzw. 6,2 % an der Treibhauseffektverstärkung, als Gase mit hohem Einfluss auf die Erwärmung angeführt.³⁸ Beide werden hauptsächlich in der Landwirtschaft emittiert.³⁹

Einen Indikator für den Einfluss von Treibhausgasen auf die Temperaturentwicklung liefert die Klimasensitivität. Sie gibt an, um wie viel Grad Celsius die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur bei einer Verdoppelung der Treibhausgaskonzentration ansteigt.⁴⁰ Der wahrscheinlichste Wert für die Klimasensitivität liegt verschiedenen Modellrechnungen zufolge bei 3°C.⁴¹ Vor allem aufgrund der Luftverschmutzung durch Aerosole fällt der

³¹ Die Gase sind in Anlage A des Kyoto-Protokolls aufgelistet, vgl. UN (1998), S. 19. Eine Übersicht über Eigenschaften und Konzentrationsentwicklungen der einzelnen Gase findet sich auf der Homepage der Datenbank EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research) der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission, vgl. EDGAR (2010), o. S.

³² Ozonschädigende Treibhausgase werden bereits seit über 20 Jahren erfolgreich durch das Montreal-Protokoll reguliert und daher im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Vgl. hierzu den Fortschrittsbericht des Umweltprogramms der Vereinten Nationen, UNEP (2007).

³³ Vgl. Rahmstorf und Schellnhuber (2006), S. 36.

³⁴ Zum Konzept des GWP vgl. Forster et al. (2007), S. 210.

³⁵ Die Konzentration von Treibhausgasen wird typischerweise in „parts per million“ (ppm) angegeben.

³⁶ Vgl. European Environment Agency (EEA) (2009), o. S.

³⁷ Vgl. WMO (2009), S. 2.

³⁸ Vgl. ebenda, S. 3.

³⁹ Vgl. EDGAR (2010), o. S.

⁴⁰ Zur Klimasensitivität vgl. Rahmstorf und Schellnhuber (2006), S. 42 ff.

⁴¹ Sehr wahrscheinlich liegt die Klimasensitivität zwischen 2 und 4,5°C. Höhere Werte können allerdings nicht vollständig ausgeschlossen werden, vgl. Meehl et al. (2007), S. 798 f.

tatsächliche Temperaturanstieg allerdings geringer aus.⁴² Aerosolteilchen sind winzige Schwebepartikel und entstehen zum Beispiel bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe oder durch Autoabgase.⁴³ Aber auch Wüstenstaub oder Meersalz zählen dazu. Aerosole haben einen abkühlenden Effekt auf das Klima, da sie einen Teil der Sonneneinstrahlung daran hindern, bis zur Erdoberfläche vorzudringen, was die Erwärmung des Erdbodens abschwächt. Ihre Lebensdauer beträgt allerdings nur wenige Tage, während langlebige Treibhausgase bis zu Jahrhunderten in der Atmosphäre verbleiben.⁴⁴ Der abkühlende Effekt anthropogener Aerosole ist daher auf eine kurze Zeitspanne im Anschluss an die Emission begrenzt. Zudem wirkt sich ein Anstieg der Konzentration von Schwebepartikeln negativ auf die menschliche Gesundheit aus, da diese giftige Substanzen in die Lunge transportieren können.⁴⁵

Der moderat erscheinende global gemittelte Temperaturanstieg von 0,13°C pro Dekade seit Mitte des 20. Jahrhunderts steht im Gegensatz zu extremen Wetterereignissen auf regionaler Ebene. Ein im Dezember 2009 von der UNEP veröffentlichtes Kompendium zum Klimawandel hat zahlreiche signifikante Wetterextreme der letzten drei Jahre, basierend auf Daten der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), zusammengetragen.⁴⁶ So erlebten Länder wie Chile, Argentinien, Paraguay und Uruguay im Jahr 2008 die extremsten Dürren seit 50 Jahren. Mosambik, Malawi und Zimbabwe wurden dagegen überschwemmt und Algerien traf das stärkste Hochwasser seit einem Jahrhundert. 2009 erfasste Südaustralien eine Hitzewelle mit Temperaturen von bis zu 45°C, während in Bagdad 2008 zum ersten Mal seit Menschengedenken Schnee fiel. Große Teile Norwegens, Schwedens und Finnlands erlebten 2008 den wärmsten Winter der je aufgezeichnet wurde, wobei Usbekistan eine Kältewelle mit den niedrigsten Temperaturen seit 40 Jahren heimsuchte. Im Atlantik wurden allein im Jahr 2008 vier Hurrikans der Kategorie 4 gemessen.⁴⁷ Taiwan erreichte 2009 ein Taifun, der die schwerwiegendsten Überschwemmungen seit 50 Jahren verursachte.

Um eine Änderung der Häufigkeit bzw. Intensität dieser extremen Ereignisse festzustellen, werden langfristige konsistente Datenerhebungen auf regionaler Ebene benötigt. Außerdem ist eine direkte Zurückführung einzelner extremer Ereignisse auf anthropogene Faktoren nicht

⁴² Die folgenden Angaben zu Aerosolen beziehen sich, wenn nicht anders angegeben auf Kinne und Quaas (2007).

⁴³ Vgl. Prather (2009), S. 377.

⁴⁴ Eine Auflistung verschiedener Treibhausgase und ihrer „Lebensdauer“ bzw. Halbwertszeit findet sich in Isaksen et al. (1992), S. 56.

⁴⁵ Vgl. Prather (2009), S. 377.

⁴⁶ Vgl. zu den folgend genannten extremen Wetterereignissen UNEP (2009), S. 2 f.

⁴⁷ Dies ist die zweithöchste Kategorie und betrifft Stürme mit Windgeschwindigkeiten von 210 bis 249 km/h, vgl. Schwanke et al. (2009), S. 106.

möglich, da oft mehrere natürliche und externe Einflüsse zusammenspielen. Bisher werden daher Klimamodelle zur Bestimmung des menschlichen Einflusses auf die Wahrscheinlichkeit extremer Ereignisse eingesetzt.⁴⁸

Laut viertem Sachstandsbericht des IPCC haben anthropogene Einflüsse mit einer Wahrscheinlichkeit von über 50 % zur Erhöhung des Risikos von Hitzewellen, zu einer globalen Ausweitung der von Dürre betroffenen Gebiete seit den 1970ern und zum Anstieg der Häufigkeit starker Niederschläge beigetragen.⁴⁹ Umstritten ist bisher der Einfluss des Klimawandels auf die Intensität und Häufigkeit tropischer Wirbelstürme.⁵⁰ Genauere Aussagen können erst bei Weiterentwicklung der Klimamodelle bzw. einer Ausweitung der Datenbasis getroffen werden.

Werden die Treibhausgasemissionen künftig nicht beschränkt (business as usual- bzw. BAU-Szenario), so muss Prognosen zufolge mit einem weiteren Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 um 4 bis 7°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau gerechnet werden.⁵¹ Diese beträchtliche Bandbreite resultiert zum großen Teil aus Unsicherheiten bezüglich der tatsächlichen Emissionsmenge. Außerdem verbleibt nur ein Teil des ausgestoßenen CO₂ in der Atmosphäre, während der Rest von natürlichen Senken wie Ozeanen oder Wäldern gespeichert wird.⁵² Auch die Wirkung sogenannter Klima-Feedbacks auf den Temperaturanstieg kann nicht abschließend vorausgesagt werden. So erhöht sich die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre im Zuge der globalen Erwärmung, was wiederum zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes führt. Ein weiterer Feedback-Prozess besteht in der Veränderung des Ausmaßes von Eisflächen. Schmelzende Eismassen verringern die Reflektion der Sonneneinstrahlung und tragen somit zu einer weiteren Temperaturerhöhung bei.⁵³

Schon weitaus geringere Temperaturveränderungen als die prognostizierten können gravierende Auswirkungen haben. Dies zeigt die Analyse sogenannter „tipping points“, d. h. kritischer Schwellenwerte, deren Überschreitung eine qualitative Veränderung von Teilen unseres Klimasystems bedeutet.⁵⁴ Ein Beispiel betrifft die Eisdecke Grönlands, deren Masse bereits abnimmt. Eine globale Erwärmung von 1 bis 2°C könnte zu einer Destabilisierung der

⁴⁸ Vgl. Hegerl et al. (2007), S. 698 f.

⁴⁹ Vgl. IPCC (2007a), S. 40 f.

⁵⁰ Eine Übersicht über den Forschungsstand liefern Walsh et al. (2009).

⁵¹ Vgl. Allison et al. (2009), S. 49.

⁵² Vgl. Denman et al. (2007), 514 f.

⁵³ Zu Feedback-Prozessen vgl. Bony et al. (2006).

⁵⁴ Vgl. für Definition und eine Auflistung relevanter „tipping points“ Lenton et al. (2008).

Eisdecke führen, bei der jedes Jahr mehr Eis schmilzt, als durch Schneefälle hinzukommt.⁵⁵ Das vollständige Abschmelzen der Eismasse hätte einen Meeresspiegelanstieg von bis zu sieben Metern zur Folge. Hierfür werden allerdings mindestens 300 Jahre veranschlagt. Ein weiteres sensibles System ist der Amazonas-Regenwald. Ab einer Erwärmung von 3 bis 4°C muss mit massivem Waldsterben gerechnet werden. Dies ist vor allem auf einen erwarteten Anstieg der Trockenheit im Amazonasbecken zurückzuführen. In der Folge wäre mit einem weiteren Rückgang der Regenfälle zu rechnen. Außerdem würden große Mengen des in Bäumen und Boden gespeicherten CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt und der Treibhauseffekt damit erneut verstärkt. Allerdings trägt auch die Abholzung des Regenwalds zum Waldsterben bei. Bis zu 80 % des Regenwalds könnten innerhalb weniger Jahrzehnte zur Savanne werden.⁵⁶ Schließlich sind Auswirkungen auf den Atlantik zu berücksichtigen: Bereits heute erhöhen verstärkte regionale Niederschläge sowie schmelzendes Grönlandeis den Süßwassergehalt im Nordatlantik. Die dadurch verringerte Dichte des Wassers erschwert dessen Absinken und schwächt damit die thermohaline Zirkulation, die wärmeres Wasser aus südlichen Gegenden Richtung Norden transportiert. Zum Zusammenbruch der Zirkulation könnte es ab einer Erwärmung von 3 bis 5°C kommen. Auswirkungen wären regionale Klimaveränderungen, d. h. eine Abkühlung im Norden und eine entsprechende Erwärmung im Süden. Zusätzlich ist mit einem Anstieg des Meeresspiegels aufgrund einer Erhöhung der Temperatur des Tiefenwassers zu rechnen.⁵⁷

Um weitere Temperaturerhöhungen zu begrenzen, ist eine Verringerung der Treibhausgasemissionen unumgänglich. Dies ist allerdings mit Kosten verbunden. Die durch den Klimawandel auftretenden Umweltschäden müssen gegen die bei der Emissionsvermeidung entstehenden Reduktionskosten abgewogen werden.

2.2 Zielformulierungen einer effizienten globalen Klimapolitik

Ausgangspunkt des Klimawandels ist ein Externalitätsproblem:⁵⁸ Die Emission von Treibhausgasen ist mit sozialen Konsequenzen verbunden. Da sich die emittierten Gase gleichmäßig in der Atmosphäre verteilen und dort je nach Lebensdauer über mehrere Generationen hinweg verbleiben, werden ihre Auswirkungen nicht in vollem Umfang von den jeweiligen Emittenten getragen. Ohne eine Klimapolitik, die eine vollständige Internalisierung

⁵⁵ Die folgenden Angaben zu Temperaturerhöhungen beziehen sich auf Änderungen der durchschnittlichen Temperatur zwischen 1980 und 1999.

⁵⁶ Vgl. Allison I. et al. (2009), S. 41.

⁵⁷ Vgl. zur thermohalinen Zirkulation zusätzlich Rahmstorf und Schellnhuber (2006), S.67 ff.

⁵⁸ Zu Externalitäten vgl. Perman et al. (2003), S. 134 ff.

der entstehenden „sozialen Kosten“ durch die Emittenten gewährleistet,⁵⁹ werden bezogen auf das globale Optimum zu viele Emissionen getätigt. Dieses ist durch eine Minimierung der Summe aus sozialen Kosten und Emissionsvermeidungskosten gekennzeichnet.⁶⁰ Eine effiziente Klimapolitik bestimmt daher einen Emissionsreduktionspfad, der in jeder Periode einen Ausgleich von sozialen Grenzkosten und Grenzvermeidungskosten sicherstellt.⁶¹

Zur Ermittlung der erforderlichen Emissionsbegrenzungen muss das Ausmaß beider Kostenarten bestimmt werden. Die Quantifizierung der sozialen Kosten einer zusätzlich emittierten Einheit von Treibhausgasen beinhaltet eine Prognose der resultierenden Temperaturerhöhung und der Folgen für Individuen und Wirtschaftsbereiche.⁶² Direkt betroffen ist beispielsweise der landwirtschaftliche Sektor, da sich eine Temperaturänderung auf die Ernteerträge auswirkt. Ebenso sind Schäden, die auf Grund von Katastrophen wie Überschwemmungen anfallen, bei der Berechnung zu beachten. Aber auch schwer quantifizierbare Konsequenzen, wie das Schrumpfen von Regenwäldern, das Aussterben von Tierarten, Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit etwa in Folge von Hitzewellen oder der Verlust von Land aufgrund des prognostizierten Meeresspiegelanstiegs, müssen berücksichtigt werden. Schließlich sind die Langlebigkeit der Treibhausgase sowie eine Projektion der Entwicklung des gesamten Bestands an Gasen über ihre Lebenszeit hinweg mit einzubeziehen.⁶³

Die künftig auftretenden Schäden müssen mit bereits heute anfallenden Kosten der Emissionsvermeidung verglichen werden. Diese bestehen in der Differenz zwischen den anfallenden Kosten im Referenzszenario, ohne Emissionsbegrenzungen, und den Kosten, die in einem zweiten Szenario mit Reduktionsvorgaben auftreten.⁶⁴ Hierzu gehören zum einen Ausgaben für die Anpassung vorhandener industrieller Strukturen an die Anforderungen der Klimaschutzpolitik. Dies kann für die betroffenen Unternehmen eine Umrüstung von emissionsintensiven zu emissionsärmeren Produktionstechnologien bedeuten. Entsprechend sind anfallende Opportunitätskosten des dabei erforderlichen Ressourceneinsatzes zu berücksichtigen.⁶⁵ Ebenso sind Maßnahmen wie die Verbesserung des Wärmewirkungsgrades von Gebäuden oder der Ausbau natürlicher Senken durch Wiederaufforstung mit

⁵⁹ Die sozialen Kosten entsprechen dem in Geldeinheiten ausgedrückten Schaden, der durch die Emission von Treibhausgasen entsteht.

⁶⁰ Vgl. Requate (2009), S. 126 f.

⁶¹ Vgl. Stern (2007), S. 28 f.

⁶² Einen Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels findet sich in Pearce et al. (1995), S. 189.

⁶³ Die Auswirkungen einer zusätzlich emittierten Treibhausgaseinheit sind umso größer, je höher der Gesamtbestand der Gase ausfällt, vgl. Stern (2007), S.322.

⁶⁴ Einen Überblick über die Determinanten der Emissionsvermeidungskosten liefern Hourcade et al. (1996), S. 269 ff.

⁶⁵ Vgl. Stern (2007), S. 240.

einzu beziehen.⁶⁶ Generell wird angenommen, dass die Grenzvermeidungskosten in jeder Periode mit zunehmender Emissionsreduktion ansteigen.⁶⁷

Die Entwicklung der Vermeidungskosten über die Zeit hängt vor allem vom technologischen Wandel ab.⁶⁸ So könnte die erfolgreiche Etablierung einer Technologie zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) die Emissionsvermeidungskosten drastisch senken.⁶⁹ Die Entwicklung neuer Technologien zur kostengünstigen Umsetzung der Reduktionsziele wird dabei stark von den eingesetzten Instrumenten zur Durchsetzung der Klimapolitik beeinflusst.⁷⁰

Die Bestimmung der erforderlichen Emissionsbegrenzungen zur Minimierung von sozialen Kosten und Emissionsreduktionskosten ist komplex und erfolgt daher in der Regel modellbasiert. Durch die Anwendung sogenannter „Integrated Assessment Models“ (IAMs) wird eine umfassende Betrachtung des Problems möglich.

2.2.1 Integrated Assessment Models

IAMs sind computergestützte Simulationsmodelle und bedienen sich der aktuellen Forschungsstände verschiedener relevanter Disziplinen.⁷¹ Im Klimabereich existieren mittlerweile mehr als 50 IAMs,⁷² die sich bezüglich ihrer Modellstruktur, Komplexität sowie Annahmen über Parameter der Gesellschaft oder des Klimasystems unterscheiden⁷³. Spezielle IAMs zur Berechnung optimaler Emissionszeitpfade weisen dagegen einige spezifische Merkmale auf:⁷⁴ Der Einsatz von dynamischer Optimierung erfordert die Modellierung eines repräsentativen langlebigen Individuums, dessen Präferenzen die Grundlage für die Optimierung liefern. Außerdem müssen Vermeidungskosten und soziale Kosten von Klimaschäden in einer gemeinsamen Einheit ausgedrückt werden. Die aggregierten Klimaschäden werden dabei als Funktion des Temperaturanstiegs dargestellt. Da die Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, ist zusätzlich die Anwendung einer Diskontrate zum intertemporalen Vergleich notwendig.

⁶⁶ Vgl. Hourcade et al. (1996), S. 269.

⁶⁷ Vgl. Stern (2007), S. 28.

⁶⁸ Vgl. ebenda, S. 241.

⁶⁹ Vgl. zu potenziellen Entwicklungen von CCS-Technologien zum Beispiel Anderson und Newell (2004).

⁷⁰ Instrumente zur Treibhausgasreduktion werden eingehend in Unterkapitel 4.1 analysiert.

⁷¹ Vgl. van der Sluijs (2002), S. 251.

⁷² Vgl. ebenda.

⁷³ Vgl. Kelly und Kolstad (1999) S. 172 ff.

⁷⁴ Vgl. hierzu Parson und Fisher-Vanden (1997), S. 605 f.

Eines der populärsten IAMs zur Kosten-Nutzen-Analyse von Klimapolitiken ist das DICE-Modell von William D. Nordhaus.^{75,76} Es wurde seit 1979 anhand neuester Kenntnisse im ökonomischen und klimawissenschaftlichen Bereich fortlaufend aktualisiert und befindet sich momentan in der fünften Version.⁷⁷ Wegen seiner im Vergleich zu anderen Modellen relativ transparenten Struktur eignet es sich zur Beleuchtung der Debatte über die Ausgestaltung und Anwendung von IAMs als Basis für Klimapolitik.

Grundlage des DICE-Modells, das Klimasystem und ökonomischen Sektor vereinfacht darstellt, ist die neoklassische ökonomische Wachstumstheorie.^{78,79} Der Kapitalbestand der Gesellschaft wird dabei um den Faktor des „natürlichen Kapitals“ erweitert. Es wird angenommen, dass industriell anfallende Treibhausgasemissionen eine Funktion des weltweiten Outputs darstellen.⁸⁰ Der resultierende Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre entspricht dabei negativem natürlichem Kapital.⁸¹ Daher bedeutet die Reduktion von Emissionen einen Verzicht auf Output und somit Konsum. Gleichzeitig werden schädliche Klimaänderungen in Zukunft reduziert, was künftige Konsummöglichkeiten erweitert. In diesem Sinne entsprechen Emissionsreduktionen einer Investition in natürliches Kapital.⁸² Das DICE-Modell nimmt an, dass eine effiziente Politik den Konsumverlauf bzw. den daraus resultierenden Nutzen des repräsentativen Individuums über die Zeit optimiert.⁸³

Bezüglich der Empfehlungen zur Emissionsreduktion konzentrieren sich die Modellaussagen auf industriell anfallendes CO₂.⁸⁴ Dessen optimale Reduktionsrate beträgt demnach ca. 16 % bis zum Jahr 2015.⁸⁵ Danach steigt sie auf etwa 25 % bis 2050 und schließlich auf bis zu 45 % im Jahr 2100.⁸⁶ Diese Angaben entsprechen den erforderlichen Reduktionen im Vergleich zum BAU-Szenario. Die resultierenden Temperaturerhöhungen bezogen auf das Jahr 1900 betragen 2,6°C bis zum Jahr 2100 und 3,3°C bis 2200.⁸⁷

⁷⁵ Die Kosten der Klimapolitik bestehen in den anfallenden Vermeidungskosten, der Nutzen in den vermiedenen Klimaschäden bzw. sozialen Kosten.

⁷⁶ DICE ist die Abkürzung für „Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy“. Die aktuelle Version ist beschrieben in Nordhaus (2008).

⁷⁷ Vgl. Nordhaus (2008), S. xii.

⁷⁸ Vgl. ebenda, S. 32.

⁷⁹ Einen Überblick über die Wachstumstheorie liefert Solow (2000).

⁸⁰ Vgl. Nordhaus (2008), S.42.

⁸¹ Vgl. ebenda, S. 32 f.

⁸² Vgl. ebenda.

⁸³ Nordhaus spezifiziert hierzu eine soziale Wohlfahrtsfunktion sowie eine Nutzenfunktion, vgl. ebenda, S. 39 und 205.

⁸⁴ Vgl. ebenda, S. 35.

⁸⁵ Vgl. ebenda, S. 14 und 96 f.

⁸⁶ Vgl. ebenda.

⁸⁷ Vgl. ebenda, S. 14.

Die Ergebnisse des DICE-Modells reflektieren dessen Annahmen zu Klimasystem und ökonomischer Entwicklung. So wird deutlich, dass die Prognosen über Temperaturänderungen im DICE-Modell hinter neueren Erkenntnissen zurückbleiben. Wie bereits erwähnt, wird für das Jahr 2100 im BAU-Szenario mit einem Temperaturanstieg von 4 bis 7°C gerechnet, während das DICE-Modell einen Wert von 3,1°C angibt.⁸⁸ Da die prognostizierten Schäden zum größten Teil zukünftige Generationen betreffen werden, ist es für das Ausmaß der optimalen Emissionsreduktion von großer Bedeutung, wie stark künftig auftretende Schäden in die heutige Kalkulation von Kosten und Nutzen der Klimapolitik einbezogen werden. Die entscheidende Größe dabei ist die Diskontrate, welche einen Vergleich von Konsummöglichkeiten zu verschiedenen Zeitpunkten erlaubt. Ihre Bestimmung erfolgt nach der Ramsey-Gleichung:⁸⁹

$$r = \rho + \eta g.$$

Die Diskontrate r setzt sich demnach zum einen aus der puren Zeitpräferenzrate der Gesellschaft ρ zusammen, welche die Diskontierung des Nutzens künftiger Generationen repräsentiert. Zum anderen erfolgt die Diskontierung aufgrund unterschiedlicher Konsumniveaus verschiedener Generationen: g definiert die Wachstumsrate des Konsums pro Kopf. Ist sie positiv, werden künftige Generationen einen höheren Konsum und damit einen geringeren Grenznutzen aufweisen als die heutige. η entspricht der Elastizität des Grenznutzens und beschreibt die Rate, mit welcher der Grenznutzen bei zunehmendem Konsum sinkt. Es bestimmt somit ebenfalls die Höhe der Diskontrate und kann auch als Maß für die Aversion der Gesellschaft gegen Ungleichheit bezeichnet werden: Je größer der Wert von η , umso höher wird der zusätzliche Konsum armer Generationen im Vergleich zu dem von reichen gewichtet.⁹⁰

In der Literatur erfolgt die Bestimmung der einzelnen Parameter hauptsächlich auf zwei Arten.⁹¹ Eine Vorgehensweise impliziert die Anpassung der Werte an Beobachtungen des Marktes. Der andere Weg postuliert die Notwendigkeit, einige Parameterwerte aufgrund moralischer Überlegungen festzusetzen.

Das DICE-Modell verfolgt den ersten Ansatz. Zunächst wird eine Wachstumsrate g von 1,3 % pro Jahr für den Zeitraum zwischen 2000 und 2100 projiziert.⁹² Die Werte für ρ und η werden

⁸⁸ Vgl. ebenda, S. 13.

⁸⁹ Diese Gleichung wurde nach Frank P. Ramsey benannt, der einen Artikel über optimale Sparentscheidungen einer Gesellschaft verfasste, vgl. Ramsey (1928). Eine mathematische Herleitung findet sich unter anderem in Perman et al. (2003), S. 394 f.

⁹⁰ Diese Darstellung der Komponenten der Diskontrate bezieht sich auf Nordhaus (1997), S. 316 ff.

⁹¹ Vgl. Arrow et al. (1996), S. 131 ff.

⁹² Vgl. Nordhaus (2008), S. 108.

anschließend so kalibriert, dass sie zusammen mit g zu einer Diskontrate bzw. einer realen Kapitalertragsrate führen, die konsistent mit am Markt beobachtbaren Werten ist.⁹³ Auf der Grundlage von Schätzungen verschiedener Studien weist Nordhaus (2008) der realen Kapitalertragsrate einen Referenzwert von 6 % pro Jahr zu.⁹⁴ So werden im DICE-Modell die Werte 1,5 % pro Jahr für ρ und 2 für η verwendet, woraus sich eine Kapitalertragsrate von $r = 5,5$ % für den Zeitraum bis 2055 ergibt.⁹⁵

Eine weitere sehr umfassende Analyse ökonomischer Konsequenzen des Klimawandels liefert der „Stern-Report“.⁹⁶ Der Autor Sir Nicholas Stern verfolgt einen präskriptiven Ansatz. Wie bereits erwähnt, steht die pure Zeitpräferenzrate der Gesellschaft für das Ausmaß der Nutzendiskontierung über die Zeit. Nach Stern (2007) besteht die einzige Rechtfertigung für die Verwendung einer positiven Zeitpräferenzrate – und damit für eine geringere Gewichtung des Nutzens künftiger Generationen im Vergleich zu dem der heutigen – in der Möglichkeit des Aussterbens der Menschheit im betrachteten Zeitraum.⁹⁷ Dementsprechend verwendet der Report eine sehr geringe Rate von $\rho = 0,1$ % pro Jahr.⁹⁸ Das projizierte Wachstum liegt, wie im DICE-Modell, jährlich bei durchschnittlich 1,3 %.⁹⁹ Zusammen mit einem Wert von 1 für η im Basisfall führt dies zu einer Diskontrate von $r = 1,4$ %.

Der Stern-Report führt keine Kosten-Nutzen-Analyse im oben beschriebenen Sinne durch. Stattdessen kommt er zu dem Schluss, dass die Konzentration der Treibhausgase 550 ppm CO₂e nicht übersteigen darf, da dies aufgrund des erhöhten Risikos extremer Ereignisse mit erheblichen Kosten verbunden sei.¹⁰⁰ Für die globalen Emissionen an CO₂e impliziert dies laut Stern eine Reduktion bis 2050 um mindestens 25 % im Vergleich zu heutigen Emissionen.¹⁰¹ Der resultierende Nutzen der entsprechenden Klimapolitik überwiege dabei, laut der Einschätzung Sterns, die erforderlichen Vermeidungskosten.¹⁰²

Die beiden zitierten Studien verwenden unterschiedliche Modelle, daher sind ihre Ergebnisse nicht direkt miteinander vergleichbar. Legt man allerdings das DICE-Modell zugrunde und verwendet die Werte für ρ und η des Stern-Reports, so wird deutlich wie sehr die jeweiligen

⁹³ Vgl. ebenda, S. 61.

⁹⁴ Vgl. ebenda, S.170.

⁹⁵ Vgl. ebenda, S. 61. Nordhaus weist darauf hin, dass auch andere Werte für ρ und η in Frage kommen, solange sie eine angemessene Kapitalertragsrate liefern.

⁹⁶ Vgl. Stern (2007).

⁹⁷ Vgl. ebenda, S. 51.

⁹⁸ Vgl. ebenda, S. 184.

⁹⁹ Der Projektionszeitraum des im Stern-Report verwendeten Modells reicht bis zum Jahr 2200. Innerhalb dieses Zeitraums liegt die durchschnittliche Wachstumsrate bei 1,3 % pro Jahr. Ab 2200 wird dann diese Wachstumsrate bis in die Unendlichkeit fortgeschrieben, vgl. ebenda.

¹⁰⁰ Vgl. ebenda, S. 333. Die aktuelle Konzentration beträgt, wie oben erwähnt, 436 ppm CO₂e.

¹⁰¹ Vgl. ebenda, S. 340.

¹⁰² Vgl. ebenda, S. 337.

Politikempfehlungen von der Wahl der Diskontrate abhängen. Das anhand der Annahmen des Reports modifizierte DICE-Modell führt zu folgenden Emissionsreduktionsraten:¹⁰³ Bis 2015 müssten bereits über 50 % der industriell anfallenden CO₂-Emissionen im Vergleich zum BAU-Szenario reduziert werden. Dieser Wert erhöht sich bis zum Jahr 2050 auf über 70 % und im Jahr 2100 müssten die Emissionen schließlich vollends gestoppt werden.

Problematisch an dem Vorgehen des Stern-Reports den Wert für ρ anhand moralischer Überlegungen zu bestimmen, ist vor allem die Tatsache, dass die angenommene Parameterkonstellation zu unplausiblen Konsequenzen führt. Neben dem Resultat einer äußerst geringen Kapitalrendite von 1,4 %, implizieren die Annahmen des Stern-Reports eine ungewöhnlich hohe Sparquote von 97,5 %.¹⁰⁴ Außerdem ist nicht nachvollziehbar, warum Stern, der eine nahezu gleiche Behandlung sämtlicher Generationen fordert, gleichzeitig einen Wert von eins für die gesellschaftliche Aversion gegen Ungleichheit festsetzt.¹⁰⁵ Der Spezialfall $\eta = 1$ impliziert, dass eine Erhöhung des individuellen Konsums aus gesellschaftlicher Sicht gleich bewertet wird, egal welches Individuum diesen Konsumzuwachs erfährt.¹⁰⁶ Die Konsumerhöhung einer besitzlosen Person ist demnach genauso viel wert wie dieselbe Konsumerhöhung eines sehr viel reicheren Individuums. In Verbindung mit der angenommenen, sehr geringen Zeitpräferenzrate bedeutet dies, dass Konsumzuwächse auch über Generationen hinweg gleich bewertet werden sollten, obwohl künftige Generationen – sofern wirtschaftliches Wachstum unterstellt wird – sehr viel reicher sein werden, als die heutige.¹⁰⁷ Dies erklärt die Forderung des Stern-Reports extrem teurer Emissionsreduktionen heute zur Verringerung potenzieller Klimaschäden in ferner Zukunft.

Die Ergebnisse von Nordhaus hingegen reflektieren die Tatsache, dass Investitionen in natürliches Kapital mit alternativen Investitionen verglichen werden sollten. Die aktuell erzielbaren Renditen für Investitionen in Forschung und Entwicklung oder in Humankapital übersteigen nach Nordhaus diejenigen allzu intensiver Emissionsreduktionen. Je mehr der Anteil der Klimaschäden am Output mit der Zeit wächst, desto effizienter wird es, umfangreichere Investitionen in natürliches Kapital zu tätigen.¹⁰⁸ Dieser Ansatz einer im

¹⁰³ Vgl. Nordhaus (2008), S. 96 f.

¹⁰⁴ Diese Zahl stammt aus Dasgupta (2008), S. 155. Angenommen sind die Werte $\rho = 0,1$ % pro Jahr und $\eta = 1$. Anders als Stern verwendet Dasgupta allerdings eine Diskontrate r von 4 % pro Jahr. Mit $r = 1,4$ % ergibt sich eine Sparquote von 93 %.

¹⁰⁵ Im Stern-Report wird die Verwendung von $\eta = 1$ im Basisfall nicht näher erläutert. Stern verweist lediglich auf die Ergebnisse empirischer Studien für das Vereinigte Königreich, vgl. Stern (2007), S. 183 f.

¹⁰⁶ Vgl. Paqué (2008), S.280.

¹⁰⁷ Vgl. Dasgupta (2008), S. 150.

¹⁰⁸ Vgl. Nordhaus (2008), S. 166.

Zeitverlauf immer strikter werdenden Klimapolitik führt zur sogenannten „policy ramp“, die das Ergebnis der meisten IAMs darstellt.¹⁰⁹

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Bewertung der Ergebnisse von IAMs ist, wie mit Unsicherheitsfaktoren innerhalb der Modelle umgegangen wird.

2.2.1 Die Berücksichtigung von Unsicherheit

Wie bereits erwähnt, müssen zur Kosten-Nutzen-Analyse von Klimapolitik wichtige Parameter prognostiziert bzw. geschätzt werden. Innerhalb des DICE-Modells werden zur Berechnung der optimalen Emissionsreduktionen die Erwartungswerte der unsicheren Parameter zugrunde gelegt.¹¹⁰ Diese beruhen auf der subjektiven Einschätzung des Autors. Eine Sensitivitätsanalyse gibt Aufschluss über die Auswirkung der Unsicherheit einzelner Parameter auf die Modell-Ergebnisse.¹¹¹ Danach besitzt das unsichere Wachstum der totalen Faktorproduktivität den größten Einfluss auf die prognostizierte Entwicklung des Klimas und damit auf das optimale Ausmaß der Klimapolitik.¹¹² An zweiter Stelle steht die Unsicherheit über das Ausmaß der Klimasensitivität.¹¹³ Unter Berücksichtigung der Unsicherheit, d. h. unter Einbeziehung verschiedener Standardabweichungen der Erwartungswerte, erhöht sich jeweils das optimale Ausmaß der Emissionsreduktionen.¹¹⁴

Eine andere Möglichkeit des Einbezugs von Unsicherheit besteht in der Verwendung von Wahrscheinlichkeitsfunktionen für einige oder sämtliche unsichere Parameter.¹¹⁵ Die Modell-Ergebnisse werden dann ebenfalls als Wahrscheinlichkeitsfunktion angegeben. Dies hat den Vorteil, dass beispielsweise nicht nur die erwartete Temperaturerhöhung, die aus der jeweils empfohlenen Klimapolitik resultiert, sondern die gesamte Bandbreite möglicher Temperaturveränderungen sichtbar wird.

Martin Weitzman (2009c) vertritt die Ansicht, dass keine der beschriebenen Möglichkeiten, wie sie standardmäßig in IAMs verwendet werden, in der Lage ist, die strukturellen Unsicherheiten im Bereich des Klimawandels adäquat abzubilden. Die zugrundeliegende Intuition lautet wie folgt:¹¹⁶ Der gesellschaftliche Schaden, der durch den Ausstoß von Treibhausgasen entsteht, wird auf Grundlage verschiedener Faktoren bestimmt. Dazu gehören etwa die relevante Klimasensitivität oder Prognosen über die wirtschaftliche Entwicklung, die

¹⁰⁹ Vgl. Barker (2007), S. 12 oder Weitzman (2009a), S. 2.

¹¹⁰ Vgl. Nordhaus (2008), S. 27 f.

¹¹¹ Vgl. ebenda, S. 125 ff.

¹¹² Vgl. ebenda, S. 132.

¹¹³ Vgl. ebenda.

¹¹⁴ Vgl. ebenda, Tabelle 7-2, S.130.

¹¹⁵ Vgl. Mastrandrea (2009), S. 5.

¹¹⁶ Vgl. Weitzman (2009c), S. 10.

das Ausmaß der Emissionen mitbestimmt. Diese Faktoren unterliegen teilweise einer strukturellen Unsicherheit, d. h. die Ausprägungen der Faktoren können nicht, etwa auf Grund von Erfahrungen, vorhergesagt werden. Zur Bestimmung einer breit definierten Klimasensitivität müssen zum Beispiel Feedbackprozesse einkalkuliert werden, die wahrscheinlich mit steigenden Temperaturen auftreten werden, bisher aber noch nicht untersucht werden konnten. Entsprechend weisen Versuche zur Spezifikation einer adäquaten Dichtefunktion der Klimasensitivität sogenannte „fat tails“ auf.¹¹⁷ Dies bedeutet, dass sehr hohe Werte für die Klimasensitivität immer noch mit einer Wahrscheinlichkeit auftreten, die eine Ausblendung resultierender Katastrophen nicht zulässt.¹¹⁸

Im erwarteten diskontierten gesellschaftlichen Schaden, der durch die Treibhausgasemissionen entsteht, spiegelt sich die Unsicherheit sämtlicher relevanter Parameter wider. Die Kombination verschiedener Dichtefunktionen, die teilweise „fat tails“ aufweisen, führt nach Weitzman zu einer Dichtefunktion der aggregierten Wohlfahrtseinbußen, die durch noch größere „fat tails“ gekennzeichnet sei.¹¹⁹

Herkömmliche IAMs legen innerhalb ihrer Analysen standardmäßig Verteilungen mit „thin tails“, wie etwa Normalverteilungen, für die einzelnen unsicheren Parameter zugrunde.¹²⁰ Die extremen Werte spielen dort statistisch gesehen kaum eine Rolle und werden daher ausgeblendet.¹²¹ Mit den eben beschriebenen nach Weitzman eher zutreffenden Dichtefunktionen ist diese Vorgehensweise nicht mehr zulässig. Katastrophen von unermesslichem Ausmaß, die aber nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit auftreten, müssten demnach in eine adäquate Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen werden.¹²² Vor allem die Tatsache, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung solch katastrophaler Ereignisse unbekannt ist, führe unter der Annahme von Risikoaversion zu sehr hohen Zahlungsbereitschaften für deren Verhinderung.¹²³ Die Kosten-Nutzen-Analyse müsste entsprechend um den Aspekt einer „Katastrophenversicherung“ erweitert werden.¹²⁴

¹¹⁷ Zur Ausprägung der Klimasensitivität vgl. Weitzman (2009b), S. 2 ff. Dichtefunktionen verfügen über „fat tails“, wenn ihre momenterzeugende Funktion unendlich ist und sie damit für große Werte langsamer als exponentiell gegen null konvergieren. Zur Definition vgl. Weitzman (2009a), Fußnote 1, S. 2 f. Dichtefunktionen mit „thin tails“ besitzen dagegen eine endliche momenterzeugende Funktion und konvergieren exponentiell oder schneller gegen null, vgl. Pindyck (2010), S. 4 f.

¹¹⁸ “[...] some very few but very important real-world situations have potentially *unlimited* exposure due to structural uncertainty about their potentially open-ended catastrophic reach”, Weitzman (2009a), S. 17.

¹¹⁹ Vgl. Weitzman (2009c), S. 8.

¹²⁰ Vgl. Weitzman (2009a), S. 2.

¹²¹ Vgl. ebenda, S. 10 f.

¹²² Vgl. ebenda, S. 11.

¹²³ Vgl. Weitzman (2009c), S. 11.

¹²⁴ Vgl. Weitzman (2009b), S. 2.

Weitzman empfiehlt schließlich eine striktere Klimapolitik als die typischerweise von IAMs geforderte „policy ramp“. Gerade die beschriebenen strukturellen Unsicherheiten im Bereich des Klimawandels führten allerdings dazu, dass robuste quantitative Aussagen über Emissionsreduktionen nicht getroffen werden könnten.¹²⁵ Nordhaus (2009) zeigt in einer Analyse der Darstellungen Weitzmans, dass dessen zugrundeliegende Annahmen nicht in der Lage sind, das tatsächliche menschliche Verhalten abzubilden.¹²⁶ Wird die Modellierung Weitzmans von Katastrophen mit sehr geringer Auftrittswahrscheinlichkeit beispielsweise auf einen möglichen verheerenden Asteroideneinschlag auf der Erde angewendet, so müssten wir einen sehr hohen Anteil des Welteinkommens für die Verhinderung dieser mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit auftretenden Katastrophe ausgeben. Dies ist allerdings laut Nordhaus deshalb nicht der Fall, weil eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit unermesslicher Katastrophen gesellschaftlich akzeptiert wird, falls die Verhinderung dieser Katastrophen mit immensen Kosten verbunden wäre.¹²⁷

Nichtsdestotrotz sollte die strukturelle Unsicherheit, die Berechnungen der Auswirkungen des Klimawandels anhaftet, berücksichtigt werden. Zielvorgaben aus IAMs müssen im Zusammenhang mit den zugrundeliegenden Annahmen und dem Bewusstsein betrachtet werden, dass die entsprechenden Emissionsreduktionsraten lediglich als Referenzwerte dienen können. Dies beinhaltet auch die Notwendigkeit einer fortlaufenden Aktualisierung der Berechnungen mit neuen Forschungserkenntnissen. Kosten-Nutzen-Analysen im Rahmen von IAMs sind trotz ihrer Unvollkommenheit sinnvoll und notwendig zur Bestimmung einer angemessenen Klimapolitik, da nur sie eine möglichst umfassende Betrachtung der komplexen Sachverhalte ermöglichen.

Die Ergebnisse des Stern-Reports scheinen aufgrund der fehlenden Kosten-Nutzen-Analyse sowie der Untauglichkeit der Modellannahmen zur Abbildung der Wirklichkeit für eine Politikempfehlung wenig praktikabel. Falls das DICE-Modell verwendet wird, kann festgehalten werden, dass die angegebenen Reduktionsempfehlungen wahrscheinlich zu niedrig angesetzt sind. Dies liegt einerseits daran, dass verwendete Klimaprognosen hinter neueren Erkenntnissen zurückbleiben und andererseits an dem ungenügenden Einbezug struktureller Unsicherheit. Außerdem bezieht sich der Reduktionspfad des DICE-Modells lediglich auf industriell anfallendes CO₂. Ein effizienterer und ökologisch sinnvollerer Ansatz berechnet erforderliche Reduktionsempfehlungen für die Gesamtheit der relevanten

¹²⁵ Vgl. Weitzman (2009c), S. 17.

¹²⁶ Vgl. Nordhaus (2009), S. 6 f. und 12 ff.

¹²⁷ Vgl. ebenda, S. 7.

Treibhausgase bzw. für CO₂e. Die Flexibilität in der Auswahl der tatsächlich reduzierten Gase führt, im Gegensatz zur Konzentration auf industriell anfallendes CO₂, zu erheblichen Kosteneinsparungen.¹²⁸ Dies hängt damit zusammen, dass die Emissionsvermeidung je nach Treibhausgas mit unterschiedlichen Kosten verbunden ist.¹²⁹ Wird nur das Gesamtziel der Verringerung von CO₂e angegeben, können sämtliche günstige Reduktionsalternativen ausgenutzt werden. Außerdem ermöglicht die flexible Reduktion einen Ausgleich der Grenzvermeidungskosten über die verschiedenen Treibhausgase hinweg, was eine Bedingung für die Gewährleistung eines kosteneffektiven Klimaschutzes darstellt.¹³⁰ Laut einer Studie von Reilly et al. (1999) können über 60 % an Gesamtkosten bei der Erfüllung eines Reduktionsziels eingespart werden, wenn sämtliche „Kyoto-Gase“ sowie Senken zur Zielerreichung eingesetzt werden, im Vergleich zu dem Fall der alleinigen Vermeidung von CO₂ im Bereich der Verbrennung fossiler Brennstoffe.¹³¹

Die Relevanz der Gase hängt von ihrem Beitrag zur Erwärmung ab und kann mit der Zeit variieren. Während das Kyoto-Protokoll die Regulierung von sechs Treibhausgasen bzw. Treibhausgasgruppen vorsieht, sollte ein künftiges Klimaschutzabkommen die Anzahl der Gase nicht nach oben hin beschränken, sondern entsprechend ihres Auftretens in der Atmosphäre anpassungsfähig sein. So ist die Konzentration von Stickstofftrifluorid (NF₃), das vor allem bei der Produktion von Flachbildschirmen oder Solarzellen eingesetzt wird, seit Mitte der 1990er Jahre exponentiell angestiegen und sollte daher in Reduktionsbemühungen einbezogen werden.¹³²

Das Reduktionsziel des aktuell geltenden Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen sieht eine Verringerung der Emissionen von Industriestaaten um etwa 5 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 für den Zeitraum von 2008 bis 2012 vor.¹³³ Vorläufige Daten von CO₂, dem wichtigsten Treibhausgas, zeigen trotz Gültigkeit des Protokolls einen ungebremsten Anstieg der weltweiten Konzentrationen bis zum Jahr 2010.¹³⁴ Daher ist es wichtig innerhalb eines künftigen Folgeabkommen die globalen Treibhausgasemissionen in den Fokus zu rücken.

¹²⁸ Vgl. Stewart und Wiener (2003), S. 63 f.

¹²⁹ Umfangreiche Daten zu Reduktionsmöglichkeiten und -kosten verschiedener Treibhausgase finden sich in United States Environmental Protection Agency (2006).

¹³⁰ Vgl. Böhringer et al. (2004), S. 1 f. Dies gilt unter Berücksichtigung der verschiedenen GWPs der Treibhausgase. Zum Konzept der Kosteneffektivität vergleiche Unterkapitel 4.1.

¹³¹ Vgl. Reilly et al. (1999).

¹³² Vgl. Umweltbundesamt (2010).

¹³³ Vgl. Oberthür und Ott (2000), S. 169 f.

¹³⁴ Vgl. NOAA (2010), o. S.

Über ein solches Folgeabkommen wurde im Dezember 2009 in Kopenhagen erstmals im Rahmen eines Weltklimagipfels verhandelt. Dort wurde die Vereinbarung getroffen, die Temperaturerhöhung gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf unter 2°C zu begrenzen.¹³⁵ Dieses Ziel beruht nicht auf einer Kosten-Nutzen-Analyse, sondern soll laut Vereinbarung eine Vermeidung „gefährlicher, vom Menschen verursachter, Störungen des Klimasystems“ gewährleisten.¹³⁶ Die Problematik dieser Vereinbarung besteht darin, dass die hierfür erforderlichen Emissionsreduktionen aufgrund der angesprochenen Unsicherheiten nicht quantifiziert werden können. Prognosen legen allerdings den Schluss nahe, dass das „2-Grad-Ziel“ ohne frühzeitige, strikte und damit teure Reduktionen nicht mehr erreichbar ist.¹³⁷ Dem steht die Tatsache entgegen, dass sich die Teilnehmerstaaten weder in Kopenhagen, noch auf dem darauf folgenden Klimagipfel in Cancún im Dezember 2010, auf verbindliche Emissionsreduktionen nach Ablauf des Kyoto-Protokolls im Jahr 2012 verständigen konnten.¹³⁸

Sämtliche bisherigen Angaben über notwendige Emissionsreduktionen beziehen sich auf das globale Niveau. Ein künftiges Klimaschutzabkommen muss diese Reduktionsempfehlungen auf die einzelnen Länder übertragen.

3. Ein globales Abkommen

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen bzw. die Internalisierung der sozialen Kosten der Emissionen muss auf internationaler Ebene vereinbart werden. Treibhausgase verteilen sich während ihrer Lebensdauer gleichmäßig in der Atmosphäre, was den Klimawandel zum globalen Problem macht. Allein auf Grundlage nationaler Politiken bzw. durch Zusammenschlüsse einzelner Staaten kann dieses Problem nicht überwunden werden.

3.1 Probleme subglobaler Klimaschutzpolitik: Der Leakage-Effekt und das grüne Paradoxon

Wie bereits erwähnt, ist eine effiziente Klimapolitik durch den globalen Ausgleich von Grenzvermeidungskosten und sozialen Grenzkosten der Emissionen bzw. Grenznutzen der Emissionsreduktionen gekennzeichnet. Heruntergebrochen auf das Niveau der einzelnen Länder bedeutet dies, dass die Grenzvermeidungskosten, die innerhalb eines Landes aufgrund

¹³⁵ Vgl. UNFCCC (2010), S. 5.

¹³⁶ Vgl. UN (1992), S. 4.

¹³⁷ Vgl. zum Beispiel Meinshausen et al. (2009).

¹³⁸ In Cancún wurde lediglich anerkannt, dass die Emissionen der Annex I Länder bis 2020 um 25-40 % im Vergleich zum Jahr 1990 reduziert werden müssten. Verbindliche Reduktionen für einzelne Länder wurden jedoch nicht festgelegt, vgl. UNFCCC (2011b), S. 3. Zum Begriff der Annex I Länder, vgl. Fußnote 222.

der Klimapolitik entstehen, der Summe der Grenznutzen sämtlicher Länder entsprechen müssen.¹³⁹

Findet Klimapolitik allein auf nationaler Ebene statt, so maximieren die einzelnen Staaten ihren eigenen Nutzen aus dem Klimaschutz, d. h. sie reduzieren ihre Emissionen solange, bis sich nationale Grenzvermeidungskosten und nationaler Grenznutzen entsprechen.¹⁴⁰ Da die weiterhin ausgestoßenen Treibhausgase nicht innerhalb der Grenzen des jeweiligen Staates verbleiben, sondern die gesamte Atmosphäre belasten, findet keine Internalisierung der gesamten sozialen Kosten statt. Der Klimaschutz betreibende Staat berücksichtigt nur die innerhalb seines Landes entstehenden sozialen Kosten, nicht jedoch die in anderen Ländern auftretenden Schäden.

Eine rein national ausgerichtete Klimapolitik ist nicht nur ineffizient, sie ist auch ineffektiv, da die Reduktion der Treibhausgase eines einzelnen Landes die weltweiten Emissionen kaum beeinflussen kann. Aber auch klimapolitische Zusammenschlüsse einzelner Staaten, vor allem unter Auslassung stark emittierender Länder, können problematische Folgen haben. Die folgende Analyse des Leakage-Effekts ergibt, dass Emissionsreduktionen einer subglobalen Klimaschutzvereinbarung teilweise durch den Anstieg von Emissionen in Ländern außerhalb der „Klimakoalition“ vereitelt werden können. Im ungünstigsten Fall führen die Emissionsreduktionen des Staatenzusammenschlusses darüber hinaus zu einem Anstieg der weltweiten Treibhausgasemissionen. Dieses Szenario wird durch das „grüne Paradoxon“ spezifiziert, das in Unterkapitel 3.1.3 vorgestellt wird.

3.1.1 Die Wirkungskanäle des Leakage-Effekts

Die Annahme, wonach die Emissionsreduktionen innerhalb einer Kooperation von mehreren Ländern teilweise durch einen Anstieg von Emissionen in nicht teilnehmenden Ländern konterkariert werden, wird durch den sogenannten „Leakage-Effekt“ beschrieben.¹⁴¹ Dabei ist die Leakage-Rate durch die Relation zwischen dem Anstieg der Emissionen in nicht teilnehmenden Ländern und den Emissionsreduktionen in den Klimaschutz betreibenden Staaten definiert.¹⁴² Der Anstieg bezieht sich dabei auf die zusätzlichen Emissionen im Vergleich zu dem Szenario ohne Staatenzusammenschluss. Beträgt die Leakage-Rate beispielsweise 20 % werden die Reduktionsanstrengungen der Klimakoalition um ein Fünftel

¹³⁹ Vgl. Barrett (1990), S. 71.

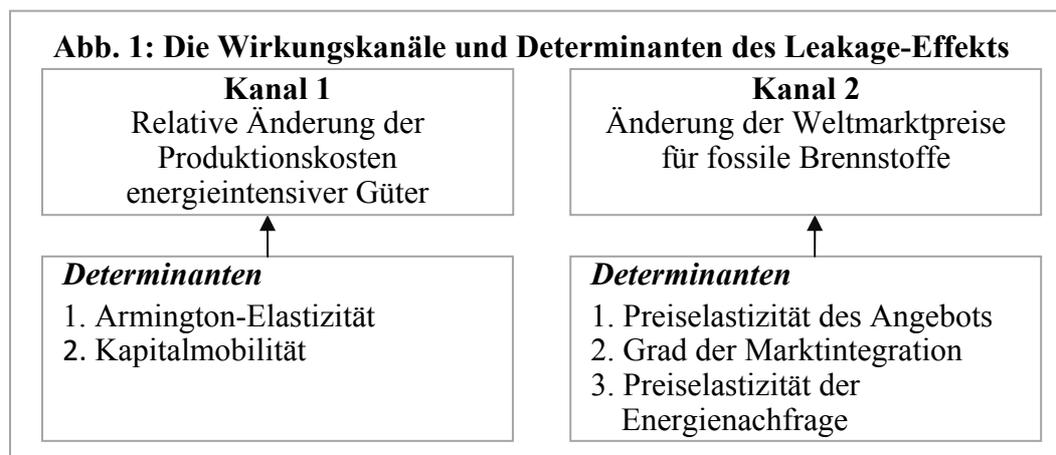
¹⁴⁰ Vgl. ebenda.

¹⁴¹ Vgl. zum Beispiel Eichner und Pethig (2009), S. 1.

¹⁴² Vgl. Barrett (1994), S. 6.

durch die übrigen Staaten ausgeglichen. Die weltweite Reduktion fällt also um 20 % geringer aus, als es von dem Staatenzusammenschluss intendiert wurde.

Nach der Einteilung von Jean-Marc Burniaux und Joaquim Oliveira Martins (2000) wirkt der Leakage-Effekt hauptsächlich durch zwei Kanäle: zum einen durch eine relative Erhöhung der Produktionskosten energieintensiver Produkte innerhalb der Klimakoalition im Vergleich zu denen in den übrigen Ländern. Zum anderen durch eine Änderung der Weltmarktpreise für fossile Brennstoffe in Folge der veränderten globalen Nachfragesituation.¹⁴³ Die Kanäle und ihre Einflussgrößen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Burniaux und Oliveira Martin (2000).

Zur Beschreibung des ersten Kanals muss zunächst ein Zusammenhang zwischen der Emission von Treibhausgasen und der Art der Energieerzeugung hergestellt werden. Bisher werden rund 80 % des weltweiten Energieverbrauchs durch den Einsatz der fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas abgedeckt.¹⁴⁴ Gleichzeitig sind ca. drei Viertel der gesamten anthropogenen Emissionen der letzten 20 Jahre auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen.¹⁴⁵ Eine wirksame Klimapolitik wird sich daher auf die Art der Energieerzeugung auswirken und etwa zu einer effizienteren Nutzung der Brennstoffe oder einer Substitution durch kohlenstoffarme Energiequellen wie Erdwärme oder andere erneuerbare Energien führen.

Instrumente zur Umsetzung der Klimapolitik, also zum Beispiel eine Besteuerung des Einsatzes fossiler Brennstoffe oder die Einführung von Standards, führen zu einem Anstieg der Produktionskosten energieintensiver Güter wie Glas, Stahl oder Papier. Dieser Kostenanstieg betrifft nur die Industrien innerhalb der Klimaschutzbetreibenden Länder, was deren Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu derjenigen in Gebieten ohne Klimapolitik senkt.

¹⁴³ Die folgende Klassifizierung erfolgt hauptsächlich nach Burniaux und Oliveira Martins (2000).

¹⁴⁴ Vgl. Earth Trends (2006), o. S.

¹⁴⁵ Vgl. United States Energy Information Administration (EIA) (2010), o. S.

Der globale Marktanteil verschiebt sich folglich in Richtung der Industrien, die keinen Reduktionsverpflichtungen unterliegen. So werden die Emissionsreduktionen der Klimakoalition zum Teil durch die gesteigerte Produktion energieintensiver Güter in den übrigen Ländern und die damit einhergehende Emissionserhöhung ausgeglichen.¹⁴⁶ Dieser Effekt verstärkt sich, wenn in diesen Ländern die Produktion emissionsintensiver verläuft.

Allgemein wird von einer Armington-Spezifizierung der energieintensiven Güter ausgegangen. Damit wird der Annahme Rechnung getragen, dass sich die Güter voneinander unterscheiden, wenn sie an unterschiedlichen Orten produziert wurden.¹⁴⁷ Heimisch produzierte Güter und Importe werden demnach aufgrund der unterschiedlichen Herstellungsorte als unvollkommene Substitute angesehen. Daher hängt das Ausmaß der Produktionserhöhung in den Ländern außerhalb der Staatengemeinschaft entscheidend von den jeweiligen Handelssubstitutionselastizitäten bzw. den Armington-Elastizitäten zwischen importierten und inländischen Gütern ab.¹⁴⁸ Je höher die Elastizitäten, umso leichter fällt die Umstellung auf Produkte aus anderen Ländern, und umso größer wird der Verlust globaler Marktanteile der Klimaschutz betreibenden Staaten ausfallen.¹⁴⁹

Der durch die Veränderung der Produktionskosten entstehende Leakage-Effekt wird noch verstärkt, falls Industrien, die ursprünglich innerhalb der Klimaschutz betreibenden Staaten produziert haben, ihre Produktionsstandorte in Länder ohne Emissionsbeschränkungen verlagern bzw. wenn ausländische Direktinvestitionen dorthin verstärkt werden.¹⁵⁰ Die Verlagerung energieintensiver Produktionen in Länder, die keinen Klimaschutz ausüben, wird auch als „Pollution Haven - Hypothese“ bezeichnet.¹⁵¹ Das Ausmaß der möglichen Verlagerungen sowie der Erhöhung von Direktinvestitionen wird dabei vom Grad der Kapitalmobilität beeinflusst.¹⁵²

Der zweite wichtige Wirkungskanal des Leakage-Effekts besteht in der Änderung der Weltmarktpreise für fossile Brennstoffe.¹⁵³ Grundgedanke dabei ist, dass diejenigen Länder, die der Klimaschutzkooperation beigetreten sind, aufgrund der erhöhten Kosten des Verbrauchs fossiler Brennstoffe weniger davon nachfragen. In der Folge sinken die Weltmarktpreise für diese Ressourcen, was nicht teilnehmende Länder dazu veranlasst, eine

¹⁴⁶ Vgl. zu diesem Mechanismus Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 6.

¹⁴⁷ Vgl. Armington (1969), S. 159.

¹⁴⁸ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 6.

¹⁴⁹ Vgl. Paltsev (2001), S. 70.

¹⁵⁰ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 6.

¹⁵¹ Vgl. Peters (2008), S. 3 f.

¹⁵² Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 6.

¹⁵³ Vgl. Barrett (1994), S. 5.

größere Menge davon zu erwerben. Wiederum führt die Treibhausgasbeschränkung der Klimakoalition zu einer Erhöhung der Emissionen in den anderen Ländern. Inwiefern die Emissionen reduzierende Ländergruppe einen Einfluss auf die Weltmarktpreise besitzt, hängt zum einen von ihrer Größe ab.¹⁵⁴

Zum anderen spielen die Preiselastizitäten des Angebots von Kohle, Erdöl und Erdgas eine entscheidende Rolle für die Leakage-Rate: Unter der Annahme eines vollkommen unelastischen Angebots wird der Preis des entsprechenden Rohstoffes so lange sinken, bis der Nachfragerückgang der Länder mit Emissionsbeschränkungen durch eine entsprechende Erhöhung der Nachfrage in den übrigen Ländern ausgeglichen wird.¹⁵⁵ Theoretisch läge die Leakage-Rate dann bei 100 % und eine unilaterale Emissionsreduktion wäre faktisch nicht möglich.¹⁵⁶

Eine weitere Determinante besteht im Grad der Integration der Energiemärkte: Sind die Märkte für fossile Brennstoffe kaum integriert, findet der Handel also eher auf regionaler Ebene statt, werden sich Nachfragerückgänge im Bereich der Klimakoalition nicht unbedingt auf die weltweiten Preise für fossile Energieträger auswirken.¹⁵⁷ Der Grad der Marktintegration wird somit von Burniaux und Oliveira Martins ebenfalls durch die Armington-Elastizität zwischen inländischer und importierter Energiequelle dargestellt.¹⁵⁸

Letztendlich ist die Preiselastizität der Energienachfrage entscheidend für das Ausmaß der Leakage-Rate innerhalb des zweiten Wirkungskanals. Hier ist es notwendig die Preiselastizitäten innerhalb und außerhalb der Klimakoalition getrennt zu betrachten.¹⁵⁹ Ist die Preiselastizität innerhalb der Länder der Klimakoalition gering, wird die Nachfrage kaum von Preisschwankungen beeinflusst. Bei steigenden Preisen in Folge der Klimapolitik geht die Nachfrage nur wenig zurück und die Weltmarktpreise für Energieträger bleiben stabil. In diesem Fall fällt die Leakage-Rate gering aus. Ist die Preiselastizität allerdings hoch, so reagieren die Staaten mit einer Senkung ihrer Nachfrage. Für das Ausmaß der Leakage-Rate ist nun die Preiselastizität der übrigen Länder entscheidend: Eine geringe Preiselastizität führt wiederum zu einer mäßigen Erhöhung der Emissionen, da die Nachfrage weitgehend unabhängig ist von der Preisentwicklung. Je höher die Preiselastizität hingegen ausfällt, umso größer ist die resultierende Leakage-Rate.

¹⁵⁴ Vgl. Gerlagh und Kuik (2007), S. 6.

¹⁵⁵ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 9.

¹⁵⁶ Vgl. ebenda.

¹⁵⁷ Vgl. Bollen et al. (2000), S. 3.

¹⁵⁸ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 9.

¹⁵⁹ Vgl. Bollen et al. (2000), S. 4.

Die Höhe der Preiselastizität der Energienachfrage hängt bei gegebenem Output von der Produktionsfunktion ab.¹⁶⁰ Sie bestimmt die Substitutionselastizitäten zwischen den verschiedenen Energiequellen bzw. zwischen dem Energiebündel auf der einen Seite, sowie Arbeit, Kapital und anderen Produktionsfaktoren auf der anderen Seite.¹⁶¹ Für den Fall der Substitutionselastizität zwischen den Energieträgern gilt zum Beispiel folgender Mechanismus:¹⁶² Da Kohle einen höheren Kohlenstoffgehalt besitzt als Erdöl oder Erdgas – das Verhältnis des Kohlenstoffgehalts zwischen Kohle, Erdöl und Erdgas beträgt 1: 0,75: 0,57¹⁶³ – verursacht ihre Verbrennung mehr CO₂-Emissionen als die anderer Energiequellen. Durch die Einführung einer Klimapolitik, die etwa den Ausstoß von Emissionen besteuert, wird der Verbrauch von Kohle im Vergleich zu dem von Erdöl oder Erdgas teurer. Ist die Substitutionselastizität zwischen den Energiequellen relativ hoch, wird die emissionsreiche Kohle durch weniger klimaschädliche Energiequellen ersetzt. Je höher die Elastizität, desto mehr steigt die Nachfrage nach Erdöl und emissionsarmen Energiequellen. Wegen des begrenzten weltweiten Angebots an Erdöl steigt nun dessen Preis im Gegensatz zu dem der Kohle auf dem Weltmarkt. Diejenigen Länder, die nicht an der Klimakoalition beteiligt sind, reagieren entsprechend mit einer Ausweitung ihrer Nachfrage nach Kohle, während die nach Erdöl zurückgeht. Diese verstärkte Nutzung der emissionsintensiven Kohle ist wiederum umso größer, je höher die Substitutionselastizität in den Ländern außerhalb der Klimakoalition ausfällt. Im entgegengesetzten Fall einer geringen Substitutionselastizität innerhalb der Klimaschutz betreibenden Länder kann der durch die Klimapolitik induzierte reduzierte Kohleverbrauch nicht ausreichend durch emissionsärmere Energiequellen ersetzt werden. Stattdessen sinkt in den Ländern der Klimakoalition die Nachfrage nach sämtlichen fossilen Energieträgern.

Zur Bestimmung des Leakage-Effekts bei subglobaler Klimapolitik, werden meist umfassende allgemeine Gleichgewichtsmodelle verwendet, die den Einbezug sämtlicher relevanter Faktoren ermöglichen.¹⁶⁴ Diese unterscheiden sich sehr hinsichtlich ihrer Modellstruktur sowie den getroffenen Annahmen bezüglich der angesprochenen Elastizitäten, der Kapitalmobilität, der Größe der Klimakoalition oder der Struktur der Energiemärkte. So liegt die Bandbreite der errechneten Leakage-Raten zwischen 2 und 115 %.¹⁶⁵ Da in der Literatur zum heutigen Zeitpunkt kein Konsens über die Ausprägung der relevanten

¹⁶⁰ Vgl. Bollen et al. (2000), S. 17.

¹⁶¹ Vgl. ebenda.

¹⁶² Die folgenden Ausführungen basieren auf Burniaux und Oliveria Martins, S. 10.

¹⁶³ Vgl. ebenda, S. 55.

¹⁶⁴ Vgl. Eichner und Pethig (2009), S. 1.

¹⁶⁵ Vgl. Gerlagh und Kuik (2007), S. 9.

Elastizitäten herrscht,¹⁶⁶ werden die Modelle häufig Sensitivitätsanalysen unterzogen. Diese geben Aufschluss darüber, welche Determinanten für die Ausprägung der Leakage-Rate entscheidend sind und ermöglichen so eine Einordnung und Bewertung der verschiedenen Ergebnisse.

3.1.2 Sensitivitätsanalyse

Da sich die Einflüsse der verschiedenen Parameter zur Bestimmung der Leakage-Rate teilweise gegenseitig bedingen, verlangen Sensitivitätsanalysen von allgemeinen Gleichgewichtsmodellen eine sehr hohe Anzahl von Simulationen.¹⁶⁷ Burniaux und Oliveira Martins bedienen sich daher eines vereinfachten allgemeinen Gleichgewichtsmodells, um die Einflüsse der oben genannten Determinanten der Leakage-Rate herauszustellen. Dieses wurde an das umfassendere GREEN-Modell der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) angelehnt.¹⁶⁸ Die Leakage-Rate beider Modelle liegt unter Annahme des Basiszenarios am unteren Ende der angegebenen Bandbreite bei etwa 2 %.¹⁶⁹ Sie bezieht sich auf den Leakage-Effekt, der sich bei vollständiger Implementierung des Kyoto-Protokolls ergeben würde.¹⁷⁰

Für den ersten Wirkungskanal, also denjenigen über veränderte Produktionskosten energieintensiver Produkte, ergibt die Sensitivitätsanalyse von Burniaux und Oliveira Martin, dass weder die Armington-Elastizität zwischen inländischen und importierten Gütern, noch die Migrationselastizität des Kapitals einen merklichen Einfluss auf die Leakage-Rate besitzen.¹⁷¹ Zudem ist der Effekt der Kapitalmobilität abhängig vom Ausmaß der Handelssubstitutionselastizitäten.¹⁷² Der gemeinsame Einfluss der beiden Determinanten auf die Leakage-Rate ist am größten, wenn sehr hohe Werte für die Armington-Elastizitäten und gleichzeitig eine vollkommene Kapitalmobilität angenommen werden. Allerdings erhöht sich die Leakage-Rate bei dieser Konstellation nur von den 2 % im Basisfall auf 4 %.¹⁷³

¹⁶⁶ Die Aussagekraft empirischer Schätzungen zur Armington-Elastizität wird etwa von Verena Graichen et al. aufgrund der beträchtlichen Bandbreite resultierender Ergebnisse in Frage gestellt, vgl. Graichen et al. (2008), S. 29 ff. Zur Preiselastizität des Angebots von Kohle gibt es hingegen kaum Schätzungen, vgl. zum Beispiel Burniaux und Oliveira Martins (2011). Jennifer Ellis gibt schließlich zu bedenken, dass die zur Bestimmung der Preiselastizität des Angebots fossiler Brennstoffe vorhandenen Daten bisher nicht ausreichend sind, vgl. Ellis (2010), S. 18.

¹⁶⁷ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 5.

¹⁶⁸ Ein Überblick über das GREEN-Modell findet sich in Lee et al. (1994).

¹⁶⁹ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 7.

¹⁷⁰ Vgl. ebenda. Tatsächlich wurde das Kyoto-Protokoll von den USA nicht ratifiziert.

¹⁷¹ Vgl. ebenda, S. 8.

¹⁷² Vgl. ebenda.

¹⁷³ Vgl. ebenda.

Innerhalb des zweiten Wirkungskanals des Leakage-Effekts sind die Preiselastizitäten des Angebots der fossilen Brennstoffe, der Grad der Marktintegration sowie die Preiselastizität der Nachfrage von Bedeutung. Da sich die verschiedenen Energieträger hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen unterscheiden, werden die Auswirkungen der einzelnen Brennstoffe in der Sensitivitätsanalyse getrennt betrachtet.

Das Modell von Burniaux und Oliveira Martins unterscheidet drei Energiequellen: Kohle, Erdöl und eine residuale kohlenstoffarme Energiequelle, wozu auch Erdgas gehört.¹⁷⁴ Die Sensitivitätsanalyse ergibt eine hohe Sensitivität der Leakage-Rate bezüglich der Preiselastizität des Kohleangebots.¹⁷⁵ So erreicht die Rate mindestens 20 % bei einer Angebotselastizität unter zwei. Die Preiselastizität des Angebots von Erdöl spielt dagegen eine geringere Rolle. Ihr Einfluss ist zudem abhängig von der Angebotselastizität von Kohle. Ist diese hoch, so bleibt die Leakage-Rate gering, auch wenn die Preiselastizität des Erdölangebots gering ausfällt. Andererseits führt die Annahme eines unelastischen Kohleangebots zu einer Leakage-Rate von etwa 50 %, selbst wenn die Elastizität des Erdölangebots gegen unendlich konvergiert. Die Preiselastizität des Angebots der emissionsarmen Energiequelle ist im Vergleich zu der des Erdöls nochmals von geringerer Bedeutung.

Innerhalb des vereinfachten Gleichgewichtsmodells werden nur die beiden Energiequellen Kohle und Erdöl als handelbar angesehen. Während der Erdölmarkt als vollkommen integriert gilt, ist Kohle als regional differenziertes Gut spezifiziert.^{176,177} Die Analyse der Sensitivität der Leakage-Rate bezüglich des Integrationsgrades des Kohlemarktes kann daher durch das Ausmaß der Handelssubstitutionselastizität von Kohle dargestellt werden.¹⁷⁸

Die Sensitivitätsanalyse von Burniaux und Oliveira Martins ergibt, dass die Auswirkung der Armington-Elastizität zwischen inländischer und importierter Kohle auf die Höhe der Leakage-Rate, ebenso wie die der Angebotselastizität von Erdöl, von der Preiselastizität des Angebots von Kohle abhängt: Bei einem relativ elastischen Kohleangebot führt eine Nachfragereduktion der Klimaschutz betreibenden Länder zu einer Reduktion des Kohlangebots. Unabhängig vom Ausmaß des Marktintegrationsgrades bleibt die resultierende Leakage-Rate gering.¹⁷⁹ Nimmt man allerdings eine geringe Elastizität des Kohleangebots an,

¹⁷⁴ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 7.

¹⁷⁵ Vgl. zum restlichen Teil dieses Abschnitts ebenda, S. 9.

¹⁷⁶ Vgl. ebenda, S. 7.

¹⁷⁷ Diese Unterscheidung wird aufgrund der vergleichsweise geringen Transportkosten von Erdöl im Gegensatz zu denen von Kohle getroffen, vgl. Burniaux et al. (1991), Fußnote 12, S. 12.

¹⁷⁸ Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 9.

¹⁷⁹ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 9.

so führt eine hohe Handelssubstitutionselastizität zu einem beträchtlichen Ausmaß an Leakage-Raten von bis zu über 60 %.¹⁸⁰

Die letzte Einflussgröße innerhalb des zweiten Wirkungskanals des Leakage-Effekts ist die Preiselastizität der Energienachfrage. Auch hier ergibt die Sensitivitätsanalyse keinen nennenswerten Einfluss. Unter der Annahme hoher Preiselastizitäten des Angebots der fossilen Energieträger bleibt die Leakage-Rate unter 7 %, selbst wenn sehr hohe Substitutionselastizitäten zwischen den Energieträgern unterstellt werden.¹⁸¹ Der Einfluss der Substitutionsmöglichkeit zwischen dem Energiebündel und den übrigen Produktionsfaktoren ist noch geringer.¹⁸²

Es kann festgehalten werden, dass nach Burniaux und Oliveira Martins die Preiselastizität des Angebots von Kohle den wichtigsten Faktor für die Bestimmung des Leakage-Effekts darstellt. Ein stark integrierter Kohlemarkt kann diesen Einfluss noch verstärken. Betrachtet man vor diesem Hintergrund nochmals die Ergebnisse der verschiedenen Modelle zur Berechnung der Leakage-Rate wird folgendes deutlich: Der höchste Wert wird von Mustafa H. Babiker mit 115 % angegeben.¹⁸³ Babiker errechnet diese Rate unter der Annahme einer unendlichen Armington-Elastizität fossiler Brennstoffe und einer moderaten Angebotselastizität der Energieträger. Dass diese Kombination zu sehr hohen Leakage-Raten führen kann, wurde durch die Sensitivitätsanalyse deutlich. Die übrigen Modelle spezifizieren ihre Werte bezüglich der Armington-Elastizität zwischen eins und 19. Daher kann die Berechnung Babikers als Ausreißer gewertet werden.¹⁸⁴ Unter Vernachlässigung dieses ungewöhnlich hohen Wertes für die Leakage-Rate schrumpft die Bandbreite beträchtlich auf 2 bis 21 %.

Während die Ergebnisse der verschiedenen Modelle und Sensitivitätsanalysen im Hinblick auf die relevanten Einflussgrößen des Leakage-Effekts sowie deren relativer Gewichtung divergieren, herrscht doch weitgehende Einigkeit darüber, dass die Preiselastizität des Angebots von Kohle die dominante Rolle bei der Bestimmung der Leakage-Rate spielt.¹⁸⁵ Dieses Ergebnis ist auch intuitiv einleuchtend, da Kohle den höchsten Kohlenstoffgehalt unter den fossilen Brennstoffen besitzt. Zum anderen sind die weltweiten CO₂-Emissionen aus der

¹⁸⁰ Vgl. ebenda.

¹⁸¹ Vgl. ebenda.

¹⁸² Vgl. ebenda, S. 10 f.

¹⁸³ Eine Auflistung verschiedener Modelle, ihrer Annahmen sowie der Ergebnisse findet sich in Gerlagh und Kuik (2007), S. 9.

¹⁸⁴ Unter Verwendung desselben Modells und mit Reduktion der Armington-Elastizität auf einen Wert von acht, fällt die Leakage-Rate auf den Wert von 20 %.

¹⁸⁵ Vgl. neben Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 13, Paltsev (2001), S. 70, oder Barrett (1994), S. 9.

Kohleverbrennung zwischen 1990 und 2007 um mehr als 47 % angestiegen.¹⁸⁶ Betrachtet man ausschließlich die Gruppe derjenigen Staaten, die keine Verpflichtungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls übernommen haben, ergibt sich sogar eine Steigerung von nahezu 90 %.¹⁸⁷ Seit 2004 trägt damit die Kohleverbrennung den Hauptanteil zu den CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe bei.¹⁸⁸ Er betrug im Jahr 2007 42,2 %.¹⁸⁹

Höchst umstritten ist allerdings das Ausmaß der Preiselastizität des Kohleangebots: Burniaux und Oliveira Martins nehmen etwa einen Wert von 20 an.¹⁹⁰ Hierdurch erklärt sich die geringe errechnete Leakage-Rate von 2 % innerhalb des vereinfachten Gleichgewichtsmodells. Eine häufig zitierte Studie von Tony Beck et al. (1991) über den australischen Kohlemarkt geht hingegen von einem Wert der Elastizität von lediglich 2,8 aus.¹⁹¹ Carol Dahl und Thomas E. Duggan (1996), die einen Vergleich mehrerer Studien vornehmen, halten wiederum Werte von 0,41 bis 7,9 für angemessen, je nach Ort des Kohleabbaus.¹⁹²

Allerdings stellt sich ohnehin die Frage, ob die bisherige Vorgehensweise zur Modellierung des Leakage-Effekts, speziell des Kanals über die Änderung der Preise fossiler Brennstoffe, angemessen ist: Hans-Werner Sinn (2008) hat etwa in seinem Buch *„Das grüne Paradoxon. Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik“* darauf hingewiesen, dass die standardmäßig verwendeten allgemeinen Gleichgewichtsmodelle statische Modelle seien und daher intertemporale Aspekte vernachlässigten.¹⁹³ Bei näherer Betrachtung des Angebotsverhaltens der Eigentümer fossiler Energieträger wird jedoch deutlich, dass dieses vor allem von der Entwicklung der Energienachfrage über die Zeit bestimmt wird.

3.1.3 Das grüne Paradoxon

Die Besitzer von Lagerstätten fossiler Brennstoffe treffen innerhalb jeder Periode eine Entscheidung darüber, welche ihrer Ressourcen sie fördern bzw. welchen Anteil sie im Boden belassen möchten. Der resultierende Extraktionspfad bestimmt die in jeder Periode ausgestoßene Menge an Treibhausgasen und damit auch die weitere Entwicklung der Temperaturen. Das Entscheidungskalkül der Eigentümer kann folgendermaßen beschrieben werden:¹⁹⁴ Fossile Brennstoffe sind erschöpfbar. Die Eigentümer sehen sich daher einem

¹⁸⁶ Vgl. International Energy Agency, IEA (2009a), S. II.7.

¹⁸⁷ Eigene Berechnung auf Grundlage von IEA (2009a), S. II.7. Die Ländergruppe besteht aus sämtlichen Ländern, die nicht in Anlage B des Kyoto-Protokolls aufgeführt sind, sowie den USA.

¹⁸⁸ Vgl. IEA (2010), S. II, 25.

¹⁸⁹ Vgl. ebenda.

¹⁹⁰ Vgl. Burniaux und Oliveira Martins (2000), S. 7.

¹⁹¹ Vgl. Beck et al. (1991), S. 6.

¹⁹² Vgl. Dahl und Duggan (1996).

¹⁹³ Vgl. Sinn (2008), Anmerkung Nr. 12, S. 443.

¹⁹⁴ Vgl. zur Theorie des Abbaus erschöpfbarer Ressourcen Hartwick und Olewiler (1998), S. 268 f. sowie 274 ff.

intertemporalen Entscheidungsproblem ausgesetzt. Sie müssen darüber entscheiden welchen Anteil ihres Ressourcenbestands sie zu welchem Zeitpunkt extrahieren und absetzen. Die Förderung der Energieträger ermöglicht eine Anlage der durch den Verkauf erwirtschafteten Gewinne zum geltenden Zins am Kapitalmarkt. Sie ist aber auch mit Opportunitätskosten verbunden, da jede Extraktion zu einem bestimmten Zeitpunkt die folgenden Fördermöglichkeiten verringert. Die künftig erzielbaren Absatzpreise bestimmen dabei den Wert der im Boden belassenen Ressourcen. Unter der Annahme einer fallenden Nachfragekurve führt eine Verringerung des Angebots zu steigenden Preisen. Die im Boden belassenen Ressourcen gewinnen daher mit zunehmender Förderung und damit fortschreitender Verknappung immer mehr an Wert. Das Entscheidungskalkül der Ressourcenbesitzer verlangt entsprechend einen Vergleich zwischen dem beim Ressourcenabbau erzielbaren Kapitalmarktzins und der Wertzuwachsrate der Ressourcen, wenn auf eine Extraktion verzichtet wird.¹⁹⁵

Bei Realisierung des gleichgewichtigen Extraktionspfads entsprechen Kapitalmarktzins und Wertsteigerungsrate einander, so dass die Eigentümer gerade indifferent sind, ob sie ihre Ressourcen extrahieren oder nicht.¹⁹⁶ Parallel dazu entwickeln sich die zugehörigen Absatzpreise: Laut Hotelling-Regel steigt der Preis der geförderten erschöpfbaren Ressource mit einer Rate, die dem Kapitalmarktzins entspricht.¹⁹⁷

Im Rahmen der Analyse des Leakage-Effekts ist nun von Interesse, wie sich dieser Extraktionspfad durch die Bildung einer Klimakoalition zur Reduktion von Treibhausgasemissionen verändert. Eine wirksame Klimaschutzpolitik, die den Einsatz fossiler Brennstoffe verteuert, wirkt sich unmittelbar auf die Nachfrage der involvierten Länder aus. Für die Anbieter der Energieträger ist aber die aggregierte Nachfrage, also diejenige von Ländern innerhalb und außerhalb der Klimaschutzkoalition entscheidend. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese durch die subglobale Klimaschutzpolitik insgesamt zurückgeht, da für jeden gegebenen Preis nun von der ursprünglich nachgefragten Menge die von der Politik induzierte Nachfragereduktion hinzugerechnet werden muss.

Die modifizierte aggregierte Nachfrage bedeutet für die Eigentümer fossiler Brennstoffe eine Änderung der künftig erzielbaren Absatzpreise und damit der Wertsteigerung ihrer Ressourcen. Der Extraktionspfad muss daher an die neuen Bedingungen angepasst werden. Nach Sinn ist hierfür vor allem die Entwicklung der Klimaschutzpolitik über die Zeit

¹⁹⁵ Vgl. Sinn (2008), S. 362 ff.

¹⁹⁶ Vgl. ebenda, S. 363.

¹⁹⁷ Vgl. ebenda, S. 363 f. Dies gilt für den Fall ohne Extraktionskosten. Mit ansteigenden Extraktionskosten entspricht der Preisanstieg relativ zum Gewinn pro Einheit dem Kapitalmarktzins, vgl. ebenda S. 364.

entscheidend. Gehen die Ressourcenbesitzer von einer lediglich temporär anfallenden Nachfragereduktion aus und rechnen daher zukünftig wieder mit steigenden Absatzmöglichkeiten, so werden sie die gegenwärtige Extraktion beschränken und zum Teil nach hinten verlagern. Dies wird den Extraktionspfad abflachen und zu einer Verzögerung des Klimawandels führen.¹⁹⁸ Gehen die Ressourcenbesitzer hingegen von einem gleichbleibenden Preisdruck in der Zukunft aus, so werden sie ihren ursprünglichen Extraktionspfad beibehalten. Im Fall einer Nachfragereduktion durch die Klimapolitik sind beide Szenarien allerdings wenig wahrscheinlich. Im vorangehenden Kapitel wurde bereits aus Effizienzgründen zu einer im Zeitverlauf immer strikter werdenden Klimapolitik geraten. Auch in der Realität nehmen klimapolitische Maßnahmen mit der Zeit eher zu als ab. Dies führt dazu, dass die Schere zwischen den erzielbaren Absatzpreisen und ihrem Referenzniveau im Szenario ohne sich weltweit auswirkende klimapolitische Maßnahmen mit der Zeit immer größer wird. Die Ressourceneigentümer, die an der Maximierung ihres Vermögens interessiert sind, werden in der Erwartung eines ständig wachsenden Preisdrucks ihre Extraktion beschleunigen. Im Ergebnis verursacht also der Zusammenschluss einzelner Staaten zu einer gemeinsamen Klimakoalition eine *Beschleunigung* des Klimawandels. Dieses Resultat wird als das „grüne Paradoxon“ bezeichnet.¹⁹⁹

Für den Fall einer subglobalen Klimapolitik bedeutet das grüne Paradoxon also eine Ausweitung des Konsums fossiler Brennstoffe innerhalb der Länder, die nicht der Klimakoalition unterliegen. Außerdem werden die getätigten Anstrengungen der Klimaschutz betreibenden Länder, anders als in der statischen Analyse des Leakage-Effekts, nicht nur teilweise ausgeglichen, sondern überkompensiert. Ob und in welchem Maße mit dem „grünen Paradoxon“ durch eine subglobale Klimapolitik zu rechnen ist, kann nur unter Berücksichtigung eines umfassenden Modells bewertet werden.

Hierzu ist eine Erweiterung des Leakage-Modells um die Theorie erschöpfbarer Ressourcen notwendig, welche im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht erfolgen kann.²⁰⁰ Der Kanal der Auswirkungen subglobaler Klimapolitik auf die Weltmarktpreise für fossile Brennstoffe müsste hierzu durch eine Modellierung des Anpassungsprozesses der Ressourceneigentümer als Reaktion auf die veränderten erzielbaren Absatzpreise ersetzt werden. Dazu wäre es zum einen notwendig, die Erwartungen der Eigentümer über die Entwicklung der modifizierten

¹⁹⁸ Vgl. ebenda, S. 407 f.

¹⁹⁹ Vgl. zu diesem Mechanismus ebenda, S.405 ff.

²⁰⁰ Eichner und Pethig (2009) liefern hierzu nach eigener Aussage einen ersten Beitrag. Allerdings beschränkt sich ihr Modell auf die Betrachtung von zwei Perioden und kann daher den Anpassungsprozess nicht hinreichend abbilden.

Nachfrage zu prognostizieren. Zusätzlich wäre es erforderlich die Märkte für Kohle, Öl und Gas und deren Besonderheiten getrennt abzubilden. Im Fall der Kohle müsste man etwa berücksichtigen, dass der weltweite Handel aufgrund des starken Einflusses der Transportkosten auf den Absatzpreis momentan tatsächlich auf zwei großen Märkten stattfindet – dem Atlantischen und dem Pazifischen Markt.²⁰¹ Hauptnachfrager auf dem ersten Markt sind westeuropäische, auf dem zweiten vor allem asiatische Staaten. Für die Leakage-Rate ist daher entscheidend, wie sich die subglobale Klimapolitik auf die Nachfrage des jeweiligen Markts auswirkt und wie die entsprechenden Anbieter reagieren. Bei der Spezifizierung des Ölmarkts wäre hingegen beispielsweise das koordinierte Angebotsverhalten der OPEC einzubeziehen.

Das Szenario des grünen Paradoxons erscheint intuitiv plausibel, könnte allerdings abgeschwächt werden, wenn eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien – mit welcher bei einer immer strikter werdenden Emissionskontrolle gerechnet werden kann – zur Substitution fossiler Brennstoffe und damit insgesamt zu einer Reduktion der Absatzmöglichkeiten führen würde. Dass allerdings in Zukunft weiterhin mit einer starken Nachfrage nach fossilen Energieträgern gerechnet werden kann, zeigen Berechnungen der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency, IEA). Diese prognostiziert für die Jahre zwischen 2007 und 2030 einen globalen Anstieg der weltweiten Nachfrage nach Primärenergie um insgesamt 40 %.²⁰² Hiervon seien etwa 90 % auf die wachsende Nachfrage in Ländern außerhalb der OECD zurückzuführen.²⁰³ Den größten Beitrag wird China mit 39 % liefern, gefolgt von Indien mit 15 %.²⁰⁴ In diesen Ländern wird die Deckung der Energienachfrage voraussichtlich überwiegend durch den Einsatz von Kohle erfolgen.²⁰⁵ Die weltweite Produktion dieses Brennstoffes wird daher laut IEA zwischen 2007 und 2030 um 52 % ansteigen.

Schließlich ist noch zu erwähnen, dass die Hauptaussage des Paradoxons, dass die Ressourceneigentümer ihre Extraktion in Erwartung einer immer strikter werdenden Klimaschutzpolitik beschleunigen werden, selbst im Falle eines globalen Abkommens bestehen bleibt. Daher ist es wesentlich innerhalb eines Folgeabkommens zum Kyoto-Protokoll Instrumente einzusetzen, die Eigentümer fossiler Brennstoffe an einer Ausweitung

²⁰¹ Vgl. World Coal Association (2011), o. S.

²⁰² Vgl. IEA (2009b), S. 74. Primärenergie steht für Energie aus natürlichen Quellen, wie Kohle, Erdöl, Erdgas, aber auch Uran oder Wasserkraft.

²⁰³ Vgl. ebenda, S. 76.

²⁰⁴ Vgl. ebenda.

²⁰⁵ Vgl. ebenda, S. 76 ff.

ihres Angebots hindern. Dies wird innerhalb des Unterkapitels 4.1 zur Bestimmung des Instrumentariums berücksichtigt.

Da dezentrales Handeln einzelner Staaten zu einem ineffizienten Ergebnis führt und die Reduktionsanstrengungen subglobaler Vereinigungen nicht nur durch die übrigen Staaten vereitelt, sondern im Fall des grünen Paradoxons sogar überkompensiert werden können, ist eine globale Kooperation zur Internalisierung der gesamten externen Kosten weltweit ausgestoßener Treibhausgasemissionen unerlässlich. Ein künftiges Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll muss in jedem Fall diejenigen Staaten einbeziehen, die wesentlich zu den weltweiten Emissionen beitragen. Eine Einigung unter den Hauptemittenten ist entscheidend zur effektiven Eindämmung des Klimawandels. Diese ist allerdings nur schwer zu realisieren.

3.2 Nationale Bestimmungsfaktoren für den Beitritt zu einem internationalen Klimaschutzabkommen

Die Erreichung einer internationalen Einigung wird dadurch erschwert, dass die Reduktion von Emissionen einem reinen öffentlichen Gut entspricht: Niemand kann von der Nutzung der qualitativ höherwertigeren Atmosphäre ausgeschlossen werden, gleichzeitig besteht keine Rivalität im Konsum.²⁰⁶ Die Bildung eines internationalen Klimaschutzabkommens wird daher häufig als Gefangenendilemma mit n symmetrischen Staaten modelliert.²⁰⁷ Jeder Staat wählt zwischen den beiden folgenden Strategien: Entweder er reduziert seinen Treibhausgasausstoß über das national optimale Niveau hinaus und tritt der Staatengemeinschaft bei, oder er verzichtet auf eine zusätzliche Beschränkung seiner Emissionen. Während die zusätzliche Reduktion nur mit individuellen Kosten verbunden ist, fällt der Nutzen daraus jeder Partei gleichermaßen zu. Im Ergebnis wählt jeder Staat die Option des „Trittbrettfahrens“ und ein Abkommen kommt nicht zustande.²⁰⁸

Die Erstellung öffentlicher Güter kann im nationalen Bereich durch staatliches Eingreifen gewährleistet werden, da hier die Möglichkeit besteht, Beiträge zur Schaffung des Gutes zu erzwingen. Hierin liegt der entscheidende Unterschied zwischen der Bereitstellung globaler öffentlicher Güter im Gegensatz zu nationalen Kollektivgütern.²⁰⁹ Die Staaten sind souverän, daher kann der Beitritt zu einem internationalen Abkommen nur freiwillig stattfinden.²¹⁰

²⁰⁶ Vgl. Sandler (1997), S. 23.

²⁰⁷ Vgl. zum Beispiel ebenda, S. 29 ff.

²⁰⁸ Vgl. ebenda, S. 30 ff.

²⁰⁹ Vgl. Barrett (1999b), S. 137.

²¹⁰ Vgl. ebenda.

In der Realität sind die Interessen verschiedener Nationen, einem Klimaschutzabkommen beizutreten, vielschichtig. Bei der Entscheidung über den Beitritt vergleicht jedes Land seinen damit verbundenen zusätzlichen Nutzen mit den zusätzlichen individuellen Kosten.²¹¹ Die Zusatzkosten im Vergleich zum individuellen Klimaschutz bestehen in den zusätzlich notwendigen Emissionsreduktionen über das national optimale Niveau hinaus, da die in anderen Ländern des Abkommens entstehenden Grenzkosten nun bei der Internalisierung einbezogen werden müssen. Dementsprechend ergibt sich der zusätzliche Nutzen des Beitritts aus der Erhöhung der Emissionsreduktionen durch die übrigen Mitglieder des Abkommens, die ihrerseits die externen Kosten innerhalb jedes Mitgliedslands berücksichtigen.²¹² Dieser Zusatznutzen ist allerdings umso geringer, je größer die Anzahl betroffener Staaten ausfällt: Bei sehr vielen Staaten ist der Einfluss jedes einzelnen Mitglieds auf die Gesamtreduktion relativ klein.²¹³ Ein Abkommen zwischen einer geringen Anzahl involvierter Länder kommt daher eher zustande, als eines auf globalem Niveau.

Trotz hoher Kosten ist ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll aus globaler Sicht mit Nettovorteilen verbunden, falls die Zielvorgaben auf einer Kosten-Nutzen-Analyse beruhen. So zeigen Berechnungen einen Anstieg der globalen Wohlfahrt von 3,4 Billionen US-Dollar bei Durchsetzung der Zielvorgaben des DICE-Modells.²¹⁴ Die Kosten und Nutzen, die sich für die einzelnen Länder ergeben, können allerdings, je nach individueller Ausgangsposition, sehr verschieden ausfallen. In diesem Zusammenhang sind insbesondere eine unterschiedlich starke Betroffenheit vom Klimawandel, verschiedene Anpassungsfähigkeiten und die Menge des Ausstoßes von Treibhausgasen entscheidend.

3.2.1 Kosten-Nutzen-Kalküle

Für eine Analyse der nationalen Kosten-Nutzen-Kalküle bezüglich des Beitritts zu einem künftigen Klimaschutzabkommen ist es sinnvoll, die einzelnen Staaten in Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländer einzuteilen. Die Anreize zum Betreiben von Klimaschutz sind, wie im Folgenden deutlich wird, innerhalb dieser Gruppen vergleichbar. In Bezug auf die Entwicklungsländer kann sowohl von einer hohen Betroffenheit vom Klimawandel als auch von einer geringen Anpassungsfähigkeit ausgegangen werden. Modellrechnungen zufolge werden diese Länder in Zukunft die Hauptleidtragenden der globalen Erwärmung

²¹¹ Vgl. Barrett (1990), S. 75.

²¹² Vgl. ebenda.

²¹³ Vgl. ebenda. Dieses Argument wird abgeschwächt, wenn die jeweiligen Emissionsmengen der einzelnen Staaten sehr unterschiedlich ausfallen.

²¹⁴ Vgl. Nordhaus (2008), S. 84.

sein.²¹⁵ Dies liegt zum einen an ihrer geographischen Lage: Viele Entwicklungsländer befinden sich in tropischen Gebieten, die auch ohne den Einfluss von Treibhausgasemissionen bereits durch extrem hohe Temperaturen sowie stark schwankende Regenfälle gekennzeichnet sind.²¹⁶ So wird ein Anstieg der Häufigkeit und Länge von Hitzewellen aller Voraussicht nach in Verbindung mit dem feuchten Klima zu einem Anstieg von Sterbe- und Krankheitsrisiko im tropischen Teil Asiens führen.²¹⁷

Des Weiteren sind Entwicklungsländer meist stark abhängig von der Landwirtschaft, die ihrerseits empfindlich auf Klimaänderungen reagiert.²¹⁸ Laut UNFCCC könnte sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche Lateinamerikas in 40 bis 50 Jahren aufgrund von Wüstenbildung und der Versalzung von Böden bis auf die Hälfte reduzieren.²¹⁹ Auch die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen ist in Entwicklungsländern nur beschränkt möglich. Eine mangelnde Infrastruktur sowie fehlende finanzielle Mittel führen zu einer unzulänglichen Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel.²²⁰

Der Beitrag der Ländergruppe zum weltweiten Ausstoß von Treibhausgasen ist als gering einzuschätzen. Die Entwicklungsländer waren im Jahr 2006 zusammen mit den Schwellenländern für nahezu 48 % der weltweiten Emissionen verantwortlich.²²¹ Dieser Anteil ist jedoch hauptsächlich auf die Emissionen der Schwellenländer China und Indien zurückzuführen. China ist seit 2006 mit einem Anteil von 21 % an den jährlichen Emissionen der weltweit größte CO₂-Emittent. Indien steht mit beinahe 5 % an fünfter Stelle. Die übrigen nicht industrialisierten Länder sind entsprechend auf Reduktionszusagen von Seiten der Industrienationen sowie aufstrebender Schwellenländer angewiesen, da sie durch eigene Reduktionsbemühungen die weltweiten Emissionen kaum beeinflussen können. Abbildung 2 stellt die jährlichen CO₂-Emissionen der Industrienationen (Annex I), der Entwicklungs- und Schwellenländer (non-Annex I) sowie der zehn meistemittierenden Staaten bzw. Ländergruppen für das Jahr 2006 dar.²²²

²¹⁵
²¹⁶
²¹⁷ **Abb. 2: Jährliche CO₂-Emissionen nach Ländern bzw. Ländergruppen, im Jahr 2006, in Prozent am weltweiten Ausstoß**

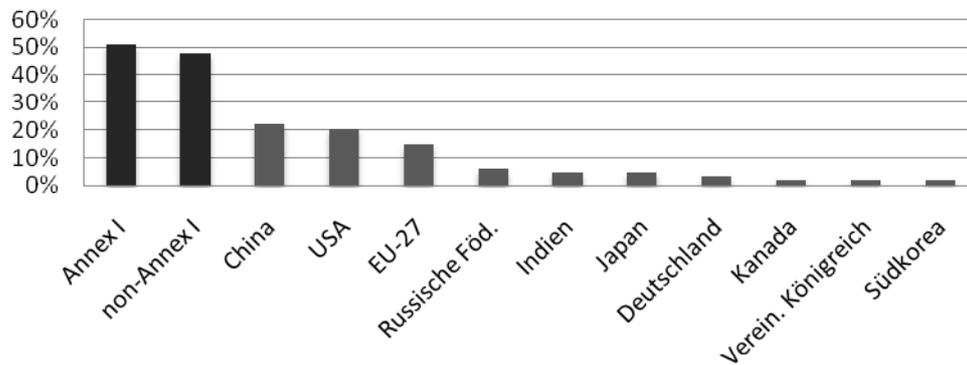
²¹⁸ Vgl. Stern (2007), S. 108 f.

²¹⁹ Vgl. UNFCCC (2007), S. 23.

²²⁰ Vgl. Stern (2007), S. 110 ff.

²²¹ Vgl. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) (2010), o. S. Die neuesten Daten von CAIT beziehen sich auf das Jahr 2006 und umfassen bisher nur CO₂ (Stand November 2010). Nicht enthalten sind Emissionen aus Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.

²²² Die Gruppe der Annex I Länder besteht aus den OECD-Staaten, mit Ausnahme von Korea und Mexiko sowie den osteuropäischen Staaten, allerdings ohne Jugoslawien und Albanien. Daher wird diese Gruppe häufig mit derjenigen der Industrieländer gleichgesetzt. Der Begriff non-Annex I Länder wird entsprechend oft synonym mit Entwicklungs- und Schwellenländern verwendet. Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2011).



Der Kostenanteil eines internationalen Klimaschutzabkommens besteht für sämtliche Staaten in der Internalisierung der externen negativen Effekte ihrer Emissionen. Auch wenn dieser Anteil für die Entwicklungsländer im globalen Vergleich gering ausfällt, ist der Kostenaufwand aus nationaler Perspektive beträchtlich. Hier sind vor allem die Opportunitätskosten des Klimaschutzes bedeutend, da Ausgaben für Emissionsreduktionen nicht mehr für Bildung, Gesundheit oder Armutsbekämpfung verwendet werden können.²²³ Angesichts der vorherrschenden wirtschaftlichen Situation in diesen Ländern ist dementsprechend mit internationaler Unterstützung im Bereich der Finanzierung des Klimaschutzes zu rechnen. Dies gilt zumindest dann, wenn man von einer Beibehaltung des Grundsatzes der „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ in einem Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll ausgeht, der bereits 1992 durch die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen eingeführt wurde.²²⁴ Dieser Grundsatz impliziert unter anderem eine Anpassung der Verpflichtungen eines Landes an dessen Entwicklungsstand.²²⁵ Aufgrund der Konstellation von hoher Betroffenheit, geringer Anpassungsfähigkeit, sowie geringer anteiliger Kosten, überwiegen die Vorteile aus einem Klimaschutzabkommen bei weitem die Kosten der Entwicklungsländer.

Prognosen für die Betroffenheit der Schwellenländer vom Klimawandel deuten darauf hin, dass die verschiedenen Länder innerhalb der Gruppe mit unterschiedlich starken Auswirkungen konfrontiert sein werden. So wird für das tropische Indien ein Anstieg extremer Temperaturen sowie eine Häufung starker Regenfälle prognostiziert.²²⁶ Ein Rückgang von Regenfällen in den ariden und semi-ariden Gebieten Brasiliens wird dort wahrscheinlich zu einer

²²³ Vgl. Stewart und Wiener (2003), S. 102.

²²⁴ Vgl. UN (1992), Art. 3, S. 4 f.

²²⁵ Näheres hierzu in den Unterkapiteln 4.1 und 4.2.1.

²²⁶ Vgl. Sathaye et al. (2006), S. 318.

schwerwiegenden Wasserknappheit führen.²²⁷ Im Fall Chinas ist das Bild differenzierter: Obgleich sämtliche Länder mit negativen Auswirkungen des Klimawandels rechnen müssen, könnte China laut Modellprognosen im weltweiten Vergleich geringeren Belastungen ausgesetzt sein.²²⁸ Dies liegt zum einen an der prognostizierten Verbesserung landwirtschaftlicher Verhältnisse.²²⁹ Zum anderen werden die Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung infolge von Erkrankungen, die mit den klimatischen Verhältnissen zusammenhängen, wie Malaria oder sonstige tropische Krankheiten, im Gegensatz zu denen in anderen Ländern als eher mäßig eingeschätzt.²³⁰ Eine neuere Untersuchung der Folgen des Klimawandels für China von Shilong Piao et al. (2010) kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass die meisten eingesetzten Klimamodelle regionale Parameter nur unzureichend berücksichtigten.²³¹ Gerade für China seien aber die Auswirkungen lokaler Prozesse, wie der Verstädterung oder der Waldaufforstung, aber auch die regionale Verteilung von Niederschlägen oder Aerosolkonzentrationen entscheidend für eine Bewertung möglicher Klimafolgen.

Im Vergleich zu den Entwicklungsländern sind Schwellenländer aufgrund ihrer günstigeren finanziellen Ausgangsposition generell besser in der Lage Anpassungsmaßnahmen vorzunehmen. Ihr jährlicher Ausstoß von Treibhausgasen ist, wie oben für China und Indien angedeutet, schon heute teilweise beträchtlich. Aber auch die prognostizierten Wachstumsraten der Emissionen sind im internationalen Vergleich sehr hoch. So werden für Indien, Brasilien und China jährliche durchschnittliche Wachstumsraten zwischen 2,1 und 2,8 % angegeben.²³² Die mittlere Wachstumsrate für die gesamten Industrienationen liegt zum Vergleich bei 0,3 % pro Jahr.²³³ Entsprechend sind die Internalisierungskosten der Schwellenländer bereits hoch und werden mit der Zeit weiter ansteigen.

Der Nettovorteil aus einem internationalen Klimaschutzabkommen ist demgemäß für Schwellenländer geringer als der für Entwicklungsländer. In Bezug auf das moderater vom Klimawandel betroffene und gleichzeitig emissionsreichste Land China könnten eventuell die

²²⁷ Vgl. Parry et al. (2007), S. 61.

²²⁸ Vgl. zu den Auswirkungen einer globalen Erwärmung von 2,5°C für verschiedene Länder Nordhaus und Boyer (2000), Tabelle 4.10, S. 91.

²²⁹ Demnach führe eine Verdoppelung der CO₂-Konzentrationen zu einem Anstieg der Gewinne im landwirtschaftlichen Bereich, vgl. ebenda, S. 74 ff.

²³⁰ Eine Übersicht über verlorene Lebensjahre, die auf klimatische Verhältnisse zurückzuführen sind, findet sich für verschiedene Regionen in Nordhaus und Boyer (2000), Tabelle 4.7, S. 81.

²³¹ Vgl. Piao et al. (2010).

²³² Vgl. CAIT (2010), o. S. Die Wachstumsraten beziehen sich auf den durch die EIA spezifizierten Referenzfall für den Zeitraum von 2006 bis 2030. Des Weiteren werden nur CO₂ Emissionen aus dem Energieverbrauch betrachtet. Der Referenzfall beinhaltet unter anderem mittlere Prognosen zur Entwicklung von BIP, Bevölkerung und Elektrizitätsnachfrage, vgl. WRI (2009a), S. 26.

²³³ Vgl. CAIT (2010), o. S.

Kosten der Internalisierung den Nutzen übersteigen.²³⁴ Allerdings bestehen dort enorme Potenziale zur günstigen Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen. So entsprechen die CO₂-Emissionen von chinesischen Steinkohlekraftwerken zur Stromerzeugung im Durchschnitt annähernd der doppelten Menge deutscher Kraftwerke.²³⁵ Berechnungen zufolge befinden sich schätzungsweise 22 % des weltweiten Potenzials günstiger Emissionsreduktionen innerhalb von China.²³⁶

Die Industrienationen sind schließlich, da sie meist in höheren Breitengraden angesiedelt sind, nicht nur weniger stark vom Klimawandel betroffen, sondern verfügen auch über die finanziellen Möglichkeiten zur Durchführung von Anpassungsmaßnahmen.²³⁷ Gleichzeitig beträgt der Anteil dieser Ländergruppe an den weltweiten Emissionen über 50 %.²³⁸ Aufgrund ihrer beträchtlichen Menge an jährlichem Treibhausgasausstoß müssen die Industrieländer mit enormen anteiligen Kosten im Zusammenhang mit einem weltweiten Klimaschutzabkommen rechnen. Diese hohe Kostenbelastung, die mit einem im globalen Vergleich relativ geringem Nutzengewinn zusammenfällt, könnte dazu führen, dass der Beitritt zu einem Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll für einige Industrienationen mit Nettoverlusten verbunden ist.

Die USA waren zum Beispiel im Jahr 2006 mit einem Anteil von 20,3 % an den weltweiten CO₂-Emissionen zweitgrößter Emittent nach China. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls hätte der Anteil der USA an den gesamten Emissionsreduktionen, je nach Annahme über die Höhe der BAU-Emissionen und der resultierenden Reduktionsvorgaben, zwischen 50 und 80 % betragen.²³⁹ Die entsprechend hohen Kosten zusammen mit einem sehr geringen Nutzengewinn durch Implementation des Abkommens – da Entwicklungs- und Schwellenländer von Reduktionsverpflichtungen ausgenommen wurden – könnten dazu geführt haben, dass unter sämtlichen Industrienationen nur die USA auf eine Ratifizierung des Kyoto-Protokolls verzichtet haben.²⁴⁰

Ein weltweites Folgeabkommen wäre für die Vereinigten Staaten zwar mit einem höheren Zusatznutzen verbunden, dennoch könnte der Nettovorteil weiterhin negativ ausfallen.²⁴¹ Andererseits weisen Richard B. Stewart und Jonathan B. Wiener darauf hin, dass der

²³⁴ Vgl. Sunstein (2007), S. 18.

²³⁵ Vgl. Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2004), S. 16.

²³⁶ Vgl. Stanton und Ackerman (2009), S. 268.

²³⁷ Vgl. Sunstein (2007), S. 10.

²³⁸ Vgl. CAIT (2010), o. S.

²³⁹ Vgl. Stewart und Wiener (2003), S. 10 sowie Fußnote 19, S. 139.

²⁴⁰ Vgl. Sunstein (2007), S. 7 f. Sunstein gibt die, mit dem Beitritt zum Kyoto-Protokoll verbundenen Kosten für die USA mit 300 Mrd. US-Dollar an. Der generierte Nutzen hätte lediglich 4 % dieser Summe betragen.

²⁴¹ Vgl. ebenda, S. 18.

Zusatznutzen eines Abkommens um kommerzielle Aspekte erweitert werden müsse.²⁴² So seien zahlreiche US-amerikanische Unternehmen mit dem notwendigen Know-how für Energieeffizienzerhöhungen ausgestattet. Bei Geltung eines internationalen Klimaschutzabkommens, das weltweit die Produzenten zu Energieeinsparungen zwingen würde, seien diese Unternehmen entsprechend mit Wettbewerbsvorteilen ausgestattet.²⁴³

Die beschriebenen Kosten-Nutzen-Kalküle der Ländergruppen können zur Erklärung der unterschiedlichen Positionen verschiedener Staaten im Zuge der Verhandlungen über ein internationales Klimaschutzabkommen beitragen.

3.2.2 Gerechtigkeitsaspekte und politische Ökonomie

Während der Verhandlungen in Kopenhagen im Dezember 2009 über ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll, wurde die hohe Motivation von Entwicklungsländern zur deutlichen Begrenzung der weltweiten Treibhausgasemissionen erkennbar. Der ausgehandelte Minimalkonsens zur Begrenzung der Temperaturerhöhungen auf 2°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau, konnte nicht als offizielle Entscheidung der UN verabschiedet werden. Aufgrund zahlreicher Proteste von Rednern aus Entwicklungsländern, die auf einer strikteren Begrenzung der Temperaturerhöhung auf 1,5°C bestanden, wurde der Konsens lediglich durch das Plenum der UN-Staaten „zur Kenntnis genommen“.²⁴⁴

Die Entwicklungs- und Schwellenländer, die als G77 zusammen mit China traditionell bei internationalen Verhandlungen mit einer Stimme sprechen, zeigen sich zwar grundsätzlich bereit, eigene Emissionen zu reduzieren, allerdings nur unter der Bedingung finanzieller Unterstützung. So fordern die G77 und China insgesamt 200 Milliarden US-Dollar jährlich von den Industrieländern für die Durchführung von Anpassungs- und Reduktionsmaßnahmen.²⁴⁵ Chinas Klima-Botschafter Yu Qingtai besteht außerdem auf einer Beibehaltung der Staatentrennung nach Vorbild des Kyoto-Protokolls, wonach verbindliche Reduktionsverpflichtungen nur für Industrieländer vorgesehen sind.²⁴⁶ Dementsprechend sollten Entwicklungsländer zunächst Technologie- und Kapitaltransfers sowie Unterstützung beim Aufbau von Kapazitäten durch die industrialisierten Länder erhalten. Erst im Anschluss daran würden sie eigene Maßnahmen zur Reduktion ihrer Emissionen treffen, je nach

²⁴² Vgl. Stewart und Wiener (2003), S.47.

²⁴³ Eine Darstellung der kommerziellen Vorteile der USA durch den Beitritt zu einem internationalen Klimaschutzabkommen liefern ebenda, S. 48 ff.

²⁴⁴ Vgl. FAZ.Net (2009), o. S.

²⁴⁵ Vgl. Yolandi (2009), S. 3.

²⁴⁶ Vgl. China-Embassy.org (2010), o. S.

individuellen Möglichkeiten der verschiedenen Entwicklungsländer und im Einklang mit einer nachhaltigen Entwicklung.²⁴⁷

Anhand dieses Standpunkts wird deutlich, dass nicht nur nationale Kosten-Nutzen-Kalküle in die Verhandlungen einfließen. Da die Reduktion von Treibhausgasen der Bereitstellung eines öffentlichen Gutes gleicht und die Teilnahme an einem internationalen Abkommen nicht international erzwungen werden kann, bleibt den Staaten die Möglichkeit, ihr Mitwirken zu verweigern, oder aber an Bedingungen zu knüpfen.

Begründet wird die Befreiung der nicht industrialisierten Länder von verbindlichen Reduktionszusagen häufig durch die Anführung von Gerechtigkeitsaspekten.²⁴⁸ Zum einen könnten die Schwellen- und Entwicklungsländer die Belastungen durch Emissionsreduktionen nicht tragen, da dies ihr ökonomisches Wachstum behindern würde. Dieses sei aber notwendig, um die Grundbedürfnisse der Menschen zu befriedigen und der vorherrschenden Armut entgegenzuwirken. Zum anderen hätten diese Länder bisher kaum zum aktuellen Bestand an Treibhausgasen in der Atmosphäre beigetragen und seien daher auch nicht für den bestehenden Temperaturanstieg verantwortlich. Außerdem lägen die Pro-Kopf-Emissionen der G77 und China weit unter denen der Industrieländer.

Tatsächlich beträgt der Anteil der Industrieländer an den kumulativen CO₂-Emissionen zwischen 1850 und 2006 insgesamt 74,4 %.²⁴⁹ Des Weiteren wird zwar beispielsweise in China jährlich die größte Menge an CO₂-Emissionen ausgestoßen, die entsprechenden Pro-Kopf-Emissionen sind allerdings im internationalen Vergleich niedrig. Hier belegt China weltweit nur Rang 67.²⁵⁰

Generell ist eine hohe Korrelation zwischen den Pro-Kopf-Emissionen eines Landes einerseits und dem Bruttoinlandsprodukt pro Kopf andererseits zu erkennen.²⁵¹ Aus diesem Grund wurde der bereits oben erwähnte Grundsatz der „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ innerhalb des Klimarahmenabkommens der Vereinten Nationen eingeführt, der die Verpflichtungen verschiedener Staaten an deren jeweiliger historischer Verantwortung an der Temperaturentwicklung sowie ihrem Entwicklungsstand anpassen soll.²⁵² Das Kyoto-Protokoll befreit die Entwicklungs- und Schwellenländer gänzlich von Reduktionsverpflichtungen. Diese nehmen damit de facto die Rolle von Trittbrettfahrern ein,

²⁴⁷ Vgl. ebenda.

²⁴⁸ Vgl. zum Beispiel Reddy und Assenza (2009).

²⁴⁹ Für den Zeitraum der kumulierten Emissionen von 1850 bis 2006 sind in CAIT (2010) lediglich Daten für CO₂-Emissionen des Energiesektors vorhanden.

²⁵⁰ CAIT (2010) listet insgesamt 186 Staaten auf.

²⁵¹ Vgl. EIA (2007), S. 78.

²⁵² Vgl. UN (1992), Art. 3, S. 4 f.

da sie von der Abschwächung des Klimawandels durch die Anstrengungen der Industriestaaten profitieren, selbst aber keinen Beitrag dazu leisten. Ein Folgeabkommen muss die Emissionen sämtlicher Länder mit bedeutenden Treibhausgasemissionen kontrollieren und begrenzen. Spielraum gibt es lediglich hinsichtlich der Finanzierung der notwendigen Reduktionen.

Auch unter Effizienzgesichtspunkten ist der Einbezug der Entwicklungsländer geboten, da dort günstige Möglichkeiten für Emissionsreduktionen existieren: Eine Studie von McKinsey (2009) kommt zu dem Ergebnis, dass sich 67 % des Potenzials weltweiter Emissionsreduktionen bis 2030 innerhalb der Entwicklungs- und Schwellenländer befinden.²⁵³ Dies ist auf die dort in zahlreicher Menge vorhandenen Vermeidungsmöglichkeiten in der Land- und Forstwirtschaft zurückzuführen, die vor allem in der Verbesserung bzw. Ausweitung von CO₂-Senken durch die Aufwertung von Böden oder durch Aufforstung bestehen.²⁵⁴ McKinsey rechnet für diese Maßnahmen teilweise mit sehr geringen Kosten. Für die Vermeidung einer Tonne CO₂e im Jahr 2030 durch Abholzungen werden etwa Durchschnittskosten von unter 3 Euro angegeben.²⁵⁵ Im landwirtschaftlichen Sektor betragen die Kosten für eine große Zahl möglicher Reduktionsmaßnahmen sogar nur um die 1 Euro.²⁵⁶

Die Verhandlungspositionen der Staaten innerhalb der Gruppe der Industrienationen unterscheiden sich trotz der ähnlichen Anreizstruktur teilweise stark voneinander. Die USA zeigten sich auch während der Gespräche über ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll Ende 2009 in Kopenhagen nicht dazu bereit, ihre Emissionen internationalen Verpflichtungen zu unterwerfen. Der Kongress der Vereinigten Staaten kündigte lediglich an, die CO₂-Emissionen unilateral um etwa 4 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren.²⁵⁷ Die Europäische Union, die mit einem Anteil von fast 15 % an den jährlichen Emissionen als weltweit drittgrößter Emittent gilt und daher ebenso wie die USA eine enorme Kostenbelastung einkalkulieren muss, vertritt eine deutlich andere Verhandlungsposition: Für die Zeit nach Auslaufen des Kyoto-Protokolls hat die Europäische Union das ehrgeizige Ziel geäußert, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 20 % gegenüber 1990 zu

²⁵³ Vgl. McKinsey (2009), S. 35. Das Gesamtpotenzial bezieht sich auf die Realisierung sämtlicher technischer Maßnahmen zur Reduktion des Klimas, die pro Reduktion einer Tonne CO₂e im Jahr 2030 höchstens 60 Euro kosten, vgl. ebenda S. 9.

²⁵⁴ Vgl. ebenda S. 116 ff.

²⁵⁵ Vgl. ebenda, S. 120 f.

²⁵⁶ Vgl. ebenda, S. 124 ff. McKinsey räumt allerdings ein, dass die angegebenen Schätzungen vor allem im land- und forstwirtschaftlichen Bereich mit starken Unsicherheiten behaftet sind, vgl. ebenda S. 12. Als Grund hierfür werden potenzielle Implementationsschwierigkeiten genannt.

²⁵⁷ Vgl. Tagesschau.de (2009), o. S.

reduzieren. Sie bietet überdies eine Senkung bis zu 30 % an, sofern andere Staaten ähnlich ambitionierte Reduktionsvorhaben vorlegen und Entwicklungsländer im Rahmen ihrer Möglichkeiten mit eigenen Maßnahmen zum Klimaschutz beitragen. Das langfristige Ziel der EU für das Jahr 2050 besteht gar in einer Senkung der Emissionen um 80 bis 95 %.²⁵⁸

Ausschlaggebend für diese stark unterschiedlichen Verhandlungspositionen innerhalb der Gruppe der Industrienationen sind vor allem politische Gründe. Regierungsmitglieder, die auf internationaler Ebene verhandeln, müssen die übernommenen Verpflichtungen auch national vertreten. Modelle der politischen Ökonomie sind häufig durch die Annahme gekennzeichnet, dass Regierungen versuchen ihre Chancen einer Wiederwahl zu maximieren.²⁵⁹ Die möglichen Zugeständnisse der Industriestaaten im Rahmen internationaler Verhandlungen werden demnach von den Interessen der jeweils entscheidenden Wählergruppen bestimmt.²⁶⁰

Im Fall von Klimaverhandlungen kann davon ausgegangen werden, dass die verhandelnden Volksvertreter umso höhere Emissionsbeschränkungen akzeptieren werden, je ausgeprägter die Präferenz der Wähler für Umweltschutz ausfällt. Einer Umfrage des Pew Research Centers im Jahr 2009 zufolge glauben lediglich 36 % der amerikanischen Bevölkerung daran, dass der Klimawandel auf menschliche Einflüsse zurückzuführen sei und nur 35 % empfinden die globale Erwärmung als ernsthaftes Problem.²⁶¹

In Europa herrscht weitgehende Einigkeit über die Einschätzung der Auswirkungen des Klimawandels. Laut einer Umfrage, die im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission und dem Europäischen Parlament in Auftrag gegeben wurde, schätzen drei Viertel der europäischen Bevölkerung den Klimawandel als „sehr ernstes Problem“ ein.²⁶² Die Bereitschaft, für umweltfreundliche Energien mehr zu bezahlen, unterscheidet sich hingegen von Land zu Land. So ist die Zahlungsbereitschaft in Deutschland, im Vereinigten Königreich und in Rumänien am geringsten.²⁶³

Zur Erreichung der Reduktionsziele bis zum Jahr 2020 wurde unter den europäischen Mitgliedstaaten ein System der Lastenteilung eingeführt.²⁶⁴ Dieses System sieht sowohl für Deutschland als auch für das Vereinigte Königreich hohe anteilige Emissionsreduktionen vor.²⁶⁵ Da gerade in diesen Ländern die Zahlungsbereitschaft für Klimapolitik eher gering zu

²⁵⁸ Vgl. Europäische Kommission (2010b), S. 2.

²⁵⁹ Vgl. Vogt (2002), S. 179.

²⁶⁰ Vgl. ebenda.

²⁶¹ Vgl. The Pew Research Center for the People & the Press (2009), o. S.

²⁶² Vgl. Europäische Kommission und Europäisches Parlament (2008), S. 12.

²⁶³ Vgl. ebenda, S. 71.

²⁶⁴ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2009).

²⁶⁵ Vgl. ebenda, Anhang II, S. L140/147.

sein scheint, bedarf die Tatsache, dass die Lastenteilung dennoch auf europäischer Ebene durchgesetzt werden konnte, einer zusätzlichen Erklärung.

Geoffrey Brennan beschreibt hierzu das Wahlverhalten der Individuen als „expressiv“.²⁶⁶ Der tatsächliche Einfluss der Stimme eines einzelnen Wählers auf das Ergebnis einer Wahl auf nationaler Ebene ist sehr gering.²⁶⁷ Die Kosten der Wahl für den Klimaschutz bestehen daher für das jeweilige Individuum in den tatsächlichen Belastungen durch die Implementation der gewählten Politik multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, dass die eigene Stimme für den Ausgang der Wahl ausschlaggebend ist.²⁶⁸ Folglich sind die Kosten der Stimmabgabe zugunsten des Klimaschutzes verschwindend klein. Das Kalkül der Wähler besteht nun laut Brennan in einer Abwägung dieser Kosten mit dem durch die Wahl entstehenden Nutzen.²⁶⁹ Dieser „expressive Nutzen“ resultiert aus der Möglichkeit, die eigenen moralischen Werte im Rahmen der Wahl zum Ausdruck zu bringen.²⁷⁰

Das expressive Wahlverhalten könnte in Deutschland sowie im Vereinigten Königreich den Ausschlag für eine Zustimmung zu Emissionsreduktionen gegeben haben. So denken 69 % der Deutschen, dass es ihre Pflicht als Bürger ist, die Umwelt zu schützen.²⁷¹ Im Fall des Vereinigten Königreichs ergab eine Umfrage, dass 60 % der Briten der Meinung sind, dass die Bürger zu wenig tun, um den Klimawandel zu bekämpfen.²⁷² In beiden Mitgliedstaaten ist es also denkbar, dass der expressive Nutzen des Wählens die Kosten der Wahl übertroffen hat.

Die aktuelle Situation des internationalen Klimaschutzes stellt sich so dar, dass sich die meisten Industrienationen im Rahmen des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet haben, zusammen ihre Emissionen im Zeitraum von 2008 bis 2012 um 5 % im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren.²⁷³ Die vorangehende Analyse hat gezeigt, dass es für ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll nicht ausreicht, die Verpflichtungen zur Reduktion von Treibhausgasen weiterhin auf Industrieländer zu beschränken. Vor allem der Einbezug von Schwellenländern ist essentiell zur Kontrolle der künftigen Emissionen und zur Eindämmung des Leakage-Effekts. Die Finanzierung des Klimaschutzes kann dagegen auf internationaler Ebene vereinbart und etwa an den Entwicklungsstand der jeweiligen Länder angepasst werden.

²⁶⁶ Vgl. Brennan (2009), S. 319 ff.

²⁶⁷ Vgl. ebenda, S. 320.

²⁶⁸ Vgl. ebenda.

²⁶⁹ Vgl. ebenda, S. 321.

²⁷⁰ Vgl. ebenda.

²⁷¹ Vgl. Europäische Kommission und Europäisches Parlament (2008), S. 76.

²⁷² Vgl. ebenda, S. 45.

²⁷³ Vgl. Oberthür und Ott (2000), S. 169 f.

Die Entscheidung der verschiedenen Länder über den Beitritt zu einem internationalen Klimaschutzabkommen hängt einerseits vom erwarteten Nettonutzen, andererseits aber auch von den jeweiligen Interessen der Staaten – seien sie von Gerechtigkeitsaspekten oder von dem Wunsch zum Trittbrettfahren motiviert – und, zumindest im Fall demokratisch organisierter Staaten, auch von der Einstellung der Bevölkerung zum Klimaschutz ab. Das Instrumentarium des Abkommens kann an einigen Punkten ansetzen, um die Beitrittswahrscheinlichkeit der Länder zu erhöhen. Die Wahl eines kosteneffektiven Instruments zur Reduktion der Treibhausgase kann die Gesamtkosten des Klimaschutzes reduzieren, während der Mechanismus zur Lastenteilung die individuell anfallenden Kosten und Nutzen bestimmt. Der Lastenteilungsschlüssel kann dabei nach Kriterien ausgestaltet werden, die dem Gerechtigkeitsempfinden der meisten Staaten entgegen kommen. Die Ausgestaltung des Instrumentariums, das zusätzlich in der Lage sein sollte dem grünen Paradoxon entgegenzuwirken, wird im Folgenden betrachtet.

4. Ein Instrumentarium zur effektiven Umsetzung globaler Klimaschutzpolitik

Das Instrumentarium eines Folgeabkommens zum Kyoto-Protokoll sollte eine effektive Umsetzung des vorgegebenen Emissionsreduktionspfades ermöglichen. Hierzu ist es zunächst erforderlich ein Instrument zur internationalen Treibhausgasreduktion zu finden. Auf Grundlage dieser Entscheidung kann dann festgelegt werden, auf welche Art und Weise entstehende Kostenbelastungen aufgeteilt und welcher Lastenteilungsschlüssel hierfür zugrunde gelegt werden soll. Dies ist eine politische Entscheidung, welche von Werturteilen bestimmt wird und daher nicht allein aufgrund ökonomischer Überlegungen beschlossen werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt daher eine Bewertung von Lastenteilungssystemen anhand ihrer internationalen Zustimmungsfähigkeit. Schließlich ist es notwendig, Regelungen für eine effektive Durchsetzung der Verpflichtungen der Vertragsparteien zu definieren. Am Ende des Kapitels werden potenzielle Hürden bei der Implementierung angesprochen und Lösungsvorschläge diskutiert.

4.1 Instrumente zur Reduktion von Treibhausgasen: Steuern versus Emissionshandel

Zur Reduktion von Treibhausgasen kommen grundsätzlich „Command and Control“- (CaC) und marktbasierende Instrumente in Frage.²⁷⁴ CaC-Instrumente beinhalten zum einen

²⁷⁴ Vgl. Carraro (2002), S. 6.

Vorschriften zur Verwendung bestimmter Produktionsprozesse („technology-based standards“) und zum anderen Standards, die beim Ausstoß von Emissionen einzuhalten sind („performance-based standards“).²⁷⁵ Letztere können sich auf die absolute Menge der emittierten Treibhausgase beziehen, oder aber den maximal zulässigen Ausstoß pro Produktionseinheit festlegen.²⁷⁶

Während CaC-Instrumente Produktionsmethoden oder Emissionsbegrenzungen explizit vorschreiben, steuern marktbasierende Instrumente das Verhalten von Unternehmen indirekt durch Marktsignale.²⁷⁷ Die Hauptinstrumente sind Steuern und handelbare Emissionszertifikate.²⁷⁸ Im Fall der Steuer wird eine Abgabe auf den Ausstoß von Treibhausgasen erhoben,²⁷⁹ was einen finanziellen Anreiz zur Reduktion der Emissionen schafft. Bei Einführung eines Emissionshandels wird das Recht auf Emission an den Besitz von Zertifikaten, deren Gesamtmenge im Vorhinein festgelegt wird, geknüpft.²⁸⁰ Auch hier besteht eine finanzielle Motivation zur Einsparung von Emissionen, da ein Ausstoß über die vorhandene Menge an Zertifikaten hinaus den Zukauf von Emissionsrechten voraussetzt. Entsprechend können Zertifikate, die durch die Reduktion von Emissionen überflüssig geworden sind, weiterverkauft werden. Der Einsatz marktbasierter Instrumente führt demgemäß zu einer Bepreisung zuvor kostenloser Emissionen.

Aus ökonomischer Sicht sollten marktbasierende Instrumente zur internationalen Emissionsreduktion eingesetzt werden. Nur sie ermöglichen eine kosteneffektive Realisierung des Reduktionsziels,²⁸¹ was wiederum eine Bedingung zur Erfüllung des Effizienzkriteriums darstellt.²⁸² Voraussetzung für die Minimierung der Vermeidungskosten ist ein Ausgleich der Grenzkosten über alle Emissionsquellen hinweg.²⁸³ Während CaC-Instrumente in der Regel zu unterschiedlichen Grenzvermeidungskosten führen,²⁸⁴ erfolgt durch die Implementierung marktbasierter Instrumente der Ausgleich in dezentraler Art und Weise.²⁸⁵

²⁷⁵ Vgl. Stavins und Whitehead (1992), S. 4.

²⁷⁶ Vgl. Hepburn (2006), S. 229.

²⁷⁷ Vgl. Carraro (2002), S. 6.

²⁷⁸ Vgl. Stavins (1997), S. 297.

²⁷⁹ Vgl. ebenda.

²⁸⁰ Zur Funktionsweise des Zertifikatehandels vergleiche Stavins (1998), S. 4.

²⁸¹ Eine kurze Erklärung von Kosteneffektivität findet sich in Stavins (1997), S. 295.

²⁸² Vgl. Nordhaus (2001), S. 9.

²⁸³ Vgl. Fisher et al. (1995), S. 429. Eine mathematische Herleitung findet sich in Perman et al. (2003), S. 242 ff.

²⁸⁴ Theoretisch ist es denkbar, CaC-Instrumente so auszugestalten, dass sie kosteneffektiv wirken. Hierfür sind allerdings Kenntnisse nötig, die in der Realität weder vorhanden sind, noch zu adäquaten Kosten erlangt werden können, vgl. Fisher et al. (1995), S. 429.

²⁸⁵ Vgl. Stavins (1998), S. 3.

Wird etwa eine nationale Steuer eingeführt, so bestimmt die Höhe des Steuersatzes das Ausmaß an Emissionsreduktionen durch die Unternehmen.²⁸⁶ Diese werden bis zu dem Punkt ihre Emissionen reduzieren, an dem die Vermeidung einer weiteren Emissionseinheit größere Kosten verursacht, als die Zahlung der Steuer für die entsprechende Menge. Die Unternehmen emittieren also jeweils die Menge an Treibhausgasen, bei der die individuell anfallenden Grenzkosten dem Steuersatz entsprechen. Ähnliches gilt für den Fall des Zertifikatehandels auf nationaler Ebene. Innerhalb eines gut funktionierenden Markts bildet sich ein Preis für die Emissionsrechte heraus.²⁸⁷ Dieser Preis ist für die Unternehmen, wie vorher der Steuersatz, Entscheidungskriterium für den Umfang ihrer Emissionsreduktionen. Liegt der Marktpreis der Zertifikate über den Grenzkosten der Emissionsvermeidung, so ist es für die Unternehmen sinnvoll, Emissionen einzusparen und ihre überflüssigen Zertifikate am Markt zu verkaufen. Im umgekehrten Fall lohnen sich ein Zukauf von Emissionsrechten und eine entsprechende Ausweitung der Emissionen. Im Ergebnis halten alle Unternehmen die Menge an Zertifikaten, bei der die individuellen Grenzkosten dem Marktpreis entsprechen, was wiederum zum Ausgleich der Grenzkosten unter den Unternehmen führt. Auf internationaler Ebene wirken die Instrumente analog. Im Fall des internationalen Emissionshandels entscheiden jedoch die einzelnen Regierungen über das Ausmaß der Emissionsreduktion, es sei denn, sie verteilen ihre Zertifikate weiter an ihre Unternehmen, die dann ihrerseits auf nationaler wie internationaler Ebene Handel betreiben können.

Ein zusätzlicher Vorteil marktbasierter Instrumente liegt in ihrer dynamischen Effizienz, die für die Entwicklung der Kosten der Klimapolitik im Zeitverlauf entscheidend ist.²⁸⁸ So fördert ihr Einsatz die Entwicklung neuer Technologien zur Emissionsreduktion, da der Ausstoß jeder Emissionseinheit belastet wird.²⁸⁹ Anreize zur Kostenminimierung innerhalb der Unternehmen fördern somit Innovationen und können künftige Kosten der Klimapolitik reduzieren. Emissionsstandards führen hingegen lediglich bis zur Erfüllung der Vorgaben zu einer erhöhten Investitionsbereitschaft in günstige Reduktionsalternativen.²⁹⁰ Im Fall von Technologiestandards kann man überdies davon ausgehen, dass die Entwicklung neuer Technologien eher behindert als begünstigt wird.²⁹¹

Aufgrund der deutlichen Überlegenheit marktbasierter Instrumente, sowohl im Hinblick auf die Generierung von Kosteneffizienz als auch bezüglich der dynamischen

²⁸⁶ Zur Funktionsweise und Kosteneffektivität von Emissionssteuern vgl. Stavins und Whitehead (1992), S. 13 f.

²⁸⁷ Vgl. zu dem folgenden Mechanismus Harrison (2002), S. 313.

²⁸⁸ Vgl. Austin (1999), S. 7.

²⁸⁹ Vgl. ebenda.

²⁹⁰ Vgl. ebenda.

²⁹¹ Vgl. Jaffe et al. (2002), S. 50.

Effizienzwirkungen, beschränkt sich die folgende Analyse auf die relativen Vorzüge und Nachteile von Emissionssteuern und Zertifikatehandel.

4.1.1 Theoretische Überlegungen: Das Weitzman-Theorem

Unter der Annahme vollkommener Sicherheit über die Verläufe von Grenznutzen und -kosten der Emissionsvermeidung führen Steuern und Emissionshandel zu identischen Ergebnissen, was die Menge der ausgestoßenen Gase sowie die Höhe der resultierenden Grenzkosten betrifft.²⁹² Im Fall des Zertifikatehandels wird die erlaubte Emissionsobergrenze, die anhand von IAM-Berechnungen festzulegen ist, direkt vorgeschrieben. Ist der Handel hinreichend gut etabliert, wird sich ein Preis für die Emissionsrechte herausbilden, der den im Gleichgewicht anfallenden sozialen Grenzkosten der Emissionen entspricht, die ebenfalls durch den Einsatz von IAMs vorausberechnet werden können.²⁹³

Die sozialen Grenzkosten entsprechen außerdem, falls eine Emissionssteuer eingesetzt werden soll, dem optimalen Steuersatz.²⁹⁴ Werden die Unternehmen mit diesem Steuersatz konfrontiert, wird sich die Menge an Emissionen einstellen, die zum Ausgleich von Grenzkosten und Grenznutzen der Emissionsreduktion führt. In beiden Fällen wird eine Internalisierung der durch den Treibhausgasausstoß entstehenden externen Effekte durch die Emittenten gewährleistet.²⁹⁵

Im realistischeren Szenario können weder die Kosten noch der Nutzen von Emissionsreduktionen perfekt prognostiziert werden. In diesem Fall unterscheiden sich die beiden marktbasierten Instrumente hinsichtlich ihrer Wirkungsweise. Unter Einführung des Emissionshandels wird die Menge der Emissionen exakt festgelegt, die resultierenden Vermeidungskosten können allerdings nicht vorhergesagt werden. Dagegen fixieren Steuern die Kosten der Emissionsreduktionen, der resultierende Ausstoß an Treibhausgasen ist jedoch ungewiss.²⁹⁶

Unter der Annahme unsicherer Kosten- und Nutzenverläufe zeigt sich demnach ein Unterschied der Instrumente hinsichtlich ihrer ökologischen Treffsicherheit, d. h. der Genauigkeit mit der durch Einsatz des Instruments das vorgegebene Reduktionsziel erreicht

²⁹² Zur Identität von Steuern und Zertifikatehandel unter der Annahme vollkommener Sicherheit, vgl. Weitzman (1974), S. 480.

²⁹³ Nordhaus liefert mit Hilfe des DICE-Modells Angaben zu effizienten Emissionsreduktionen sowie zu den zugehörigen sozialen Grenzkosten, die dem Preis für die Emissionen entsprechen, vgl. Nordhaus (2008), S. 14 f. Nordhaus gibt die optimalen Preise für Emissionen mit 27 US-Dollar im Jahr 2005 an. Analog zu den im Zeitverlauf immer strikter werden Emissionsbegrenzungen, steigt der optimale Emissionspreis real um ca. 2 bis 3 % pro Jahr, vgl. ebenda, S. 23. Zum Konzept der sozialen Grenzkosten, vgl. ebenda, S. 11 ff.

²⁹⁴ Vgl. ebenda, S. 11 f.

²⁹⁵ Vgl. Stavins und Whitehead (1992), S. 37.

²⁹⁶ Vgl. Pizer (1997), S. 1.

werden kann.²⁹⁷ Eine hohe Zielgenauigkeit kann nur der Emissionshandel gewährleisten, der die Gesamtmenge erlaubter Emissionsmengen explizit vorgibt.

Die Wahl zwischen Emissionshandel und Emissionssteuer erfordert entsprechend eine Abwägung zwischen ökologischer Treffsicherheit und der Kenntnis über die entstehenden Vermeidungskosten. Diese Abwägung hat Martin Weitzman 1974 in seinem Aufsatz „Prices vs. Quantities“ vollzogen. Er stellte fest, dass es für die Entscheidung zwischen einer Steuer und dem Emissionshandel auf den relativen Verlauf von Grenzkosten- und Grenznutzenkurve der Emissionsvermeidung ankommt.²⁹⁸ Verläuft die Grenznutzenkurve steiler als die Grenzkostenkurve, so kann bereits eine knappe Verfehlung der optimalen Menge, durch falsche Berechnung des optimalen Steuersatzes, starke Umweltschäden hervorrufen. In diesem Fall ist daher die Einführung eines Zertifikatehandels sinnvoller als die Steuerlösung. Im umgekehrten Fall, also bei einer relativ flachen Grenznutzenkurve und steiler Grenzkostenkurve, ist die Realisierung des angemessenen Steuersatzes vordergründig. Hier könnte, falls der Zertifikatehandel eingesetzt würde, eine zu niedrig festgelegte Emissionsobergrenze zu enorm hohen unerwünschten Kosten führen.

In Bezug auf die Klimapolitik ist anzunehmen, dass die Grenzkostenkurve wesentlich steiler verläuft als die Grenznutzenkurve.²⁹⁹ Letztere weist wahrscheinlich sogar einen eher flachen Verlauf auf: Die Umweltschäden durch Treibhausgase hängen von deren Bestand in der Atmosphäre ab. Emissionen innerhalb einer Periode verändern die Bestandsgröße aber nicht wesentlich. Daher werden die Schäden nicht sonderlich von Änderungen der Emissionsströme einzelner Perioden beeinflusst, so dass der Grenzscha-den, auch bei Verfehlung der optimalen Emissionsmenge, nahezu konstant bleibt. Die Vermeidungskosten variieren dagegen ungleich stärker mit Änderungen der Emissionsmenge, da die Einsparung jeder weiteren Emissionseinheit mit Kosten belastet ist. Diese Konstellation einer relativ flachen Grenznutzenkurve in Verbindung mit einer steil verlaufenden Grenzkostenkurve spricht für den Einsatz einer Steuer, um starke Abweichungen vom optimalen Ausmaß der Grenzkosten zu vermeiden.

Um eine endgültige Entscheidung zwischen den Instrumenten Emissionssteuer und Emissionshandel treffen zu können, ist allerdings die Berücksichtigung weiterer Aspekte notwendig. Zum einen wirken sich die Instrumente unterschiedlich auf das potenziell auftretende grüne Paradoxon aus. Da die Einführung einer optimalen Emissionssteuer mit im

²⁹⁷ Vgl. Endres (2007), S. 106.

²⁹⁸ Vgl. Weitzman (1974), S. 485.

²⁹⁹ Vgl. zu diesem Absatz Jacoby und Ellerman (2002), S. 3.

Zeitverlauf steigenden Steuersätzen einhergeht, werden Eigentümer fossiler Brennstoffe einen Anstieg des Preisdrucks auf ihre Absatzpreise im Vergleich zum Referenzniveau ohne Klimapolitik erwarten und die Extraktion ihrer Rohstoffe beschleunigen. Es wurde zwar bereits darauf hingewiesen, dass das Ausmaß der Extraktionsbeschleunigung von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird und daher nicht endgültig vorherbestimmt werden kann. Allerdings sollte das mit dem Auftreten des grünen Paradoxons verbundene Risiko einer Beschleunigung des Klimawandels nicht ausgeblendet werden. Hans-Werner Sinn spricht sich daher für den Einsatz eines internationalen Emissionshandels aus.³⁰⁰ Zwar würde auch hier das Effizienzkriterium einen steten Rückgang der erlaubten Emissionsmengen erfordern. Die Ressourceneigentümer könnten allerdings im Fall einer flächendeckenden Anwendung des Emissionshandels nicht mit erhöhten Abbaumengen reagieren, da die Nachfrage in jeder Periode durch das Volumen vorhandener Emissionsrechte beschränkt ist. Umsetzungsschwierigkeiten von Steuern im Rahmen eines künftigen Klimaschutzabkommens stellen ein weiteres Problem dieses Instruments dar.

4.1.2 Implementierungsschwierigkeiten von Steuern

Grundsätzlich kommen zur Verwirklichung der Steuerlösung innerhalb eines internationalen Klimaschutzabkommens zwei Varianten in Frage. Eine Möglichkeit besteht in der Einführung und Harmonisierung nationaler Steuern, die andere in einer internationalen Besteuerung der Emissionen.³⁰¹ Beide Varianten bedeuten einen erheblichen Eingriff in die Souveränität der einzelnen Staaten, da jeweils die national anzuwendende Klimaschutzpolitik konkret vorgegeben wird. Im Fall der internationalen Besteuerung erfolgt die Steuererhebung zudem durch eine internationale Institution. Ihre Umsetzung ist daher als extrem unrealistisch einzuschätzen.³⁰² Aber auch der Einsatz nationaler Steuern, die weltweit harmonisiert werden um einen Ausgleich der Grenzkosten zu erreichen, ist problematisch.

Zum einen bestehen für die einzelnen Regierungen Möglichkeiten, die Auswirkungen der vereinbarten Steuer auf nationaler Ebene zu umgehen.³⁰³ Durch eine Senkung bereits existierender Steuern oder etwa durch Einführung von Subventionen nach Implementation der Emissionssteuer, kann die heimische Industrie entlastet werden. Der effektive Steuersatz wird auf diese Weise gesenkt und das intendierte Emissionsreduktionsziel verfehlt.

³⁰⁰ Vgl. Sinn (2008), S. 417 ff.

³⁰¹ Zu den beiden Steuervarianten vgl. Fisher et al. (1995), S. 404.

³⁰² Vgl. ebenda oder Stewart und Wiener (2003), S. 69.

³⁰³ Vgl. zu dieser Problematik Victor (2001), S. 86.

Doch auch ohne die potenzielle Problematik vorsätzlicher Ausgleichsstrategien ist die Implementierung des effektiven Steuersatzes in bestehende fiskalische Strukturen sehr aufwendig. Da in einigen Ländern bereits Umweltsteuern eingesetzt werden, reicht es nicht aus die vereinbarte Steuer zusätzlich einzuführen. Stattdessen muss für sämtliche existierende Systeme derjenige Steuersatz ermittelt werden, bei dem die effektive Belastung der Treibhausgasemissionen dem international vereinbarten Steuersatz entspricht.³⁰⁴

Ein zusätzlicher Kritikpunkt an einer global harmonisierten Steuer besteht in der einheitlichen Belastung von Emissionseinheiten über alle Staaten hinweg, was nicht mit dem Grundsatz der „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ vereinbar ist. Da aus Kosteneffizienzgründen keine unterschiedlichen Steuersätze je nach Entwicklungsstand der einzelnen Länder festgelegt werden können, muss die Einführung der Emissionssteuer mit Seitenzahlungen von Industriestaaten zu weniger entwickelten Ländern kombiniert werden. Der Einsatz von Transfers kann jedoch den Anreizeffekt der Steuer beeinflussen.³⁰⁵ Daher müssten die Seitenzahlungen so gestaltet werden, dass sie sich nicht auf das Emissionsverhalten innerhalb des unterstützten Landes auswirken könnten. Des Weiteren werden direkte ungebundene Kapitaltransfers zwischen den Regierungen aller Voraussicht nach international nicht durchsetzbar sein. An Auflagen gebundene Transfers erfordern demgegenüber eine Überwachung der Verwendung der Gelder.

Durch die Anwendung eines internationalen Emissionshandels können die angesprochenen Schwierigkeiten der Implementierung von Emissionssteuern umgangen werden. Der Einsatz dieses Instrumentariums impliziert zunächst die Festlegung einer globalen Obergrenze an Emissionen, die innerhalb einer bestimmten Periode, dem „Verpflichtungszeitraum“,³⁰⁶ zugelassen sind.³⁰⁷ Zertifikate in entsprechender Menge werden dann nach einem Lastenteilungsschlüssel auf die einzelnen Länder aufgeteilt. Unabhängig von der Anfangsverteilung und unter der Bedingung eines funktionierenden Marktes bildet sich ein Preis für die Zertifikate heraus, der einen internationalen Ausgleich der Grenzkosten gewährleistet.

Im Gegensatz zu der konkreten Vorgabe der nationalen Politik bei Einführung einer Emissionssteuer bleibt es den einzelnen Regierungen im Fall des internationalen Emissionshandels selbst überlassen, welche Instrumente sie auf nationaler Ebene zur

³⁰⁴ Eine Darstellung des Problems sowie Lösungsvorschläge finden sich in Nordhaus (2007), S. 40 ff.

³⁰⁵ Vgl. Wiener (2009), S. 526 f.

³⁰⁶ Dieser Begriff wurde im Rahmen des Kyoto-Protokolls eingeführt und betrifft die Zeitspanne, innerhalb derer die Vertragsparteien ihre Reduktionsverpflichtungen erfüllen müssen, vgl. Oberthür und Ott(2000), S. 175 f.

³⁰⁷ Zum internationalen Emissionshandel vgl. Stavins (1997), S. 299.

Erfüllung ihrer Reduktionsverpflichtungen einsetzen. Daher bietet dieses Instrument den Vertragsparteien größtmögliche Souveränität in der Art der Umsetzung ihrer Klimapolitik. Gleichzeitig kann die ökologische Treffsicherheit des Abkommens nicht durch ausgleichende nationale Politiken gefährdet werden, da die globale Emissionsmenge begrenzt ist. Schwierigkeiten der Ermittlung des effektiven Steuersatzes entfallen.

Verteilungsaspekten wird im Fall des internationalen Emissionshandels durch die anfängliche Zertifikatezuteilung Rechnung getragen.³⁰⁸ Im Gegensatz zu den direkten Geldtransfers zwischen den Vertragsparteien im Fall der Emissionssteuer, werden hier die Seitenzahlungen indirekt durch den Handel mit Emissionsrechten geleistet.³⁰⁹ Diese Form der Lastenteilung ist politisch deutlich leichter umzusetzen, zumal sich die tatsächliche Höhe der Seitenzahlungen erst durch den Handel ergibt und nicht im Vorhinein vereinbart werden muss.³¹⁰

Im Extremfall könnten Entwicklungsländern Emissionsrechte in einer Höhe zugeteilt werden, die den Bedarf an Zertifikaten im BAU-Szenario decken. Hierdurch würde ohne jegliche Belastung der Beitritt zu einem internationalen Klimaschutzabkommen ermöglicht. Stattdessen könnten die Entwicklungsländer – die meist durch geringe Emissionsvermeidungskosten gekennzeichnet sind – von dem Verkauf eines Teils ihrer Zertifikate an Industrieländer mit höheren Vermeidungskosten profitieren. Ein ausführlicher Vorschlag zur Lastenteilung erfolgt innerhalb des Unterkapitels 4.2.1.

Die Vorteile des internationalen Emissionshandels im Vergleich zur Steuerlösung, bestehen folglich zum einen in der Gewährleistung einer ökologischen Effektivität, die sowohl für die Glaubwürdigkeit des Abkommens als auch zur Eindämmung des grünen Paradoxons wesentlich ist. Zum anderen gestaltet sich die politische Umsetzung weniger schwierig.

Ein zusätzlicher Vorteil des Emissionshandels stellt sich heraus, wenn dieser auch auf nationaler Ebene eingeführt wird. In wohlhabenderen Ländern entwickelt sich so für die betroffenen Firmen ein Anreiz zur aktiven Finanzierung von Vermeidungsaktivitäten in Entwicklungsländern.³¹¹ Da es für das Einhalten der internationalen Verpflichtungen keine Rolle spielt, ob Emissionen reduziert oder Zertifikate hinzugekauft werden, ist es für kostenminimierende Firmen vorteilhaft, die weltweit günstigsten Reduktionsmöglichkeiten ausfindig zu machen. Durch das innerhalb der Industrieländer bestehende Interesse eigene hohe Vermeidungskosten zu umgehen würde so, im Austausch für den Erhalt von

³⁰⁸ Vgl. Stavins (1997), S. 309.

³⁰⁹ Vgl. Stavins und Barrett (2002), S. 16 f.

³¹⁰ Vgl. zum Beispiel Aldy et al. (2003), S. 100.

³¹¹ Vgl. zu diesem Mechanismus Stewart und Wiener (2003), S. 70.

Emissionsrechten, ein nachhaltigerer Wachstumspfad innerhalb der Entwicklungsländer durch den Privatsektor unterstützt.

Hauptnachteil der Implementierung eines internationalen Emissionshandels liegt in der bereits angesprochenen Unsicherheit über die sich ergebenden Zertifikatspreise, die bei Einführung einer Steuer entfällt. Durch die Einführung weiterer Instrumente kann dieser Nachteil allerdings abgeschwächt werden.

4.1.3 Instrumente zur Reduktion von Unsicherheiten bezüglich der Zertifikatspreise im Fall eines internationalen Emissionshandels

Der Einsatz eines Emissionshandels birgt nicht nur die Gefahr, dass aufgrund mangelnder Berechnungen der optimalen Zertifikatsmenge die Vermeidungskosten stark in die Höhe getrieben werden. Durch das kurzfristig unelastische Angebot an Emissionsrechten innerhalb einer Verpflichtungsperiode, können Veränderungen in der Nachfrage, zum Beispiel aufgrund unerwarteter Entwicklungen von Wirtschaft oder Brennstoffpreisen, zusätzlich starke Schwankungen der Zertifikatspreise auslösen.³¹² Diese Preisvolatilität erschwert Investitionsplanungen, was zu einer Abschwächung der dynamischen Effizienz des Emissionshandels führt.³¹³

Eine Möglichkeit zur Senkung der Preisvolatilität besteht darin, die Verpflichtungsperiode zur Einhaltung der nationalen Reduktionsziele auszudehnen. Dieser Ansatz wurde bereits im Rahmen des Kyoto-Protokolls eingeführt.³¹⁴ Den Vertragsparteien wird jene Menge an Zertifikaten zugeteilt, die der erlaubten Emissionsmenge zur Erfüllung der vereinbarten Reduktionsziele für den gesamten Verpflichtungszeitraum entspricht. Dieser Zeitraum kann mehrere Jahre umfassen. Die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls beträgt zum Beispiel fünf Jahre von Anfang 2008 bis Ende 2012. Die Regierungen erhalten hierdurch eine Flexibilität in der zeitlichen Umsetzung ihrer Verpflichtungen, die so beispielsweise an die Entwicklung der Energienachfrage angepasst werden kann. Zusätzlich werden sinnvolle Verlagerungen von Reduktionsanstrengungen, etwa auf einen Zeitraum nach Realisierung eines mehrjährigen Klimaschutzprojektes, ermöglicht. Diese zeitliche Flexibilität ermöglicht eine Senkung der gesamten Vermeidungskosten der Länder.³¹⁵

³¹² Für eine Analyse der Preisentwicklungen innerhalb des europäischen Emissionshandelssystems (EU-ETS) vgl. etwa Sanin und Violante (2009).

³¹³ Zu möglichen Auswirkungen volatiler Zertifikatspreise vgl. Nordhaus (2007), S. 38 f.

³¹⁴ Vgl. Oberthür und Ott (2000), S. 175 f.

³¹⁵ Vgl. Stewart und Wiener et al. (2003), S. 30.

Ein mehrere Jahre umfassender Verpflichtungszeitraum erhöht nicht nur die Planungssicherheit und dynamische Flexibilität, sondern reduziert auch administrative Kosten, da zwar die Emissionen fortlaufend verifiziert werden müssen, eine eingehende Überprüfung der Erfüllung der Reduktionsvorgabe durch die Vertragsparteien jedoch auf das Ende jeder Verpflichtungsperiode beschränkt wird.³¹⁶ Allerdings verringert die Ausdehnung des Verpflichtungszeitraums die Flexibilität, globale Reduktionsziele an neu gewonnene Erkenntnisse anzupassen. Außerdem besteht die Gefahr, dass aufgrund mangelnder kurzfristiger Anreize frühzeitige Investitionen ausbleiben. Eine unwirtschaftliche Verschiebung von Reduktionsbemühungen in die Zukunft kann dementsprechend auch zu einem Anstieg der Vermeidungskosten führen und die Einhaltung der Verpflichtungen erheblich erschweren.³¹⁷

Die Ausdehnung des Verpflichtungszeitraums ist mit Vor- und Nachteilen verbunden, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Es ist daher denkbar die fünfjährige Zeitspanne der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls auch in folgenden Perioden beizubehalten. Zur Förderung langfristiger Investitionsprojekte ist es allerdings wichtig zusätzlich Bandbreiten für mögliche Reduktionsziele der folgenden Perioden festzulegen um eine langfristige Planungssicherheit zu gewährleisten. Außerdem sollte die im Rahmen des Kyoto-Protokolls vereinbarte Verpflichtung zur Anfertigung jährlicher nationaler Berichte über das „Treibhausgasinventar“ weitergeführt werden.³¹⁸ So werden kurzfristige Anreize für Reduktionsbemühungen geschaffen, indem die Berichte veröffentlicht und etwa durch die Aussprache von Empfehlungen durch eine internationale Aufsichtsbehörde ergänzt werden.

Die Ausweitung der Verpflichtungsperiode kann die Volatilität der Preise innerhalb dieses Zeitraums senken. Schwierigkeiten können sich allerdings weiterhin ergeben, falls die Gesamtmenge der Emissionsrechte für den Verpflichtungszeitraum falsch berechnet wurde. Vor allem gegen Ende einer Periode besteht dann die Gefahr stark ansteigender Zertifikatepreise im Fall einer zu gering angesetzten Zuteilungsmenge, oder einem erheblichen Absinken der Preise, falls die zugeteilte Menge zu umfangreich war.³¹⁹ Diese Problematik wurde im Rahmen des Europäischen Emissionshandelssystem (European Union Emissions Trading Scheme, EU-ETS) gegen Ende der ersten Zuteilungsperiode deutlich. Die

³¹⁶ Vgl. zu den Vorteilen langfristiger Verpflichtungszeiträume Buchner (2007), S. 12 ff.

³¹⁷ Vgl. zu den Vorteilen kurzer bzw. den Nachteilen langfristiger Verpflichtungszeiträume ebenda, S. 15 ff.

³¹⁸ Zu den jährlichen Berichterstattungen durch die Vertragsparteien vgl. UNFCCC (2008), S. 22 ff. Auf eine eingehende Betrachtung der Ausgestaltungsanforderungen wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.

³¹⁹ Vgl. Fankhauser und Hepburn (2009), S. 19.

in zu hohem Umfang verteilten Zertifikate verloren im letzten Jahr der ersten Zuteilungsperiode von 2005 bis 2007 faktisch ihren Wert.³²⁰

Ein Ausweg besteht in der Zulassung der Übertragung von Emissionsrechten zwischen verschiedenen Verpflichtungszeiträumen.³²¹ So erlaubt das „Banking“ von Zertifikaten, Emissionsrechte von einer Verpflichtungsperiode in die nächste zu übertragen. Sind die Zertifikatspreise daher innerhalb einer Periode geringer als erwartet, so besteht ein Anreiz zusätzliche Zertifikate zur späteren Verwendung oder Veräußerung aufzukaufen. Die durch die Übertragungsmöglichkeit gesteigerte Nachfrage resultiert somit in einem Anstieg der Zertifikatspreise. Gegenstück zum „Banking“ ist das „Borrowing“ von Emissionsrechten. Hierbei wird den Emittenten ermöglicht, heute getätigte Emissionen mit Zertifikaten künftiger Perioden abzudecken. Der Zukauf teurer Emissionsrechte im aktuellen Verpflichtungszeitraum kann so umgangen werden, wenn im Gegenzug auf die entsprechende Menge an Emissionen in der Folgeperiode verzichtet wird. Der Nachfragerückgang in Perioden mit zu geringem Zertifikatevolumen führt wiederum zu einer Preissenkung.

Ein zusätzlicher Vorteil der Einführung von „Banking“ und „Borrowing“ besteht darin, dass Unternehmen, sofern der Emissionshandel auch auf nationaler Ebene umgesetzt wird, sofort auf neue Forschungserkenntnisse, die eine Anpassung des optimalen Emissionsreduktionspfades erfordern, reagieren können.³²² Emittenten werden eine Verknappung der angebotenen Zertifikatmenge in künftigen Perioden antizipieren, wenn neu generiertes Wissen auf eine Verschärfung der Klimaproblematik hindeutet. Um den damit verbundenen höheren Vermeidungskosten zu entgehen, besteht für die Unternehmen ein Anreiz, in der aktuellen Periode vergleichsweise günstige Zertifikate zusätzlich zu erwerben um diese dann in künftigen Perioden einsetzen zu können. Die Ausweitung der Nachfrage nach Emissionsrechten führt so bereits in der laufenden Periode zu steigenden Zertifikatspreisen und damit zu stärkeren Reduktionsbemühungen. Dies geschieht allein durch die Voraussicht der Emittenten, ohne dass tatsächlich Politikanpassungen durchgeführt wurden.

Das Vorziehen von Emissionsreduktionen bzw. die Verlagerung in die Zukunft verändert den gesellschaftlichen Schaden im Vergleich zum optimalen Reduktionspfad. Daher ist der

³²⁰ Zum Verlauf der Zertifikatspreise innerhalb der ersten Zuteilungsperiode des EU-ETS vgl. Ellerman und Joskow (2008), S. 12 f.

³²¹ Vgl. zu den Mechanismen Borrowing und Banking etwa Kubsch (2009), S. 13 oder Jacoby und Ellerman (2002), S. 8 f.

³²² Vgl. Murray et al. (2009), S. 92 ff. Dieser Vorteil handelbarer Emissionsrechte besteht nicht nur gegenüber der Option des Emissionshandels ohne „Banking“ und „Borrowing“, sondern auch gegenüber Steuern.

intertemporale Handel mit einer Diskontrate bzw. einer Handelsquote zu belegen, welche die Schadensveränderung berücksichtigt und gewährleistet, dass frühzeitige Emissionsreduktionen belohnt und Anreize zur Verschiebung von Reduktionen auf zukünftige Perioden geschmälert werden.³²³

Ogleich aus theoretischer Sicht eine maximale zeitliche Flexibilität der Emissionsreduktionen wünschenswert ist, wird die Umsetzung des intertemporalen Zertifikatehandels teilweise kritisch betrachtet. Vor allem das „Borrowing“ ist problembehaftet, da dessen übermäßige Inanspruchnahme zu einer Verknappung der Zertifikate in den entsprechenden Folgeperioden führt. Dies birgt die potenzielle Gefahr, dass die Emissionsreduktionen geringer ausfallen als ursprünglich intendiert, falls einzelne Vertragsparteien nicht mehr in der Lage sind ihre Verpflichtungen einzuhalten oder falls im Rahmen eines politischen Prozesses eine nachträgliche Ausweitung der Zertifikatenumenge durchgesetzt wird.³²⁴

Eine Möglichkeit zur Eindämmung dieser Problematik besteht darin, die Inanspruchnahme des „Borrowing“ nur dann zu genehmigen, wenn die jeweilige Vertragspartei begründen kann, dass die Verlagerung von Emissionsreduktionen in die Folgeperiode aus Effizienzgesichtspunkten notwendig ist. Als Nachweis könnte etwa die Vorlage eines langfristigen Investitionsprojekts dienen. Die erwünschte dynamische Flexibilität bliebe so erhalten, gleichzeitig würde gewährleistet, dass die Verzögerung von Reduktionsanstrengungen nur unter der Voraussetzung konkreter Strategien für einen Ausgleich innerhalb der Folgeperiode durchgeführt wird. Diese Regelung verursacht zwar Bürokratiekosten – die durch Standardisierungen der Nachweise gesenkt werden könnten – andererseits müssen diese Kosten gegen nicht realisierte Flexibilitätsgewinne bei Einschränkung des intertemporalen Handels zwischen Verpflichtungsperioden abgewogen werden.

Beide beschriebenen Instrumente, die Ausdehnung der Verpflichtungsperiode sowie die Einführung des intertemporalen Zertifikatehandels, können die Volatilität der Preise von Emissionsrechten reduzieren. Die Gefahr unerwünscht hoher Vermeidungskosten aufgrund falsch berechneter Zertifikatenumengen kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Daher wird in der Literatur häufig die Einführung einer „Safety Valve“ vorgeschlagen.³²⁵ Der Emissionshandel wird dabei dahingehend modifiziert, dass die Ausgabe zusätzlicher

³²³ Vgl. Newell et al. (2005), S. 136.

³²⁴ Vgl. zu Problemen im Zusammenhang mit dem Borrowing Zwingmann (2007), S. 103 f.

³²⁵ Eine ausführliche Charakterisierung findet sich in Jacoby und Ellerman (2002).

Zertifikate über die vorher festgelegte Menge hinaus zum sogenannten „Trigger-Preis“ gewährleistet wird.³²⁶ Dieser Preis bestimmt das obere Ende möglicher Grenzvermeidungskosten. Sind genügend Zertifikate vorhanden, so dass sich ein Preis unterhalb des „Trigger-Preises“ ergibt, wird die „Safety Valve“ nicht in Anspruch genommen. Erreichen die Grenzvermeidungskosten hingegen ihre maximale Höhe, so wirkt der um die „Safety Valve“ ergänzte Emissionshandel wie eine Steuer, da die Emission jeder weiteren Einheit von Treibhausgasen mit konstanten Kosten verbunden ist.³²⁷

Problemhaft ist das Zusammenspiel von „Safety Valve“ und dem „Banking“ von Emissionsrechten.³²⁸ Kann etwa mit stark ansteigenden Zertifikatepreisen in künftigen Perioden über den aktuellen „Trigger-Preis“ hinaus gerechnet werden, so besteht ein Anreiz die „Safety Valve“ so weit wie möglich in Anspruch zu nehmen. Die Anhäufung von Zertifikaten kann eine Umgehung der höheren Preise von Folgeperioden ermöglichen. Je nach Realisierung der Nachfrageausweitung könnte die Menge an Emissionsrechten mit der Zeit stark ansteigen, und eine Emissionsreduktion im gewünschten Ausmaß verhindern. Ein Ausweg besteht darin, die durch die „Safety Valve“ zugekauften Zertifikate vom „Banking“ auszuschließen.

Des Weiteren ist es notwendig international einen einheitlichen „Trigger-Preis“ festzulegen, da unterschiedliche Preise in verschiedenen Staaten die Kontrolle über nationale Reduktionsverpflichtungen enorm erschweren würden.³²⁹ Hieraus ergeben sich ähnliche Schwierigkeiten, wie bei der Implementierung einer harmonisierten Emissionssteuer. So könnte die Anwendung eines weltweit einheitlichen „Trigger-Preises“ als ungerecht empfunden werden und dementsprechend die politische Umsetzung erschweren. Außerdem macht die Einführung einer „Safety Valve“ einen wichtigen Vorteil des Emissionshandels zunichte, falls die Grenzkosten den „Trigger-Preis“ erreichen: Die direkte Kontrolle über die globale Emissionsmenge ist dann nicht mehr möglich, was eine Verhinderung des grünen Paradoxons stark erschwert.

Dennoch ist es sinnvoll zu Beginn der Einführung eines internationalen Emissionshandels die „Safety Valve“ zu nutzen, um Ineffizienzen durch eine zu ambitionierte Klimapolitik zu vermeiden. Gerade zu Anfang bestehen die größten Unsicherheiten bezüglich der

³²⁶ Vgl. Pizer (1997), S. 2.

³²⁷ Vgl. Jacoby und Ellerman (2002), S. 1 f.

³²⁸ Vgl. Murray et al. (2009), S. 90 ff.

³²⁹ Bei perfekten Handelsbedingungen würden die weltweiten Grenzkosten durch dasjenige nationale „Safety Valve“-System bestimmt, das den geringsten „Trigger-Preis“ aufweist, vgl. Jacoby und Ellerman (2002), S. 10. Die optimale Höhe des „Trigger-Preises“ sowie die entsprechende Menge an Zertifikaten sind abhängig vom Verlauf von Grenzvermeidungskosten und Grenzscha-den, vgl. Stranlund (2009).

Grenzvermeidungskosten. Daher könnte die Begrenzung der Belastungen durch den Einsatz eines „hybriden“ Instruments in Form des „Trigger-Preises“ vor allem Länder mit voraussichtlich hohen anteiligen Kosten zur Teilnahme an einem internationalen Klimaschutzabkommen bewegen. Wird ein Allokationsmechanismus für die Anfangsverteilung der Zertifikate verwendet, der den Entwicklungsstand der Länder als Kriterium berücksichtigt, so werden finanzschwache Länder eine geringere Menge an zusätzlichen Zertifikaten erwerben müssen. Entsprechend werden sie in geringerem Umfang von dem „Trigger-Preis“ betroffen sein, was eine internationale Einigung über seine Höhe erleichtern könnte.

Die „Safety Valve“ reduziert zudem das Risiko einer Ausübung von Marktmacht, das ebenfalls zu Beginn des Emissionshandels mit noch wenigen Akteuren, die teilweise eine hohe Zahl von Zertifikaten besitzen, am größten ist.³³⁰ Die Strategie einzelner Akteure, eine künstliche Verknappung des Angebots an Emissionsrechten herbeizuführen um die Zertifikatspreise in die Höhe zu treiben, wird durch den maximal erzielbaren „Trigger-Preis“ vereitelt.

Falls sich die Problematik des grünen Paradoxons bestätigt oder falls riskante Schwellenwerte bezüglich der Konzentration von Treibhausgasen bekannt werden, sollte allerdings langfristig zu einem reinen Emissionshandelssystem mit der Möglichkeit der zeitlichen Übertragung von Zertifikaten übergegangen werden. Die Erfahrungen einiger Perioden des Emissionshandels werden vermutlich eine bessere Einschätzung des Ausmaßes der Vermeidungskosten ermöglichen. Schließlich sollte die Ausweitung des Handels auf zahlreiche Länder und eventuell Unternehmen auch die Marktmacht einzelner Akteure verringern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der internationale Emissionshandel als Instrument zur Treibhausgasreduktion innerhalb eines Folgeabkommens zum Kyoto-Protokoll eingesetzt werden sollte. Er überwindet die Nachteile einer Emissionssteuer, die vor allem in der mangelnden ökologischen Effektivität und den Schwierigkeiten der politischen Umsetzung bestehen. Gleichzeitig kann der Hauptnachteil des Emissionshandels, die Unsicherheit über die entstehenden Vermeidungskosten, durch eine Erhöhung der zeitlichen Flexibilität sowie durch den (temporären) Einsatz einer Safety Valve umgangen werden. Bei der Implementierung des internationalen Emissionshandels ist zudem davon auszugehen, dass sich ein Markt für den Handel mit Derivaten auf Zertifikate herausbilden wird, was die

³³⁰ Literaturhinweise zur Problematik der Marktmacht im internationalen Emissionshandel finden sich in Carlén (2003), S. 1 f.

Investitionsplanung der Emittenten zusätzlich erleichtern kann und eine weitere Absicherung gegen Risiken ermöglicht.³³¹

4.1.4 Transformation des Status Quo zur Implementierung eines internationalen Emissionshandelssystems

Der internationale Emissionshandel wurde bereits innerhalb des Kyoto-Protokolls als einer von drei flexiblen Mechanismen zur Senkung der Gesamtkosten der Emissionsreduktionen eingeführt.³³² Diese flexiblen Mechanismen ermöglichen den Vertragsparteien eine Umsetzung ihrer nationalen Reduktionsverpflichtungen zusammen mit anderen Parteien.³³³ Nationale Reduktionsziele können demzufolge durch die Realisierung günstiger Klimaschutzmaßnahmen im Ausland erfüllt werden.

Der internationale Emissionshandel des Kyoto-Protokolls bezieht sich auf die Emissionsmengen, die den Industrieländern auf Grundlage der vereinbarten Reduktionsziele zugeteilt wurden („Assigned Amount Units“, AAUs). Daher können sich bisher nur diese Länder am Emissionshandel beteiligen. Ein weiterer flexibler Mechanismus ermöglicht dagegen die Ausnutzung günstiger Emissionsreduktionspotenziale in Ländern außerhalb dieser Gruppe. Durch Nutzung des „Clean Development Mechanism“ (CDM) können Industriestaaten etwa Klimaschutzprojekte in Entwicklungsländern fördern.³³⁴ Für die aus dem jeweiligen Projekt resultierenden Emissionsreduktionen werden sogenannte CERs („Certified Emission Reductions“) ausgestellt, die das Entwicklungs- an das entsprechende Industrieland verkaufen kann. Die CERs werden diesem Land auf sein Emissionsbudget angerechnet. Ein ähnliches projektbezogenes Instrument ist die „Joint Implementation“ (JI).³³⁵ Dieser dritte flexible Mechanismus bezieht sich wiederum nur auf Projekte innerhalb der Industriestaaten. Hier werden die durch die Emissionsreduktionen entstehenden Emissionsrechte („Emission Reduction Units“, ERUs) dem „Gastgeberstaat“ abgezogen und demjenigen Staat angerechnet, der das Projekt im Ausland durchgeführt hat.³³⁶

Länder, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls Reduktionsverpflichtungen übernommen haben, können also durch den Einsatz der verschiedenen flexiblen Mechanismen jeweils zusätzliche Emissionsrechte erwerben, sei es in Form von AAUs, CERs oder ERUs. Diese verschiedenen

³³¹ Vgl. hierzu etwa Monast et al. (2009), S. 7 f.

³³² Vgl. UN (1998), Art. 17, S. 15.

³³³ Eine Beschreibung der flexiblen Mechanismen findet sich in Haensgen (2002), S. 19 ff.

³³⁴ Vgl. UN (1998), Art. 12, S. 11 f. Zur Funktionsweise vgl. Haensgen (2002), S. 21.

³³⁵ Vgl. UN (1998), Art. 6, S. 6 f.

³³⁶ Vgl. Haensgen (2002), S. 21.

Arten von Emissionsrechten können in gleicher Weise gehandelt werden.³³⁷ Unter der Bedingung vollständiger Konkurrenz und ohne Transaktionskosten sollte der Einsatz der Instrumente daher zu einem Ausgleich der Grenzkosten über die Länder hinweg führen, die gleichzeitig den jeweiligen Zertifikatepreis bestimmen sollten.³³⁸

Transaktionskosten spielen jedoch vor allem bei den beiden projektbezogenen Mechanismen eine große Rolle. Ihre Durchführung sieht jeweils die Erstellung einer Projektdokumentation, die von einer unabhängigen Institution überprüft werden muss, sowie die Ausarbeitung eines Monitoringplans vor.³³⁹ Axel Michaelowa und Marcus Stronzik (2002) ermitteln in einer Analyse der flexiblen Mechanismen CDM und JI jeweils erhebliche Transaktionskosten.³⁴⁰ Zudem zeigen sie, dass aufgrund der anfallenden Dokumentations- und Kontrollkosten, lediglich solche Projekte lohnenswert sind, deren Emissionseinsparungen einen gewissen Schwellenwert überschreiten.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden projektbezogenen Mechanismen liegt in der Tatsache, dass sich die Gesamtmenge der Emissionsrechte im Fall des CDM erhöht, während sie bei der JI unberührt bleibt. Die Kontroll- und Berichterstattungspflichten des CDM fallen entsprechend umfangreicher aus, da sichergestellt werden muss, dass die gesamte globale Emissionsmenge durch das jeweilige Projekt nicht ansteigt.³⁴¹ Infolge dessen ist davon auszugehen, dass auch die Transaktionskosten des CDM diejenigen der übrigen flexiblen Mechanismen übersteigen.

Durch die Trennung von Vertragsparteien in Länder mit und ohne Reduktionsverpflichtungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls war es notwendig, ein gesondertes Instrument zur Förderung von Emissionsreduktionen in Entwicklungs- und Schwellenländern einzuführen. Diese Trennung sollte allerdings künftig nicht beibehalten werden, da es notwendig ist, die Emissionen sämtlicher Länder mit bedeutendem Treibhausgasausstoß zu kontrollieren. Die Zuteilung von Emissionsrechten an jeden Vertragspartner, die theoretisch der Menge prognostizierter BAU-Emissionen entsprechen kann, ermöglicht nicht nur die Kontrolle der Treibhausgase, sondern vereinfacht auch den Handel mit Emissionsrechten zwischen den vorher getrennten Ländergruppen. Die flexiblen Mechanismen können auf diese Weise auf die JI und den internationalen Emissionshandel beschränkt werden.

³³⁷ Vgl. ebenda, S. 92 f.

³³⁸ Vgl. ebenda.

³³⁹ Zum Ablauf von Klimaschutzprojekten vgl. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt (2005), S. 5 ff.

³⁴⁰ Vgl. Michaelowa und Stronzik (2002).

³⁴¹ Vgl. zu den Anforderungen an die Durchführung des CDMs DEHSt im Umweltbundesamt (2005), S. 9 ff.

Da die JI im Endeffekt einem Handel von Emissionsrechten zwischen Industriestaaten entspricht, ist die theoretische Wirkungsweise äquivalent zum internationalen Emissionshandel.³⁴² Die vergleichsweise hohen Transaktionskosten des projektbezogenen Mechanismus sprechen daher für eine umfassende Weiterentwicklung des internationalen Emissionshandels, der für die Durchführung sämtlicher Klimaschutzprojekte geeignet ist und mit der Zeit die JI ersetzen kann.

Gegenwärtig existieren bereits mehrere Emissionshandelssysteme auf staatlicher sowie überstaatlicher Ebene.³⁴³ Das einzige länderübergreifende System darunter ist das EU-ETS, welches einen freien Zertifikatehandel zwischen teilnehmenden Unternehmen innerhalb der EU ermöglicht.³⁴⁴ Es umfasst neben den 27 Mitgliedstaaten der EU auch die Nachbarländer Island, Liechtenstein und Norwegen. Neuseeland, die Schweiz und Japan haben jeweils 2008 ein Emissionshandelssystem eingeführt.³⁴⁵ Zwei regionale Systeme wurden innerhalb der USA etabliert: im Jahr 2003 die „Chicago Climate Exchange“ und 2005 die zehn Bundesstaaten umfassende „Regional Greenhouse Gas Initiative“.³⁴⁶ Auch der australische Bundesstaat New South Wales hat 2003 ein Emissionshandelssystem eingeführt.³⁴⁷ Geplant sind Systeme in Australien und Kanada.³⁴⁸ Für die Etablierung eines internationalen Emissionshandelssystems müssen die bereits bestehenden Systeme gegebenenfalls umgestaltet werden, so dass eine Kompatibilität gewährleistet ist.

Im Folgenden werden Überlegungen zur internationalen Lastenteilung sowie zur Durchsetzung der vereinbarten Verpflichtungen im Rahmen eines internationalen Emissionshandelssystems diskutiert.

4.2 Die Ausgestaltung von Lastenteilung und Durchsetzung der Verpflichtungen unter Einsatz eines internationalen Emissionshandels

Nach der Festlegung des Instruments zur Treibhausgasreduktion innerhalb eines künftigen Klimaschutzabkommens müssen Regelungen zur internationalen Lastenteilung definiert

³⁴² Vgl. Grubb et al. (1999), S. 131.

³⁴³ Einen Überblick liefern Kossoy und Ambrosi (2010).

³⁴⁴ Vgl. zu dem EU-ETS Europäische Kommission (2009).

³⁴⁵ Informationen zu den einzelnen Emissionshandelssystemen finden sich an folgenden Stellen: für Neuseeland: Ministry for the Environment New Zealand (2010), für die Schweiz: Bundesamt für Umwelt der Schweiz (2010), für Japan: Ministry of the Environment Japan (2004).

³⁴⁶ Vgl. zu den Handelssystemen die jeweiligen Homepages der Handelssysteme: Chicago Climate Exchange (2010) und Regional Greenhouse Gas Initiative (2010).

³⁴⁷ Vgl. Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales (2010).

³⁴⁸ Vgl. zur Vorgehensweise der australischen Regierung Kossoy und Ambrosi (2010), S. 26 f. und zum Vorhaben Kanadas Environment Canada (2010).

werden. Außerdem ist es notwendig Durchsetzungsmechanismen einzuführen, welche die Einhaltung der übernommenen Verpflichtungen gewährleisten sollen.

4.2.1 Die Lastenteilung

Ein konkreter Vorschlag für die Ausgestaltung des internationalen Emissionshandels erfordert Aussagen über die Aufteilung der Zertifikate zwischen den verschiedenen Ländern. Während die Frage nach dem Einbezug von Staaten in den Emissionshandel bestimmt, wo Emissionen reduziert werden können, entscheidet die Anfangsverteilung der Zertifikate darüber, wer für die Kosten dieser Reduktionen aufkommt. Der erste Punkt kann aus ökonomischer Sicht eindeutig vorgegeben werden: Sämtliche Staaten, in denen Emissionen anfallen bzw. Senken zur Speicherung von Treibhausgasen vorhanden sind, sollten am Zertifikatehandel teilnehmen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Gesamtheit der externen Kosten berücksichtigt wird und gleichzeitig die Emissionsreduktionen dort stattfinden, wo sie am günstigsten zu realisieren sind. Aus rein theoretischer Sicht spielt die Anfangsverteilung der Zertifikate keine Rolle für die Realisierung einer effizienten Emissionsreduktion. In der Realität spielen allerdings die Verteilungswirkungen, die sich durch die Anfangsausstattung ergeben eine erhebliche Rolle. Da die Teilnahme der Staaten an einem Abkommen nur auf freiwilliger Basis geschehen kann, ist es für dessen Realisierung entscheidend, dass die Verteilung von den einzelnen Parteien als gerecht empfunden wird.³⁴⁹

Die Liste potenziell anwendbarer Gerechtigkeitsprinzipien ist lang und die Entscheidung für oder gegen ihren Einsatz erfolgt immer auf der Grundlage subjektiver Präferenzen.³⁵⁰ Die folgenden Prinzipien wurden etwa bereits vorgeschlagen: die Einführung eines Maximin-Prinzips, bei dem die Emissionsrechte derart verteilt werden, dass der größtmögliche Nettovorteil für die ärmsten Länder erreicht wird; die Anwendung eines Souveränitätsprinzips, bei dem jedes Land einen Anteil der Zertifikate proportional zu seinen aktuellen Emissionen erhält; der Einsatz einer Kant'schen Regel, die dadurch gekennzeichnet ist, dass jeder Staat seine Emissionen um den Faktor reduziert, den er auch für die anderen Staaten als angemessen betrachtet. Das prominenteste Beispiel für die Ausgestaltung der Lastenteilung beruht allerdings auf dem Gleichheitsprinzip und wird vor allem von Entwicklungsländern präferiert.³⁵¹ Hiernach steht jedem Individuum dasselbe Recht auf die Nutzung der Atmosphäre zu. Übertragen auf die Anfangsausstattung mit Emissionszertifikaten bedeutet dies eine Zuteilung proportional zur Bevölkerung.

³⁴⁹ Vgl. Höhne et al. (2002), S. 21.

³⁵⁰ Eine Darstellung von Gerechtigkeitsprinzipien und deren Implikationen für die Emissionsverteilung findet sich in Cazorla und Toman (2000), S. 7 ff.

³⁵¹ Vgl. ebenda, S. 9.

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU, 2009) hat zu diesem Verteilungsansatz im Rahmen eines Sondergutachtens einen konkreten Vorschlag ausgearbeitet.³⁵² Dazu wurde zunächst das „Budget“ an Emissionen bis zum Jahr 2050 geschätzt, welches unter der Voraussetzung der Erreichung des „2-Grad-Ziels“ zur Verfügung steht. Auf dieser Grundlage wurden nationale Emissionsbudgets so berechnet, dass sich jeweils die gleiche Menge an kumulierten Emissionen pro Kopf über einen bestimmten Zeitraum ergibt. Für die Wahl des Betrachtungszeitraums werden zwei Optionen vorgeschlagen.³⁵³ Die erste berücksichtigt die kumulierten Emissionen zwischen 1900 und 2050, die zweite bezieht sich ungeachtet der historisch getätigten Emissionen auf einen Ausgleich der Pro-Kopf-Emissionen zwischen 2010 und 2050. Soll die Lastenteilung dem Prinzip der Gleichheit in Bezug auf das Recht der Nutzung der Atmosphäre Rechnung tragen, scheint nur die erste Option, oder aber die Wahl eines noch früheren Zeitpunkts für den Betrachtungszeitraum plausibel. Die Beschränkung der Gleichheit auf die Zukunft innerhalb der zweiten Option ist hingegen eher fragwürdig, da dies Industrieländer mit umfangreichen historischen Emissionen bevorteilen würde.

Eine Umsetzung der ersten Option wird allerdings vom WBGU selbst als unrealistisch eingeschätzt.³⁵⁴ Dies liegt daran, dass in diesem Szenario die USA, Deutschland und Russland ihre gesamten nationalen Budgets bereits im Jahr 2010 überstrapaziert hätten. Diese Staaten müssten in hohem Maßstab Emissionsrechte von anderen Ländern aufkaufen. Vor allem die USA hätten mit erheblichen finanziellen Transferzahlungen zu rechnen. Zwischen 2010 und 2050 müssten sie 56 Mrd. Tonnen CO₂ einsparen. Dies entspricht nahezu der Hälfte des gesamten Ausstoßes seit 1990.³⁵⁵ China und Indien dagegen, die aktuell Rang eins und fünf im Vergleich der weltweit stärksten Emittenten einnehmen, dürften bis 2050 weitere 164 bzw. 156 Mrd. Tonnen CO₂ ausstoßen.³⁵⁶

Allerdings erscheint die gleichmäßige Aufteilung des Nutzungsrechts an der Atmosphäre auf jedes Individuum ohnehin nur auf den ersten Blick als gerecht. So argumentieren etwa Posner und Sunstein (2008), dass die Gerechtigkeit eines Prinzips hinterfragt werden müsse, das lediglich die positiven Aspekte der Nutzung gleichverteile, die regional stark unterschiedlichen Auswirkungen dieser Nutzung jedoch außer Acht lasse.³⁵⁷

³⁵² Vgl. WBGU (2009).

³⁵³ Vgl. ebenda, S. 25 ff.

³⁵⁴ Vgl. ebenda, S. 27.

³⁵⁵ Vgl. ebenda, S. 25 f.

³⁵⁶ Vgl. ebenda, S. 26.

³⁵⁷ Vgl. Posner und Sunstein (2008), S. 28.

Um eine möglichst umfassende Zustimmung für eine Lastenteilung unter den Teilnehmerländern zu gewährleisten, ist es sinnvoll, sich an den Prinzipien zu orientieren, die bereits in dem Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen enthalten sind. Dieses Abkommen wurde von sämtlichen Mitgliedern der Vereinten Nationen ratifiziert.³⁵⁸ Sein Inhalt kann daher auch in einem Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll als zustimmungsfähig betrachtet werden. Von entscheidender Bedeutung ist dabei das bereits erwähnte Prinzip der „gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ in Artikel 3 Absatz 2 des Abkommens.³⁵⁹ Die „unterschiedlichen Verantwortlichkeiten“ beziehen sich dabei einerseits auf die unterschiedlich hohen Beiträge verschiedener Staaten zum Klimawandel und andererseits auf unterschiedliche Fähigkeiten, Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu ergreifen.³⁶⁰

Angewendet auf die Verteilung der Emissionsrechte, die auch als Lastenteilung unter den Staaten verstanden werden kann, lassen sich darüber zwei weitere Prinzipien ableiten: Um sicherzustellen, dass Länder mit einem höherem Ausstoß an Treibhausgasen auch mehr zur Eindämmung der Emissionen beitragen, kann ein „polluter pays“-Prinzip angewendet werden. Die Lastenteilung entsprechend dem Wohlstand der verschiedenen Länder wird hingegen durch Anwendung eines „Leistungsfähigkeitsprinzips“ sichergestellt.³⁶¹

Als Maß für die Leistungsfähigkeit eines Staates kann sein Bruttoinlandsprodukt oder Pro-Kopf-Einkommen dienen. Wohlhabenderen Ländern sollte demnach *ceteris paribus* eine geringere Zahl an Emissionszertifikaten zugeteilt werden, als weniger reichen Ländern. Artikel 2 der Rahmenkonvention unterstreicht, dass der internationale Klimaschutz in einer Weise gestaltet werden sollte, die eine Fortführung der „wirtschaftliche(n) Entwicklung auf nachhaltige Weise“ ermöglicht.³⁶² Die Belastungen für einzelne Staaten sollten daher nicht deren Weiterentwicklung behindern. Konkret könnte dies bedeuten, dass Entwicklungsländer zunächst gänzlich von der Verpflichtung zu Emissionsreduktionen befreit werden, indem ihnen etwa Zertifikate in Höhe der prognostizierten BAU-Emissionen zugeteilt werden. Dies ermöglicht eine Kontrolle der weltweiten Emissionen ohne Belastungen für die ärmsten Länder. Das Prinzip der Leistungsfähigkeit stellt aber auch – im Gegensatz zu dem Vorschlag des WBGU – sicher, dass sich Länder mit fortschreitender Entwicklung immer stärker an den Kosten des Klimaschutzes beteiligen. Diese Regelung erscheint sowohl notwendig im

³⁵⁸ Vgl. UNFCCC (2011).

³⁵⁹ Vgl. UN (1992), Art. 3 Abs. 2, S. 4.

³⁶⁰ Vgl. Rajamani (2000), S. 121.

³⁶¹ Vgl. zu diesem Zusammenhang Höhne et al. (2002), S. 24.

³⁶² Vgl. UN (1992), Art. 2, S. 4.

Hinblick auf eine internationale Zustimmungsfähigkeit, als auch legitim, da sämtliche Länder vom Klimaschutz profitieren und daher auch einen Beitrag im Rahmen ihrer Möglichkeiten leisten sollten.

Die Berücksichtigung des „polluter pays“-Prinzips kann auf zwei Arten erfolgen, indem entweder die aktuellen Emissionen der Staaten in die Lastenteilung einbezogen werden, oder aber der historische Beitrag der Länder zur Temperaturerhöhung.³⁶³ Haupteinwände gegen die Berücksichtigung historischer Emissionen liegen zum einen in der Tatsache, dass frühere Generationen nicht um die schädlichen Einflüsse des Ausstoßes von Treibhausgasen wussten und daher auch nicht moralisch verantwortlich für die Folgen sein können. Überdies ist es kritisch, heutige Generationen, die de facto keinen Einfluss auf die Vergangenheit nehmen konnten, für die Handlungen ihrer Vorfahren zur Verantwortung zu ziehen.³⁶⁴ Die Freisprechung gegenwärtiger Generationen von deren moralischer Verantwortung entbindet diese allerdings nicht von der moralischen Verpflichtung zu Kompensationszahlungen, sofern sie von den Taten früherer Generationen profitieren.³⁶⁵ Dass dies vermutlich der Fall ist, zeigt die hohe Korrelation zwischen den vergangenen Emissionen von Staaten und ihrem Bruttonationaleinkommen pro Kopf.³⁶⁶

Zahlreiche Vorschläge zur Ausgestaltung von Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll beinhalten Empfehlungen zu Lastenteilungsschlüsseln und zur differenzierten Behandlung der Länder hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes.³⁶⁷ Ein Entwurf, der die genannten Kriterien zur Übernahme unterschiedlicher Verantwortungen erfüllt, ist das durch Michel G. J. den Elzen et al. (1999) erweiterte „Brazilian Proposal“.³⁶⁸

Während der Verhandlungen zum Kyoto-Protokoll wurde von der brasilianischen Delegation der Vorschlag unterbreitet, die Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgase unter den Industriestaaten nach deren historischem Beitrag zur Temperaturentwicklung aufzuteilen.³⁶⁹ Da sich ein künftiges Klimaschutzabkommen nicht auf Emissionsreduktionen von industrialisierten Ländern beschränken kann, wurde diese Idee von den Elzen et al. (2005b) auf ein globales Lastenteilungssystem ausgeweitet. Zusätzlich wurde eine Einkommensschwelle eingeführt, um unterschiedliche Entwicklungsstände der verschiedenen

³⁶³ Vgl. Grubb et al. (1992), S. 312.

³⁶⁴ Gegenargumente zur Berücksichtigung historischer Emissionen finden sich in Gosseries (2004), S. 38 f.

³⁶⁵ Vgl. ausführlich zur moralischen Verantwortlichkeit heutiger Generationen für Emissionen in der Vergangenheit ebenda (2004).

³⁶⁶ Vgl. Schokkaert und Eyckmans (1999), S. 210.

³⁶⁷ Eine Übersicht findet sich in Bodansky (2004).

³⁶⁸ Vgl. den Elzen et al. (1999).

³⁶⁹ Vgl. zum Vorschlag Brasiliens UNFCCC (1997), S. 3 ff.

Staaten berücksichtigen zu können. Auf diese Weise wird es möglich, Länder mit einem Einkommen unterhalb des Schwellenwerts von Reduktionsverpflichtungen auszunehmen.³⁷⁰

Die konkrete Anwendung des erweiterten Brazilian Proposals im Rahmen eines künftigen Klimaschutzabkommens könnte folgendermaßen aussehen: Zunächst wird die Emissionsmenge für eine Verpflichtungsperiode bestimmt. Hiervon werden sämtlichen Ländern, die sich unterhalb des Schwellenwertes befinden, Zertifikate in Höhe der BAU-Emissionen zugeteilt. Der Rest der Emissionsrechte wird dann unter den übrigen Ländern entsprechend ihrer historischen Verantwortlichkeit verteilt.

Um den historischen Beitrag einzelner Staaten zur Temperaturerhöhung berechnen zu können, muss zunächst der Emissionszeitraum bestimmt werden, der für die Berechnungen zugrunde gelegt wird. Dieser wird durch einen Anfangs- und Endzeitpunkt sowie durch ein Evaluierungsdatum definiert.³⁷¹ Je früher der Anfangszeitpunkt gewählt wird, umso höher ist der errechnete Anteil der Industrieländer an der Temperaturentwicklung, umso größer sind allerdings auch Unsicherheiten bezüglich der zugrunde gelegten Daten.³⁷² Aufgrund wachsender Emissionen von Schwellenländern steigt deren Anteil am Klimawandel, wenn der Endzeitpunkt nach hinten verschoben wird.³⁷³

Für die Berechnung der Beiträge zur Temperaturerhöhung wird angenommen, dass außerhalb der Zeitspanne zwischen Anfangs- und Enddatum keine Emissionen getätigt werden.³⁷⁴ Da auch nach Ablauf des Enddatums Einflüsse der getätigten Emissionen berücksichtigt werden müssen, wird zusätzlich ein Evaluierungsdatum festgelegt. Dieses bestimmt den Horizont für die Prognose der Auswirkungen der Treibhausgase und sollte idealerweise erst mit einigem Abstand auf das Emissionsenddatum festgelegt werden.³⁷⁵

Zusätzlich zur Definition des Betrachtungszeitraums der Emissionen ist es erforderlich, einen geeigneten Indikator für den Beitrag der Länder zum Klimawandel zu bestimmen.³⁷⁶ Hierfür können verschiedene Größen auf den Stufen der Wirkungskette vom Ausstoß der Emissionen, über die Veränderung der Nettowärmestrahlung, bis hin zum endgültig realisierten Temperaturanstieg verwendet werden. Das Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung des UNFCCC hat eine Liste von Kriterien zusammengestellt, die ein

³⁷⁰ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 291.

³⁷¹ Vgl. ebenda, S. 281.

³⁷² Vgl. ebenda und Figure 2a, S. 285. Den Elzen et al. weisen explizit auf die Unsicherheit der Daten vor dem Jahr 1990 hin, vgl. den Elzen et al. (1999), S. 27.

³⁷³ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 284 und Figure 2b, S. 285.

³⁷⁴ Vgl. ebenda, S. 281.

³⁷⁵ Vgl. ebenda, S. 284.

³⁷⁶ Vgl. ebenda, S. 285 f.

geeigneter Indikator erfüllen sollte.³⁷⁷ Darunter fallen etwa dessen Fähigkeit, die tatsächlichen Beiträge der Länder zum Temperaturanstieg möglichst gut abzubilden, oder eine exakte Berechnungsmöglichkeit. An diesen beiden Kriterien wird bereits deutlich, dass die Entscheidung für einen Indikator mit einem Trade-off verbunden ist.³⁷⁸ Die Orientierung am tatsächlichen Beitrag zum Klimawandel spricht für die Wahl eines Indikators am Ende der Wirkungskette. Der endgültige Temperaturanstieg wäre demnach eine sinnvolle Größe. Hierfür müssen allerdings mehrere unsichere Größen berechnet werden, wie die Änderung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre unter Berücksichtigung von Senken, der resultierende Strahlungsantrieb und schließlich die Auswirkungen auf die Temperatur. Im Hinblick auf eine möglichst sichere Berechnung des Indikators ist dagegen eine frühe Stufe der Wirkungskette, zum Beispiel die tatsächlich ausgestoßene Menge emittierter Treibhausgase, besser geeignet. Dadurch kann auf unsichere Prognosen verzichtet werden.

Je näher sich der Indikator am Ende der Wirkungskette bis zur Realisierung des Klimawandels befindet, umso größer fällt die Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt der Emission und der Auswirkung auf den Indikator aus.³⁷⁹ In der Tendenz gilt: Je geringer die Zeitverzögerung, desto geringer fällt der Anteil der Industrieländer bzw. der Länder mit hohen historischen Emissionen an der Ausprägung des Indikators aus, da sich der Einfluss wachsender Emissionen von den übrigen Ländern schneller bemerkbar macht. Wird also der Strahlungsantrieb der Emissionen als Indikator festgelegt, so ist der Beitrag der Industrieländer niedriger, als bei der Betrachtung des Temperaturanstiegs.³⁸⁰ Weitere Politikentscheidungen, die sich auf die Beiträge der Länder zum Klimawandel auswirken, sind die betrachteten Arten von Treibhausgasen und zugrundeliegende Klimamodelle.³⁸¹

Den Elzen et al. (2005b) berechnen die historischen Beiträge für verschiedene Ländergruppen im Referenzfall nach den Vorgaben des Sekretariats des UNFCCC.³⁸² Danach fällt der Anfangszeitpunkt auf das Jahr 1890, als End- und Evaluierungsdatum dient das Jahr 2000.³⁸³ Als Indikator verwenden den Elzen et al. (2005b) den Temperaturanstieg, was auch von

³⁷⁷ Zu Kriterien zur Indikatorwahl vgl. UNFCCC (2002), S. 7 ff.

³⁷⁸ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 286.

³⁷⁹ Vgl. ebenda.

³⁸⁰ Zu den Auswirkungen verschiedener Indikatoren auf die Beiträge relevanter Ländergruppen vgl. den Elzen et al. (2002), S. 19 ff.

³⁸¹ Vgl. zu den berücksichtigten Treibhausgasen den Elzen et al. (2005b), S. 186 f., zum verwendeten Klimamodell S. 281 und zum Einbezug von Unsicherheiten S. 287 f.

³⁸² Für die Erleichterung des Vergleichs zwischen verschiedenen Studien zur Berechnung historischer Beiträge zum Klimawandel wurde vom UNFCCC die Verwendung eines speziellen Klimamodells angeregt, welches Referenzwerte für den Emissionszeitraum vorgibt, vgl. ebenda, S. 279.

³⁸³ Vgl. ebenda, S. 281 ff.

Brasilien vorgeschlagen wurde.^{384,385} Außerdem werden sämtliche „Kyoto-Gase“ in die Berechnungen einbezogen.³⁸⁶ Das Referenzszenario ergibt einen relativen Beitrag der Annex I-Staaten zum Klimawandel von 60,4 %.³⁸⁷ Der höchste Anteil entfällt dabei auf die USA mit 21,9 %, gefolgt von der Ländergruppe „OECD Europe“ mit 15,4 % und der ehemaligen UdSSR mit 12,8 %.^{388,389}

Eine Sensitivitätsanalyse der Berechnungen zeigt, dass eine Verschiebung des Evaluierungsdatums auf das Jahr 2050 zu einer Erhöhung der Beiträge der Annex I-Staaten um insgesamt 1,7 % auf 62,1 % führt.³⁹⁰ Die Berücksichtigung von Auswirkungen der Treibhausgase über das Enddatum hinaus erhöht insbesondere die Beiträge der gesamten Ländergruppe „OECD90“ um 2,8 %.³⁹¹ Dies ist auf einen hohen Anteil dieser Gruppe an den historischen CO₂-Emissionen zurückzuführen, die für eine vergleichsweise lange Zeit in der Atmosphäre verbleiben.³⁹²

Die Auswirkungen der Verwendung des erweiterten „Brazilian Proposals“ zur Lastenteilung einer globalen Klimapolitik können anhand der länderspezifisch erforderlichen Emissionsreduktionen im Vergleich zum Jahr 1990 illustriert werden.³⁹³ Die folgenden Zahlen beziehen sich auf die Anwendung des Referenzfalls für die Berechnung der historischen Beiträge zur Temperaturerhöhung, kombiniert mit einem Schwellenwert zur Berücksichtigung des Leistungsfähigkeitsprinzips. Wird der Schwellenwert auf 50 % des durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommens der Annex I-Staaten im Jahr 1990 festgelegt – ausgedrückt in Kaufkraftparitäten – ergibt sich folgende Zuteilung der Emissionsrechte:³⁹⁴ Im Jahr 2025 erhalten die Annex I-Staaten eine Menge an Zertifikaten, die einer Emissionsreduktion zwischen 20 und 58 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Aufgrund

³⁸⁴ Brasilien schlug vor, den Klimawandel anhand der Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur zu messen, vgl. UNFCCC (1997), S. 4.

³⁸⁵ Vgl. den Elzen et al. (2005b), Figure 2, S. 285. Hier werden die Referenzwerte der verschiedenen Politikentscheidungen angegeben.

³⁸⁶ Vgl. ebenda.

³⁸⁷ Vgl. ebenda, Table I, S. 282.

³⁸⁸ Vgl. ebenda.

³⁸⁹ „OECD Europe“ beinhaltet alle Mitglieder der Europäischen Union, die gleichzeitig Mitglieder der OECD sind, vgl. OECD (2010).

³⁹⁰ Vgl. zu den Daten der Sensitivitätsanalyse den Elzen et al. (2005b), Table I, S. 282.

³⁹¹ Die Ländergruppe OECD90 setzt sich aus den Ländern zusammen, die im Jahr 1990 Mitglieder der OECD waren, vgl. den Elzen et al. (2002), S. 16.

³⁹² Vgl. ebenda, S. 31 f.

³⁹³ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 294 ff.

³⁹⁴ Die folgenden Zahlen wurden aus ebenda, Figure 6, S. 295 abgeleitet.

hoher historischer Beiträge entfallen beträchtliche Reduktionsverpflichtungen von jeweils über 50 % auf die erweiterte Europäische Union, die ehemalige UdSSR und Japan.³⁹⁵

Die Zertifikatezuteilung für Entwicklungs- und Schwellenländer erlaubt bis 2025 eine Ausweitung der Emissionen. Diese ist mit ca. 190 % für Afrika und Südasien am stärksten ausgeprägt. Lateinamerika kann seinen Treibhausgasausstoß mit einer Erhöhung von annähernd 100 % im Vergleich zu 1990 am wenigsten stark ausweiten. Dessen Beitrag am Klimawandel ist aufgrund der relativ hohen Landnutzungsaktivitäten höher als derjenige der übrigen Entwicklungsländer.³⁹⁶

Um die Umweltauswirkungen der Emissionen nach Ablauf des Enddatums berücksichtigen zu können, sollte im Rahmen eines künftigen Klimaschutzabkommens zur Berechnung der nationalen Reduktionsverpflichtungen das Evaluierungsdatum erst mit einigem zeitlichen Abstand auf das Enddatum folgen. Dies würde, wie oben erwähnt, vor allem den Beitrag der „OECD90“ erhöhen. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass der für die Berechnungen zugrunde gelegte Referenzfall Emissionsreduktionen vorsieht, die bis zum Jahr 2100 die CO₂e Konzentration auf 550 ppm stabilisieren sollen.³⁹⁷ Dieses Emissionsprofil wurde von den Elzen et al. (2005b) deshalb gewählt, weil es als dazu geeignet gilt, den Anstieg der Temperaturen auf 2°C zu begrenzen.³⁹⁸ Im Rahmen eines Folgeabkommens zum Kyoto-Protokoll sollte hingegen ein IAM zur Bestimmung des optimalen Reduktionspfades eingesetzt werden. Nordhaus (2008) gibt etwa für das Jahr 2100 eine optimale Konzentration allein für CO₂ von 586 ppm an. Die entsprechend weniger ambitionierte Zielvorgabe würde die absoluten Kosten des Abkommens verringern.

Letztendlich ist die Höhe des Einkommens, die als Schwellenwert zur Teilnahme berücksichtigt wird, diskussionswürdig. Als Orientierung kann das Einkommen der am wenigsten wohlhabenden Länder dienen, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls während der Verhandlungen im Jahr 1997 Reduktionsverpflichtungen übernommen haben. Hierzu gehören Bulgarien und Rumänien, deren Pro-Kopf-Einkommen zu dieser Zeit bei 4.800 bzw. 5.500 Internationalen Dollar lag, was ca. 35 % des Durchschnittseinkommens der Annex I-Länder

³⁹⁵ Den Elzen et al. (2005b) geben für die Gruppe Canada & USA deutlich geringere Belastungen an, als für die drei übrigen genannten Gruppen. Die Ursachen hierfür werden aus dem Text nicht deutlich.

³⁹⁶ Vgl. ebenda, S. 298. Zur Landnutzung zählen etwa die Abholzung von Wäldern, Verstädterung sowie landwirtschaftliche Aktivitäten. Einen Überblick über relevante Aktivitäten in Lateinamerika liefert UNEP (2010).

³⁹⁷ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 290.

³⁹⁸ Vgl. ebenda.

im Jahr 1990 entspricht.³⁹⁹ Demzufolge scheint es vertretbar, die Einkommensschwelle in einem ähnlichen Bereich festzulegen. Die Senkung der Schwelle führt im Vergleich zum Referenzfall zu sinkenden Beiträgen der Annex I-Länder.⁴⁰⁰ Zusätzlich ist es denkbar, eine Progression in der Übernahme von Kosten einzuführen.

Im Kontext von künftigen Verhandlungen über ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll wird es vor allem auf die Vermeidungskosten ankommen, die sich durch die Anwendung verschiedener Lastenteilungsschlüssel ergeben. Hierzu liegen bisher keine im Rahmen dieser Arbeit verwertbaren Berechnungen vor.⁴⁰¹

4.2.2 Durchsetzungsmechanismen

Die Wirksamkeit eines internationalen Klimaschutzabkommens ist nur dann gegeben, wenn die Einhaltung der vereinbarten Verpflichtungen durchgesetzt wird. Hierzu muss gewährleistet sein, dass am Ende jeder Verpflichtungsperiode die Menge der ausgestoßenen Emissionen der Vertragsparteien mit der Menge an Zertifikaten übereinstimmt. Die Zertifikatmenge setzt sich dabei aus der Anzahl anfänglich zugeteilter Emissionsrechte auf der einen Seite sowie aus der Differenz zwischen Zukäufen und Veräußerungen im Rahmen des internationalen Emissionshandels auf der anderen Seite zusammen. Für die Durchsetzung der Verpflichtungen ist es daher nicht nur entscheidend, die Menge der getätigten Emissionen zu messen, sondern auch die Handelsströme der Zertifikate zu überwachen.⁴⁰²

Die Messung der Treibhausgasemissionen sollte auf nationaler Ebene durchgeführt und in Form einer Berichterstattung international veröffentlicht werden. In Unterkapitel 4.1.3 wurde bereits darauf hingewiesen, dass es sinnvoll ist, die Berichterstattung jährlich durchzuführen, um so einen kurzfristigen Anreiz zur Emissionsreduktion zu schaffen. Um die Effektivität des Klimaschutzabkommens zu gewährleisten ist es wichtig, diese Berichte von unabhängigen Gremien überprüfen zu lassen. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls wurden hierfür sogenannte „sachkundige Überprüfungsgruppen“ berufen, die auch innerhalb eines Folgeabkommens zum

³⁹⁹ Diese Zahlen entsprechen dem Pro-Kopf-Bruttonationaleinkommen, welches durch Verwendung des kaufkraftparitätischen Wechselkurses in die künstliche Währung Internationale Dollar umgerechnet wurde, vgl. The World Bank (2010), o. S. Mit einem Internationalen Dollar kann man dabei in jedem Land denselben Warenkorb erwerben, wie in den USA mit einem US-Dollar. Vgl. zum Konzept des Bruttonationaleinkommens ausgedrückt in Kaufkraftstandards The World Bank (1999), S. 234.

⁴⁰⁰ Vgl. den Elzen et al. (2005b), S. 294 ff.

⁴⁰¹ Den Elzen et al. (2005a) berechnen zwar die aus verschiedenen Lastenteilungsschlüsseln resultierenden Vermeidungskosten. Allerdings beruhen diese Kosten auf Grundlagen, die sich von der Analyse innerhalb dieser Arbeit unterscheiden. So wird etwa der Emissionszeitraum, der für die historischen Beiträge relevant ist, auf eine andere Art bestimmt. Außerdem wird der internationale Emissionshandel als nur eingeschränkt anwendbar betrachtet.

⁴⁰² Vgl. Peterson (2003), S. 4 f.

Einsatz kommen sollten.⁴⁰³ Dies gilt ebenso für bereits eingeführte Richtlinien zur Anfertigung der nationalen Berichte.⁴⁰⁴

Auch die Erfassung von Emissionshandelsströmen ist bereits durch das Kyoto-Protokoll geregelt. So ist jede Partei, die am internationalen Handel mit Emissionsrechten teilnehmen möchte, zur Implementierung eines nationalen Registers zur Erfassung der Zertifikate verpflichtet.⁴⁰⁵ Diese Register werden auf internationaler Ebene durch das „International Transaction Log“ verbunden, das den Handel von Emissionsrechten zwischen Vertragspartnern überwacht.⁴⁰⁶ Diese etablierten computerisierten Systeme sollten auch innerhalb des Folgeabkommens die Grundlage für den Emissionshandel bilden.

Die effektive Durchsetzung der Reduktionsverpflichtungen benötigt schließlich Mechanismen zur Sanktionierung des Ausstoßes von Treibhausgasen über die Anzahl der vorhandenen Zertifikate hinaus. Ein künftiges Klimaschutzabkommen sollte einen intertemporalen Handel mit Emissionsrechten zwischen verschiedenen Verpflichtungsperioden aus Kosteneffizienzgründen ermöglichen. Daher kann eine etwaige Lücke zwischen Emissions- und Zertifikatmenge am Ende einer Verpflichtungsperiode durch das „Borrowing“ von Zertifikaten aus der Folgeperiode geschlossen werden.

Die Festlegung einer Bandbreite von Reduktionsverpflichtungen folgender Perioden ist nicht nur zur Ermöglichung einer langfristigen Planung von Investitionsprojekten wichtig, sondern bildet auch die Voraussetzung zur Funktionsweise dieses „Sanktionsmechanismus“.⁴⁰⁷ Ohne eine vorherige Vereinbarung über künftige Emissionszuteilungen könnte der Ausgleich der versäumten Emissionsreduktion durch zusätzliche Reduktionsanstrengungen in der Folgeperiode nicht gewährleistet werden.

Die Anwendung einer Handelsquote ist wie oben angesprochen notwendig, um den Umweltschäden, die sich aus der Verlagerung von Emissionsreduktionen in die Zukunft ergeben, Rechnung zu tragen. Dies führt dazu, dass in der Folgeperiode eine größere Anzahl an Zertifikaten von der ursprünglich festgelegten Zuteilungsmenge abgezogen wird, als zur Deckung der Emissionsmenge der laufenden Periode notwendig wäre.

Es wurde bereits auf den negativen Anreiz des „Borrowing“ zur Verzögerung von Emissionsreduktionen hingewiesen. Dieser sollte durch die Vorlage einer Begründung der

⁴⁰³ Vgl. UN (1998), Art. 8, S. 8.

⁴⁰⁴ Eine Auflistung der Vorgaben zur Anfertigung der Berichte findet sich in UNFCCC (2008), S. 26.

⁴⁰⁵ Vgl. ebenda, S. 60.

⁴⁰⁶ Vgl. ebenda, S. 22.

⁴⁰⁷ Vgl. Jacoby und Ellerman (2002), Fußnote 10, S. 9.

Inanspruchnahme relativiert werden. Wird „Borrowing“ zusätzlich als Sanktionsmechanismus verwendet ist es notwendig, Maßnahmen zu definieren, wie mit Vertragsparteien umgegangen werden sollte, die keinerlei Pläne für Emissionsreduktionen in Folgeperioden vorweisen können. Eine Möglichkeit besteht darin, diese Parteien so lange vom internationalen Emissionshandel auszuschließen, bis konkrete Pläne vorliegen. Werden Verpflichtungen chronisch nicht eingehalten, könnten Vertragsparteien schließlich mit dem vorübergehenden Ausschluss aus dem Abkommen sanktioniert werden. Die Strafe bestünde vor allem in einer öffentlichen Stigmatisierung. Länder, die durch das Abkommen zahlreiche und gewinnbringend zu verkaufende Zertifikate zugeteilt bekommen, würden darüber hinaus einer Einnahmequelle beraubt. Der Ausschluss von Staaten würde die ökologische Effektivität des Abkommens allerdings beschränken.

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls wird eine Nichteinhaltung der Verpflichtungen mit einer Reduktion der Zertifikatezuteilung der Folgeperiode in Höhe der 1,3-fachen Menge der Differenz zwischen Emissionsmenge und Zertifikaten am Ende des vorangehenden Verpflichtungszeitraums sanktioniert. Diese Regelung entspricht de facto einem „Borrowing“ mit einer Handelsquote von 30 %.⁴⁰⁸ Daneben ist es vorgesehen die Nichteinhaltung der Verpflichtung bekannt zu machen, um dadurch den internationalen Ruf der betreffenden Partei zu schädigen.⁴⁰⁹ Diese geltenden Regelungen sind teilweise zu modifizieren: Die Handelsquote sollte so gut wie möglich an die tatsächlich entstehenden Umweltschäden durch die Verzögerung der Emissionsreduktion angepasst werden. Außerdem sollte die Schädigung des Rufs auf diejenigen Länder beschränkt werden, bei denen „Borrowing“ tatsächlich als Sanktionsmechanismus verwendet wird. Wird die zeitliche Flexibilisierung aus Gründen der Kosteneffizienz verwendet, so ist dies erwünscht und sollte daher nicht gehandelt werden.

Wird eine „Safety Valve“ eingesetzt, so kann diese ebenfalls als Sanktion ausgestaltet werden. Vertragsparteien, deren Emissionsausstoß die Menge an Zertifikaten übersteigt, werden in diesem Fall dazu verpflichtet, Zertifikate zum geltenden „Trigger-Preis“ zu erwerben, bis ein Ausgleich der beiden Größen erreicht ist.

Die Implementierung des internationalen Emissionshandels in der vorgeschlagenen Form schreibt einigen vor allem weniger wohlhabenden Ländern eine große Menge an Zertifikaten zu. Diese könnten in die Versuchung geraten, ihre Zertifikate zu verkaufen, ohne entsprechende Emissionsreduktionen vorzunehmen. Daher ist es wichtig, auch diese

⁴⁰⁸ Vgl. Bohm (2002), S. 271.

⁴⁰⁹ Vgl. Maljean-Dubois (2010), S. 79.

Vertragsparteien, selbst wenn sie keinen konkreten Reduktionsverpflichtungen unterliegen, regelmäßig zu kontrollieren.

4.3 Umsetzungsprobleme und Lösungsansätze

Die Teilnahme an einem internationalen Abkommen sowie die Einhaltung übernommener Verpflichtungen können stets nur auf freiwilliger Basis geschehen. Durchsetzungsmechanismen sind wirkungslos, falls ihre Anwendung im Fall einer Vertragsverletzung dazu führt, dass die betroffenen Parteien ihre Mitgliedschaft beenden. Daher ist es wichtig das Abkommen so zu gestalten, dass Staaten ein Eigeninteresse an einer langfristigen Teilnahme entwickeln.

Spieltheoretische Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass die Erstellung eines Kollektivguts einfacher zu bewerkstelligen ist, wenn die Anzahl der „Spieler“ klein ist.⁴¹⁰ Einigungen im Rahmen globaler Verhandlungen sind hingegen nur schwer zu erreichen. Aufgrund dieser Problematik sprechen sich einige Autoren, darunter etwa David G. Victor, für die Verfolgung von „Bottom-Up“-Ansätzen nach dem Vorbild der Welthandelsorganisation (WTO) oder der Europäischen Union aus.⁴¹¹ Verhandlungen über ein künftiges Klimaschutzabkommen sollten sich demnach zunächst auf die wichtigsten Emittenten konzentrieren und erst allmählich die übrigen Länder einbeziehen. Durch eine Verringerung der Anzahl verhandelnder Staaten könnten zwar Transaktionskosten gesenkt und eine Einigung erleichtert werden,⁴¹² der Ausschluss von Staaten im Rahmen der UNFCCC, die jedem Land eine Stimme gewährt,⁴¹³ ist allerdings nicht möglich. Entsprechend müsste ein „diskriminierendes“ Abkommen in einem anderen Zusammenhang ausgehandelt werden. Zudem ergab die Analyse der Auswirkungen subglobaler Vereinbarungen im Rahmen des Unterkapitels 3.1, dass diese aufgrund des Leakage-Effektes nicht empfehlenswert sind.

Andere Autoren befürworten aufgrund der Ankündigungen einiger Staaten, sich grundsätzlich keinen internationalen Verpflichtungen unterwerfen zu wollen und der damit einhergehenden Ineffektivität bisheriger Anstrengungen, neue Formen des globalen Klimaschutzes. So schlägt Scott Barrett einen Ansatz zur gemeinschaftlichen Erforschung und Entwicklung neuer, klimafreundlicher Technologien vor.⁴¹⁴ Ein solches Abkommen gewährleistet jedoch keinerlei

⁴¹⁰ Vgl. Barrett (1999a).

⁴¹¹ Vgl. Victor (2007).

⁴¹² Vgl. Bodansky (2009), S. 9.

⁴¹³ Vgl. UN (1992), Art. 18, S. 19.

⁴¹⁴ Vgl. Barrett (2005), S. 393 ff.

Kontrolle über die weltweiten Treibhausgasemissionen und ist daher ebenfalls nicht zur Beschränkung des Klimawandels und seiner Folgen geeignet.

Unter der Abwägung sämtlicher Vor- und Nachteile verschiedener Instrumente scheint der internationale Emissionshandel am besten zum globalen Klimaschutz geeignet zu sein. Um die Verhandlungen der Staaten über dessen Ausgestaltung zu vereinfachen und die Menge der Trittbrettfahrer zu beschränken, können verschiedene Strategien eingesetzt werden. Es wurde bereits erwähnt, dass das Interesse am Beitritt zu einem Klimaschutzabkommen entscheidend von den resultierenden Kosten und Nutzen abhängt. Daher besteht ein Ansatzpunkt darin, den Nettonutzen der Länder aus der Teilnahme zu erhöhen. Die Wahl eines möglichst flexiblen marktbasierten Instruments zur Reduktion von Treibhausgasemissionen kann die Gesamtkosten des Abkommens minimieren. Für die relativen individuellen Kosten ist hingegen vor allem die Ausgestaltung des Lastenteilungsschlüssels entscheidend. Wird die Aufteilung der Kosten auf Grundlage des erweiterten „Brazilian Proposals“ gestaltet, führt dies im Allgemeinen zu einer hohen Belastung von Industriestaaten, während Länder mit geringem Einkommen zunächst gänzlich von Reduktionsverpflichtungen befreit werden.

Bei den Entwicklungsländern könnte ein entsprechender Vorschlag Zustimmung finden, zumal durch den internationalen Emissionshandel zusätzlich mit Gewinnen aus den Verkäufen überflüssiger Zertifikate gerechnet werden kann. In Bezug auf die Schwellenländer wird es von entscheidender Bedeutung sein, wie hoch die Einkommensschwelle angesetzt wird. Es ist daher damit zu rechnen, dass die betroffenen Länder versuchen werden, die Schwelle nach oben zu korrigieren. Unter den Industriestaaten wird es vor allem schwierig sein, die Zustimmung der USA zu gewinnen, die momentan international verbindliche Reduktionsverpflichtungen ablehnen. Allerdings erhöht die Ausweitung der Verpflichtungen auf diverse Schwellenländer den Nutzen, den Industrieländer durch die Implementierung des Klimaschutzabkommens erwarten können im Vergleich zum Kyoto-Protokoll.

Verhandlungen über die Ausgestaltung eines Lastenteilungsschlüssels gleichen generell einem Nullsummenspiel: Zugeständnisse für einzelne Länder geschehen immer auf Kosten anderer Vertragsparteien, da lediglich die Gesamtkosten umverteilt werden.⁴¹⁵ Aus diesem Grund sind zusätzliche Maßnahmen zur Förderung einer umfassenden Teilnahme zu ergreifen. Eine Möglichkeit besteht etwa darin, gegen Länder, die den Beitritt zum Abkommen verweigern, Sanktionen auszusprechen. So schlägt zum Beispiel Joseph E. Stiglitz die Verhängung von Importzöllen auf energieintensive Produkte nichtteilnehmender

⁴¹⁵ Vgl. Stavins und Barrett (2002), S. 17.

Staaten vor.⁴¹⁶ Auch innerhalb der Europäischen Union wird diese Strategie als eine Möglichkeit zur Überwindung des Leakage-Effekts diskutiert.⁴¹⁷ In der Literatur finden sich jedoch zahlreiche Äußerungen gegen die Anwendung von Sanktionen zur Förderung internationaler Kooperation.⁴¹⁸ Handelssanktionen zur Durchsetzung von Umweltstandards sind im Speziellen problematisch, da sie für protektionistische Zwecke missbraucht werden könnten. Zudem fallen solche Maßnahmen unter das Regelwerk der WTO und sind nur schwer mit deren geltenden Regeln in Einklang zu bringen.⁴¹⁹ Außerdem wirkt sich eine Beschränkung der Exportmöglichkeiten von ärmeren Ländern negativ auf deren ökonomische Entwicklung aus. Diese ist aber eine Voraussetzung für die Fähigkeit, in klimafreundliche Technologien zu investieren.⁴²⁰

Eine alternative Strategie besteht darin, die Verhandlungen über den Klimaschutz mit anderen internationalen Themen zu verknüpfen.⁴²¹ Dieses als „Issue Linkage“ bezeichnete Vorgehen kann einerseits dazu dienen, Verhandlungsschwierigkeiten, die sich aus der Heterogenität der Länder ergeben, zu überwinden, andererseits kann durch ihren Einsatz die Stabilität des Abkommens erhöht werden.⁴²² Ein Beispiel stellt die Verbindung des internationalen Klimaschutzes mit einer Zusammenarbeit im Bereich der Forschung und Entwicklung (F&E) neuer Technologien dar:⁴²³ Zusatzgewinne aus der F&E-Zusammenarbeit entsprechen einem Klubgut, das nur Staaten zugutekommt, die dem verknüpften Abkommen beigetreten sind.⁴²⁴ Der Anreiz des Trittbrettfahrens im Bereich des Klimaschutzes, der einem öffentlichen Gut entspricht, kann so durch den Wunsch nach Erzielung des Klubgutes relativiert werden.⁴²⁵ In diesem Fall werden auch Anreize zum Austritt aus dem Abkommen abgeschwächt, was sich positiv auf die Stabilität der Vereinbarungen auswirkt.⁴²⁶ Die vereinbarten nationalen Ausgaben für F&E können zudem derart gestaltet werden, dass Asymmetrien zwischen den Vertragsparteien bezüglich der Kosten und Nutzen des verknüpften Abkommens weiter abgebaut werden. Ein Defizit solcher „Issue Linkages“ besteht darin, dass Verhandlungen

⁴¹⁶ Vgl. Stiglitz (2006).

⁴¹⁷ Vgl. Europäische Kommission (2010a), S. 12 f.

⁴¹⁸ Vgl. Blackhurst und Subramanian (1992), S. 261 f.

⁴¹⁹ Vgl. Perez (2005), S. 737 f.

⁴²⁰ Vgl. zu den Problemen im Zusammenhang mit Handelssanktionen ausführlich Griswold (2001).

⁴²¹ Vgl. Botteon und Carraro (1998), S. 182.

⁴²² Vgl. ebenda, S. 183.

⁴²³ Vgl. zum „Issue Linkage“ von Klimaschutz und F&E etwa Botteon und Carraro (1998) oder Buchner et al. (2002).

⁴²⁴ Vgl. Botteon und Carraro (1998), S. 184.

⁴²⁵ Vgl. ebenda, S. 183 f.

⁴²⁶ Vgl. ebenda, S. 184.

über mehrere Themen die Komplexität des Abkommens und damit auch die Verhandlungs- und Informationskosten erhöhen.⁴²⁷

Da ein künftiges Klimaschutzabkommen unter möglichst vielen Staaten vereinbart werden sollte, Verhandlungen unter zahlreichen „Spielern“ jedoch die individuelle Bereitschaft zur Übernahme von Verpflichtungen senken, ist es zunächst einmal durchaus denkbar, die globale Zielvorgabe für Emissionsreduktionen herabzusetzen. Die Gewinnung zusätzlicher Vertragsparteien auf Kosten der Abschwächung des Reduktionsziels hat den Vorteil, dass der Emissionshandel in einer Vielzahl von Ländern ohne zu hohe und damit abschreckende Kosten etabliert werden kann. Dies ermöglicht dann eine kosteneffektive Durchführung intensiverer Reduktionsbemühungen in Folgeperioden. Zusätzlich wird es möglich, Erfahrungen über die Vermeidungskosten der Länder sowie über die Funktionsweise der Institutionen und Mechanismen zur Durchsetzung des Abkommens zu sammeln.

Schließlich kann ein internationales Abkommen kaum beschlossen werden, wenn die Bürger innerhalb der verhandelnden Staaten nicht hinter den Zielen der Vereinbarung stehen. Eine weitere Strategie, die Staaten zur Teilnahme zu bewegen, besteht daher in der Aufklärung der Bevölkerung über die Funktionsweise und Folgen des Klimawandels. Vor allem in demokratisch organisierten Staaten ist die Einbeziehung der Wähler wichtig, da sie Druck auf ihre Regierungen ausüben, gleichzeitig aber auch Kooperationen im Klimaschutz behindern können.

5. Zusammenfassung

Die ökonomische Analyse des globalen Klimaschutzes kann wichtige Beiträge leisten, wenn es um die Festlegung von Gestaltungskriterien für ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll geht. Die drei elementaren Fragestellungen, die sich bei der Ausgestaltung eines Klimaschutzabkommens ergeben, sind diejenigen nach dem Ziel des Abkommens, d. h. nach der Festlegung des Emissionsreduktionspfades, nach der Bestimmung der Vertragsparteien, die innerhalb des Abkommens Verpflichtungen übernehmen, und nach dem Instrumentarium, das zur Zielerreichung eingesetzt werden soll. Die vorliegende Arbeit versucht einen möglichst umfassenden Überblick über Ausgestaltung und potenzielle Problematiken dieser drei Aspekte zu liefern.

Folgende Hauptergebnisse lassen sich zusammenfassen: Die Zielvorgaben eines künftigen Abkommens sollten auf Grundlage der Berechnungen von IAMs festgelegt werden. Die mit

⁴²⁷ Vgl. Perez (2005), S. 753.

der Zeit immer strikter werdenden Reduktionsvorgaben sollten dabei anpassungsfähig sein, um neue Forschungserkenntnisse einbeziehen zu können. Für die Wirkungsweise eines Klimaschutzabkommens ist es von entscheidender Bedeutung, dass möglichst viele Staaten daran teilnehmen, vor allem aber diejenigen, die wesentlich zu den weltweiten Emissionen beitragen. Die Analyse des Leakage-Effekts hat gezeigt, dass ohne diese Voraussetzung wahrscheinlich die Anstrengungen derjenigen Länder, die sich am Klimaschutz beteiligen, zum Teil durch einen Anstieg der Emissionen in nicht teilnehmenden Ländern vereitelt werden. Zudem besteht die Gefahr des grünen Paradoxons, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die weltweiten Emissionen durch die subglobale Klimapolitik stärker ansteigen als ohne Klimaschutzmaßnahmen.

Bezüglich des einzusetzenden Instruments zur Treibhausgasreduktion ist festzuhalten, dass ein internationaler Emissionshandel besser für den globalen Klimaschutz geeignet ist, als eine Steuerlösung. Dies liegt zum einen an der ökologischen Treffsicherheit des Emissionshandels und der damit einhergehenden Fähigkeit zur Umgehung des grünen Paradoxons bei einer globalen Anwendung. Zum anderen sprechen die Umsetzungsschwierigkeiten einer weltweiten Steuer gegen ihren Einsatz. Die Hauptproblematik des Emissionshandels besteht in der Unsicherheit über sich ergebende Zertifikatepreise. Diese kann durch die Anpassung der Verpflichtungsperiode, die Zulassung von „Banking“ und „Borrowing“ zwischen den Perioden sowie durch den zeitlich begrenzten Einsatz einer „Safety Valve“ überwunden werden.

Der Einsatz eines marktbasierten Instruments reduziert die Gesamtkosten des Abkommens, was die Bereitwilligkeit des Beitritts von Staaten mit hohen anteiligen Kosten erhöhen kann. Die relativen Kosten des Abkommens werden vor allem durch den Lastenteilungsschlüssel bestimmt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde vorgeschlagen, die Reduktionsverpflichtungen nach einem „polluter pays“- sowie einem Leistungsfähigkeitsprinzip festzulegen. Wie realistisch die Umsetzung eines entsprechenden Lastenteilungsschlüssels ist, wird vor allem von einer Prognose der resultierenden nationalen Vermeidungskosten abhängen. Die Durchsetzungsmechanismen, die im Rahmen des geltenden Kyoto-Protokolls festgelegt wurden, sind im Großen und Ganzen auch für die Anwendung innerhalb eines Folgeabkommens geeignet.

Ausgeblendet wurde im Zuge dieser Arbeit zum einen die Ausgestaltung des Klimaschutzes auf nationaler Ebene. Durch den Emissionshandel bleibt es den Staaten selbst überlassen, welche Instrumente sie zur Erfüllung ihrer Zielvorgaben einsetzen. Diese können

dementsprechend den vorherrschenden Gegebenheiten angepasst werden. Durch eine nationale Implementierung des Zertifikatehandels würden die Kostensenkungspotenziale des Instruments aller Voraussicht nach am besten ausgeschöpft. Dies ist jedoch aufgrund mangelnder Infrastrukturen noch nicht in sämtlichen Ländern realisierbar.

Zum anderen wurde die Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen nicht betrachtet. Entwicklungsländer, die stark vom Klimawandel betroffen sind, aber keine (finanziellen) Möglichkeiten besitzen mit den Folgen umzugehen, sollten Unterstützungen von wohlhabenderen Ländern erhalten. Das Ausmaß dieser Hilfen sollte allerdings auf Grundlage von Bedürftigkeit und Leistungsfähigkeit festgelegt und nicht vorrangig im Rahmen eines künftigen Klimaschutzabkommens geregelt werden, dessen Verwirklichung momentan ungewiss ist.

Da kein Land zum Beitritt gezwungen werden kann, ist es für die Realisierung eines Folgeabkommens zum Kyoto-Protokoll entscheidend, dass die Staaten aus eigenem Antrieb beitreten. Anreize hierzu können durch eine Reduktion der Gesamtkosten sowie der relativen Kostenbelastung geschaffen werden. Zusätzlich ist es denkbar, die Staaten durch „Issue Linkage“ zur Teilnahme zu bewegen oder die angestrebten Gesamtreduktionen und damit auch die Gesamtkosten vorerst zu schmälern.

Die unterschiedlichen Interessen der verschiedenen Staaten am Klimaschutz erschweren die Verhandlungen über ein künftiges Abkommen. Für viele Entwicklungs- und Schwellenländer hat das ökonomische Wachstum Vorrang vor langfristigen Klimaschutzinvestitionen. Ihre Teilnahme könnte dadurch erreicht werden, dass Kosten nur in dem Umfang getragen werden müssen, der eine Weiterentwicklung nicht behindert. Hierdurch erhöhen sich aber die Kosten der übrigen Länder, was deren Beitrittswahrscheinlichkeit senkt. Die Tatsache, dass bisher keine Einigung unter den Hauptemittenten erzielt werden konnte, ist bezeichnend für die Problematik. Vielleicht müssen erst die Folgen des Klimawandels deutlicher sichtbar werden, bis genügend Staaten den Ernst der Lage erkennen und bereit sind, Maßnahmen zu ergreifen. Die Alternative besteht in einer Aufklärung über die Konsequenzen des ungebremsten Ausstoßes von Treibhausgasen, so dass Schritte unternommen werden, bevor unser Klimasystem irreversibel beschädigt ist.

Literaturverzeichnis

- Allison, I., N. L. Bindoff, R. A. Bindshadler, P. M. Cox, N. de Noblet, M. H. England, J. E. Francis, N. Gruber, A. M. Haywood, D. J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T. M. Lenton, M. E. Mann, B. I. McNeil, A. J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H. J. Schellnhuber, S. H. Schneider, S. C. Sherwood, R. C. J. Somerville, K. Steffen, E. J. Steig, M. Visbeck und A. J. Weaver** (2009): *The Copenhagen Diagnosis 2009: Updating the World on the Latest Climate Science*, The University of New South Wales Climate Change Research Centre, Sydney, Download unter: <http://www.copenhagendiagnosis.org/> (aufgerufen am 06. November 2010).
- Aldy, J. E., J. Ashton, R. Baron, D. Bodansky, S. Charnovitz, E. Diringer, T. C. Heller, J. Pershing, P. R. Shukla, L. Tubiana, F. Tudela, X. Wang** (2003): *Beyond Kyoto. Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia.
- Anderson, S. und R. Newell** (2004): *Prospects for Carbon Capture and Storage Technologies*, Annual Review of Environment and Resources 29, 109-142.
- Armington, P. S.** (1969): *A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production*, IMF Staff Paper No. 16, 159-176.
- Arrow, K. J., W. R. Cline, K.-G. Mäler, M. Munasinghe, R. Squitieri und J. E. Stiglitz** (1996): *Intertemporal Equity, Discounting and Economic Efficiency*, in Bruce, J. P., H. Lee and E. F. Haites (Hrsg.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 125-144.
- Austin, D.** (1999): *Economic Instruments for Pollution Control and Prevention – A Brief Overview*, World Resources Institute, Washington DC.
- Baede, A.** (Hrsg.) (2007): *Annex II. Glossary*, in Core Writing Team, Pachauri, R. K. und A. Reisinger (Hrsg.): *Climate Change 2007: Synthesis Report – An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, IPCC, Genf, 76-89.

- Barker, A.** (2007): *The Stern Review and Other Economic Analyses of Climate Change – A Sensitivity Analysis*, Paper Presented at the Australian Conference of Economists, 25. September, Hobart.
- Barrett, S.** (2005): *Environment and Statecraft. The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press, Oxford.
- Barrett, S.** (1999a): *A Theory of Full International Cooperation*, Journal of Theoretical Politics 11(4), 519-541.
- Barrett, S.** (1999b): *International Cooperation and the International Commons*, Duke Environmental Law & Policy Forum 10(1), 131-145.
- Barrett, S.** (1994): *Climate Change Policy and International Trade*, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment Working Paper No. GEC 94-12, Norwich.
- Barrett, S.** (1990): *The Problem of Global Environmental Protection*, Oxford Review of Economic Policy 6(1), 68-79.
- Beck, T., L. Jolly and T. Loncar** (1991): *Supply Response in the Australian Black Coal Industry*, Australian Bureau of Agricultural and Resources Economics, Technical Paper No. 91.1, Canberra.
- Bindoff, N. L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley und A. Unnikrishnan** (2007): *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*, in Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 385-432.
- Blackhurst, R. und A. Subramanian** (1992): *Promoting Multilateral Cooperation on the Environment*, in Anderson, K. und R. Blackhurst (Hrsg.): *The Greening of World Trade Issues*, Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire, 247-268.

- BMU (2011):** *Internationale Klimapolitik. Glossar,* URL: http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/glossar/doc/2902.php#anne_x (aufgerufen am 7. April 2011).
- Bodansky, D. (2009):** *Climate Change: Top 10 Precepts for U. S. Foreign Policy. U. S. Global Leadership: An Initiative of the Climate Policy Program at RFF,* Resources for the Future, Issue Brief 09-01, Washington DC.
- Bodansky, D. (2004):** *International Climate Efforts Beyond 2012: A Survey of Approaches,* Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia.
- Böhringer, C., A. Löschel und T. F. Rutherford (2004):** *Efficiency Gains from "What"-Flexibility in Climate Policy: An Integrated CGE Assessment,* Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Discussion Paper No. 04-48, Mannheim.
- Bohm, P. (2002):** *Improving Cost-Effectiveness and Facilitating Participation of Developing Countries in International Emissions Trading,* International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics 2(3), 261–275.
- Bollen, J., T. Manders und H. Timmer (2000):** *Decomposing Carbon Leakage – An Analysis of the Kyoto Protocol,* Paper Presented at the Third Annual Conference on Global Economic Analysis, 27.-30. Juni, Melbourne.
- Bony, S., R. Colman, V. M. Kattsov, R. P. Allan, C. S. Bretherton, J.-L. Dufresne, A. Hall, S. Hallegatte, M. M. Holland, W. Ingram, D. A. Randall, B. J. Soden, G. Tselioudis und M. J. Webb (2006):** *How Well Do We Understand and Evaluate Climate Change Feedback Processes?,* Review Article, Journal of Climate 19(15), 3445-3482.
- Botteon, M. und C. Carraro (1998):** *Strategies for Environmental Negotiations: Issue Linkage with Heterogeneous Countries,* in Hanley, N. und H. Folmer (Hrsg.): *Game Theory and the Environment,* Edward Elgar, Cheltenham, 181-203.
- Brennan, G. (2009):** *Climate Change: A Rational Choice Politics View,* The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 53(3), 309-326.
- Buchner, B. (2007):** *Policy Uncertainty, Investment and Commitment Periods,* OECD/IEA, Information Paper No. COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2007)8, Paris.

- Buchner, B., C. Carraro, I. Cersosimo und C. Marchiori** (2002): *Back to Kyoto? US Participation and the Linkage Between R&D and Climate Cooperation*, Center for Economic Policy Research, Discussion Paper No. 3299, London.
- Bundesamt für Umwelt der Schweiz** (2010): *Emissionshandel in der Schweiz*, URL: <http://www.bafu.admin.ch/emissionshandel/05538/05540/index.html?lang=de> (aufgerufen am 07. Dezember 2010).
- Burniaux, J.-M., J. P. Martin, G. Nicoletti und J. Oliveira Martins** (1991): *GREEN – A Multi-Region Dynamic General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO2 Emissions: A Technical Manual*, OECD Economics Department Working Papers, Working Paper No. 104, Paris.
- Burniaux, J.-M. und J. Oliveira Martins** (2011): *Carbon Leakages: A General Equilibrium View*, Economic Theory, Download unter: <http://www.springerlink.com/content/r593334718436396/> (aufgerufen am 16. Mai 2011).
- Burniaux, J.-M. und J. Oliveira Martins** (2000): *Carbon Emission Leakages: A General Equilibrium View*, OECD Economics Department Working Papers, Working Paper No. 242, Paris.
- CAIT** (2010): *Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 7.0*, WRI, Washington DC.
- Carlén, B.** (2003): *Market Power in International Carbon Emissions Trading: A Laboratory Test*, Massachusetts Institute of Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 96, Cambridge, Massachusetts.
- Carlowicz, M.** (2009): *Arctic Sea Ice Extent is Third Lowest on Record*, NASA Earth Features, URL: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/seaicemin09.html> (aufgerufen am 17. November 2009).
- Carraro, C.** (2002): *Climate Change Policy: Models, Controversies and Strategies*, in Tietenberg T. und H. Folmer (Hrsg.): *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002/2003. A Survey of Current Issues*, Edward Elgar, Cheltenham, 1-65.

- Cazenave, A., D. P. Chambers, P. Cipollini, L. L. Fu, J. W. Hurrell, M. Merrifield, S. Nerem, H. P. Plag, C. K. Shum und J. Willis** (2009): *The Challenge for Measuring Sea Level Rise and Regional and Global Trends*, OCEANOBS 2009 - Plenary Paper, 21.-25. September, Venedig, Download unter: http://www.oceanobs09.net/blog/?page_id=622 (aufgerufen am 14. November 2010).
- Cazorla, M. und M. Toman** (2000): *International Equity and Climate Change Policy*, Resources for the Future, Climate Issue Brief 27, Washington DC.
- Chicago Climate Exchange** (2010): *Chicago Climate Exchange*, URL: <http://www.chicagoclimatex.com/> (aufgerufen am 07. Oktober 2010).
- China-Embassy.org** (2010): *Ambassador Yu Qingtai, Special Representative for Climate Change Negotiations of the Ministry of Foreign Affairs Holds a Briefing for Chinese and Foreign Media*, Embassy of the People's Republic of China in the United States of America, URL: <http://www.china-embassy.org/eng/zt/t630252.htm> (aufgerufen am 07. Juni 2010).
- Dahl, C. und T. E. Duggan** (1996): *U.S. Energy Product Supply Elasticities: A Survey and Application to the U.S. Oil Market*, Resource and Energy Economics 18(3), 243-263.
- Dasgupta, P. S.** (2008): *Discounting Climate Change*, Journal of Risk and Uncertainty 37(2-3), 141-169.
- DEHSt im Umweltbundesamt** (2005): *Klimaschutz: Joint Implementation und Clean Development Mechanism. Die projektbasierten Mechanismen des Kyoto-Protokolls*, Umweltbundesamt, DEHSt-Informationsbroschüre, Berlin.
- den Elzen, M. G. J., P. L. Lucas und D. van Vuuren** (2005a): *Abatement Costs of Post-Kyoto Climate Regimes*, Energy Policy 33(16), 2138-2151.
- den Elzen, M. G. J., M. Schaeffer und P. L. Lucas** (2005b): *Differentiating Future Commitments on the Basis of Countries' Relative Historical Responsibility for Climate Change: Uncertainties in the „Brazilian Proposal“ in the Context of a Policy Implementation*, Climatic Change 71(3), 277-301.
- den Elzen, M. G. J., M. Schaeffer und B. Eickhout** (2002): *Responsibility for Past and Future Global Warming: Time Horizon and Non-Linearities in the Climate System*, The

National Institute for Public Health and the Environment, Report No. 728001022, Bilthoven.

den Elzen, M. G. J., M. Berk, M. Schaeffer, J. Olivier, C. Hendriks und B. Metz (1999): *The Brazilian Proposal and Other Options for International Burden Sharing: An Evaluation of Methodological and Policy Aspects Using the FAIR Model*, The National Institute for Public Health and the Environment, Report No. 728001011, Bilthoven.

Denman, K. L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P. M. Cox, R. E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P. L. da Silva Dias, S. C. Wofsy und X. Zhang (2007): *Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 499-587.

Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2009): *Über das IPCC*, URL: <http://www.de-ipcc.de/de/119.php> (aufgerufen am 9. November 2009).

Earth Trends (2006): *October 2006 Monthly Update: Fossil Fuel Consumption and its Implications*, URL: <http://earthtrends.wri.org/updates/node/100> (aufgerufen am 04. Mai 2010).

EDGAR (2010): *Emission Database for Global Atmospheric Research*, Overview, URL: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php> (aufgerufen am 12. November 2010).

EEA (2009): *CSI 013 – Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations – Assessment Published Mar 2009*, URL: http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131717/IAssessment1234255180259/view_content (aufgerufen am 20. Dezember 2009).

EIA (2010): *Energy and the Environment Explained – Greenhouse Gases' Effect on the Climate*, URL: http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=environment_how_ghg_affect_climate (aufgerufen am 06. Mai 2010).

EIA (2007): *International Energy Outlook 2007*, EIA, Washington DC.

- Eichner, T. und R. Pethig** (2009): *Carbon Leakage, the Green Paradox and Perfect Future Markets*, CESifo, Working Paper No. 2542, München.
- Ellerman, A. D. und P. L. Joskow** (2008): *The European Union's Emissions Trading System in Perspective*, Pew Center on Global Climate Change, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Ellis, J.** (2010): *The Effects of Fossil-Fuel Subsidy Reform: A review of Modelling and Empirical Studies*, International Institute for Sustainable Development, The Global Subsidies Initiative, Untold Billions: Fossil-Fuel Subsidies, Their Impact and Path to Reform, Genf.
- Endres, A.** (2007): *Umweltökonomie*, 3. vollständig überarbeitete und wesentlich erweiterte Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- Environment Canada** (2010): *Backgrounder, Domestic Emissions Trading for Greenhouse Gases*, URL: <http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&n=714D9AAE-1&news=00A362E1-A98E-4D5C-9997-8FB7AF9ECF2C> (aufgerufen am 07. Oktober 2010).
- ESA** (2007): *Satellites Witness Lowest Arctic Ice Coverage in History*, ESA News, URL: http://www.esa.int/esaEO/SEMYTC13J6F_index_0.html (aufgerufen am 18. Dezember 2009).
- Europäische Kommission** (2010a): *Mitteilung der Kommission, KOM (2010) 265. Analyse der Optionen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen um mehr als 20 % und Bewertung des Risikos der Verlagerung von CO₂-Emissionen*, Brüssel.
- Europäische Kommission** (2010b): *Mitteilung der Kommission, KOM (2010) 86. Die internationale Klimapolitik nach Kopenhagen: Jetzt handeln, um dem globalen Klimaschutz neue Impulse zu geben*, Brüssel.
- Europäische Kommission** (2009): *EU-Maßnahmen gegen den Klimawandel. Das Emissionshandelssystem der EU*, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.

Europäische Kommission und Europäisches Parlament (2008): *Einstellungen der europäischen Bürger zum Klimawandel*, Spezial Eurobarometer Nr. 300, Welle 69.2, TNS Opinion & Social, Brüssel.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2009): *Entscheidung Nr. 406/2009/EG vom 23. April 2009 über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020*, Amtsblatt der Europäischen Union vom 05.06.2009, Brüssel, L 140/136-148.

Fankhauser, S. und C. Hepburn (2009): *Carbon Markets in Space and Time*, Centre for Climate Change Economics and Policy, Working Paper No. 4, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper No. 3, London.

FAZ.Net (2009): *Nach Eklat zum Abschluss des Klimagipfels. Plenum nimmt Vereinbarung „zur Kenntnis“*, URL: <http://www.faz.net/s/RubC5406E1142284FB6BB79CE581A20766E/Doc~ED52C5F1BA4D7438881E7C2555EAE5A53~ATpl~Ecommon~Scontent.html> (aufgerufen am 07. Juni 2010).

Fisher B. S., S. Barrett, P. Bohm, M. Kuroda, J. K. E. Mubazi, A. Shah und R. N. Stavins (1995): *An Economic Assessment of Policy Instruments for Combatting Climate Change*, in Bruce, J. P., H. Lee and E. F. Haites (Hrsg.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 397-439.

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D. W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D. C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz und R. Van Dorland (2007): *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, in Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 129-234.

Gerlagh, R. und O. Kuik (2007): *Carbon Leakage with International Technology Spillovers*, Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Paper No. 33, Mailand.

- Gosseries, A.** (2004): *Historical Emissions and Free-Riding*, *Ethical Perspectives* 11(1), 36-60.
- Graichen, V., K. Schumacher, F. C. Matthes, L. Mohr, V. Duscha, J. Schleich, J. Diekmann** (2008): *Impacts of the EU Emissions Trading Scheme on the industrial competitiveness in Germany*, *Climate Change* Nr. 10/2008, Umweltbundesamt, Berlin.
- Griswold, D.** (2001): *Trade, Labor, and the Environment: How Blue and Green Sanctions Threaten Higher Standards*, *CATO Trade Policy Analysis* 1, Washington DC.
- Grubb, M., C. Vrolijk und D. Brack** (1999): *The Kyoto Protocol. A Guide and Assessment*, The Royal Institute of International Affairs, London.
- Grubb, M., J. Sebenius, A. Magalhaes und S. Subak** (1992): *Sharing the Burden*, in Minzter, I. M. (Hrsg.): *Confronting Climate Change: Risks, Implications and Responses*, Stockholm Environment Institute, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 305-322.
- Haensgen, T.** (2002): *Das Kyoto Protokoll: Eine ökonomische Analyse unter besonderer Berücksichtigung der flexiblen Mechanismen*, Bamberg Economic Research Group, Working Paper Series on Government and Growth, Working Paper No. 40, Bamberg.
- Harrison, D., Jr.** (2002): *Tradable Permits for Air Quality and Climate Change*, in Tietenberg T. und H. Folmer (Hrsg.): *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002/2003. A Survey of Current Issues*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, 311-372.
- Hartwick J. M. und N. D. Olewiler** (1998): *The Economics of Natural Resource Use*, 2. Auflage, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N. P. Gillett, Y. Luo, J. A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J. E. Penner and P. A. Stott** (2007): *Understanding and Attributing Climate Change*, in Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 663-745.

- Hepburn, C.** (2006): *Regulation by Prices, Quantities or Both: A Review of Instrument Choice*, Oxford Review of Economic Policy 22(2), 226-247.
- Höhne, N., J. Harnisch, D. Phylipsen, K. Blok und C. Galleguillos** (2002): *Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving Newly Industrialized Economies and Developing Countries*, For the German Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), ECOFYS, FKZ 201 41 255, Köln.
- Hourcade, J. C., R. Richels und J. Robinson** (1996): *Estimating the Costs of Mitigating Greenhouse Gases*, in Bruce, J. P., H. Lee and E. F. Haites (Hrsg.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 263-296.
- IEA** (2010): *Coal Information 2010*, OECD/IEA, Paris.
- IEA** (2009a): *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, OECD/IEA, Paris.
- IEA** (2009b): *World Energy Outlook*, OECD/IEA, Paris.
- Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales** (2010): *Greenhouse Gas Reduction Scheme*, URL: <http://greenhousegas.nsw.gov.au/> (aufgerufen am 07. Oktober 2010).
- IPCC** (2007a): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, Pachauri, R. K und Reisinger, A. (Hrsg.), IPCC, Genf.
- IPCC** (2007b): *Summary for Policymakers*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1-18.
- Isaksen, I. S. A., V. Ramaswamy, H. Rodhe und T. M. L. Wigley** (1992): *Radiative Forcing of Climate*, in Houghton, J. T., B. A. Callander und S. K. Varney (Hrsg.): *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, S. 49-67.

Jacoby, H. D. und A. D. Ellerman (2002): *The Safety Valve and Climate Policy*, Massachusetts Institute of Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 83, Cambridge, Massachusetts.

Jaffe A. B., R. G. Newell und R. N. Stavins (2002): *Environmental Policy and Technological Change*, *Environmental & Resource Economics* 22(1-2), Special Issue: The Practice of Environmental and Resource Economics, 41-69.

Kelly, D. L. und C. D. Kolstad (1999): *Integrated Assessment Models for Climate Change Control*, in Folmer H. und T. Tietenberg (Hrsg.): *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1999/2000: A Survey of Current Issues*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, 171-197.

Kiehl, J. T. und K. E. Trenberth (1997): *Earth's Annual Global Mean Energy Budget*, *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(2), 197-208.

Kinne, S. und J. Quaas (2007): *Einfluss der Luftverschmutzung auf den Klimawandel – Neue Erkenntnisse aus Satellitendaten und Klimamodellen. Tätigkeitsbericht 2007*, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.

Kossoy, A. und P. Ambrosi (2010): *State and Trends of the Carbon Market 2010*, Carbon Finance at The World Bank, Washington DC.

Kubsch, S. (2009): *EU ETS und der Lieberman-Warner Climate Security Act. Effizienzunterschiede und Linkage-Möglichkeiten*, Deutsche Bank Research, Working Paper Series, Research Notes No. 33, Frankfurt am Main.

Lee, H., J. Oliveira Martins und D. van der Mensbrugge (1994): *The OECD GREEN Model: An Updated Overview*, OECD Development Centre Working Paper No. 97, Paris.

Lemke, P., J. Ren, R. B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R. H. Thomas and T. Zhang (2007) *Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical*

Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 337-383.

Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf und H. J. Schellnhuber (2008): *Tipping Elements in the Earth's Climate System*, Proceedings of the National Academy of Sciences 105(6), 1786-1793.

Maljean-Dubois, S. (2010): *An Outlook for the Non-Compliance Mechanism of the Kyoto Protocol on Climate Change*, Amsterdam Law Forum 2(2), 77-80.

Mastrandrea, M. D. (2009): *Calculating the Benefits of Climate Policy: Examining the Assumptions of Integrated Assessment Models*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia.

McKinsey (2009): *Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*, McKinsey & Company, London, Download unter: <https://solutions.mckinsey.com/ClimateDesk/default.aspx> (aufgerufen am 11. Juni 2011).

Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver and Z.-C. Zhao (2007): *Global Climate Projections*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 747-845.

Meinshausen, M., N. Meinshausen, W. Hare, S. C. B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D. J. Frame und M. R. Allen (2009): *Greenhouse-Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2°C*, Letters to Nature, Nature 458(7242), 1158-1162.

Met Office (2009): *"Noughties" Confirmed as the Warmest Decade on Record*, Met Office News Archive, URL: <http://www.metoffice.gov.uk/corporate/pressoffice/2009/pr20091208b.html> (aufgerufen am 18. Oktober 2009).

- Michaelowa A. und M. Stronzik** (2002): *Transaction Costs of the Kyoto Mechanisms*, Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv, Discussion Paper No. 175, Hamburg.
- Ministry for the Environment New Zealand** (2010): *The New Zealand Emissions Trading Scheme*, Climate Change Information New Zealand, URL: <http://www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/> (aufgerufen am 07. Oktober 2010).
- Ministry of the Environment Japan** (2004): *Evaluation of the Pilot Project of Domestic Emissions Trading Scheme*, Climate Change Policy Division, Global Environment Bureau, Tokio.
- Monast, J., J. Anda und T. Profeta** (2009): *U.S. Carbon Market Design: Regulating Emission Allowances as Financial Instruments*, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Climate Change Policy Partnership, Working Paper No. CCPP 09-01, Durham, North Carolina.
- Murray, B. C., R. G. Newell und W. A. Pizer** (2009): *Balancing Cost and Emissions Certainty: An Allowance Reserve for Cap-and-Trade*, Review of Environmental Economics and Policy 3(1), 84-103.
- Newell, R., W. Pizer und J. Zhang** (2005): *Managing Permit Markets to Stabilize Prices*, Environmental & Resource Economics 31(2), 133-157.
- NOAA** (2010): *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, Earth System Research Laboratory, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#global> (aufgerufen am 21. Juni 2010).
- Nordhaus, W. D.** (2009): *An Analysis of the Dismal Theorem*, Yale University, Cowles Foundation, Discussion Paper No. 1686, New Haven, Connecticut.
- Nordhaus, W. D.** (2008): *A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- Nordhaus, W. D.** (2007): *To Tax or Not to Tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming*, Review of Environmental Economics and Policy 1(1), 26-44.

- Nordhaus, W. D.** (2001): *After Kyoto: Alternative Mechanisms to Control Global Warming*, Paper Prepared for a Joint Session of the American Economic Association and the Association of Environmental and Resource Economists, 4. Januar, Atlanta, Georgia.
- Nordhaus, W. D.** (1997): *Discounting in Economics and Climate Change. An Editorial Comment*, *Climatic Change* 37(2), 315-328.
- Nordhaus, W. D. und J. Boyer** (2000): *Warming the World. Economic Models of Global Warming*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts.
- Oberthür, S. und H. E. Ott** (2000): *Das Kyoto-Protokoll: Internationale Klimapolitik für das 21. Jahrhundert*, Leske und Budrich, Opladen.
- OECD** (2010): *Glossary of Statistical Terms*, URL: <http://stats.oecd.org/glossary/> (aufgerufen am 29. November 2010).
- Paltsev, S. V.** (2001): *The Kyoto Protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage*, *The Energy Journal* 22(4), 53-79.
- Paqué, K.-H.** (2008): *Zins, Zeit und Zukunft – Zu Ökonomie und Ethik globaler Klimamodelle*, in Gischer, H., P. Reichling, T. Spengler und A. Wenig (Hrsg.): *Transformation in der Ökonomie: Festschrift für Gerhard Schwödiauer zum 65. Geburtstag*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 269-286.
- Parry M. L., O. F. Canziani und J. P. Palutikof** (2007): *Technical Summary*, in Parry, M. L., O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden und C. E. Hanson (Hrsg.): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 23-78.
- Parson, E. A. und K. Fisher-Vanden** (1997): *Integrated Assessment Models of Global Climate Change*, *Annual Review of Energy and the Environment* 22, 589-628.
- Pearce, D. W., W. R. Cline, A. N. Achanta, S. Fankhauser, R. K. Pachauri, R. S. J. Tol und P Vellinga** (1995): *The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control*, in Bruce, J. P., H. Lee and E. F. Haites (Hrsg.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working*

- Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 179-224.
- Perez, O.** (2005): *Multiple Regimes, Issue Linkage, and International Cooperation: Exploring the Role of the World Trade Organization*, University of Pennsylvania Journal of International Law 26(4), 735-778.
- Perman, R., Y. Ma, J. McGilvray und M. Common** (2003): *Natural Resource and Environmental Economics*, 3. Auflage, Pearson Education Limited, Harlow.
- Peters, G.** (2008): *Reassessing Carbon Leakage*, Paper Prepared for the Eleventh Annual Conference on Global Economic Analysis "Future of Global Economy", 12.-14. Juni, Helsinki.
- Peterson, S.** (2003): *Monitoring, Accounting and Enforcement in Emissions Trading Regimes*, OECD Global Forum on Sustainable Development: Emissions Trading, Concerted Action on Tradable Emissions Permits Country Forum, 17.-18. März, OECD Headquarters, Paris.
- Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang und J. Fang** (2010): *The Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture in China*, Nature 467(7311), 43-51.
- Pindyck, R. S.** (2010): *Fat Tails, Thin Tails, and Climate Change Policy*, National Bureau of Economic Research Working Paper Series, Working Paper No. 16353, Cambridge, Massachusetts.
- Pizer, W. A.** (1997): *Prices vs. Quantities Revisited: The Case of Climate Change*, Resources for the Future, Discussion Paper No. 98-02, Washington DC.
- Posner, E. A. und C. R. Sunstein** (2008): *Should Greenhouse Gas Permits Be Allocated on a Per Capita Basis?*, University of Chicago, Public Law and Legal Theory Working Paper No. 206, Chicago.
- Prather, K. A.** (2009): *Our Current Understanding of the Impact of Aerosols on Climate Change*, ChemSusChem 2(5), 377-379.

- Rahmstorf, S. und H. J. Schellnhuber** (2006): *Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie*, C. H. Beck, München.
- Rajamani, L.** (2000): *The Principle of Common But Differentiated Responsibility and the Balance of Commitments Under the Climate Regime*, Review of European Community & International Environmental Law 9(2), 120-131.
- Ramsey, F.** (1928): *A Mathematical Theory of Saving*, The Economic Journal 38(152), 543-559.
- Reddy, B. S. und G. B. Assenza** (2009): *Climate Change – A Developing Country Perspective*, Current Science 97(1), 50-62.
- Regional Greenhouse Gas Initiative** (2010): *Regional Greenhouse Gas Initiative. An Initiative of the Northeast and Mid-Atlantic States of the U.S.*, URL: <http://www.rggi.org/home> (aufgerufen am 07. Oktober 2010).
- Reilly, J., R. G. Prinn, J. Harnisch, J. Fitzmaurice, H. D. Jacoby, D. Kicklighter, P. H. Stone, A. P. Sokolov und C. Wang** (1999): *Multi-Gas Assessment of the Kyoto Protocol*, Nature, 401, 549-555.
- Requate, T.** (2009): *Deutsche Umwelt- und Klimapolitik: symbolisch, teuer und ineffektiv?*, in Schulze, G. G. (Hrsg.): *Reformen für Deutschland. Die wichtigsten Handlungsfelder aus ökonomischer Sicht*, Reihe: Handelsblatt-Bücher XIII, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 123-147.
- Sandler, T.** (1997): *Global Challenges: An Approach to Environmental, Political, and Economic Problems*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Sanin, M. E. und F. Violante** (2009): *Understanding Volatility Dynamics in the EU-ETS Market: Lessons from the Future*, Center for Operations Research and Econometrics, Discussion Paper No. 2009/24, Neu-Löwen.
- Sathaye, J., P. R. Shukla und N. H. Ravindranath** (2006): *Climate Change, Sustainable Development and India: Global and National Concerns*, Current Science 90(3), 314-325.
- Schokkaert, E. und Eyckmans, J.** (1999): *Greenhouse Negotiations and the Mirage of Partial Justice*, in Dore, M. H. I. und T. D. Mount (Hrsg.): *Global Environmental*

Economics. Equity and the Limits to Markets, Blackwell Publishers, Malden, Massachusetts, 193-217.

Schwanke, K., N. Podbregar, D. Lohmann und H. Frater (2009): *Naturkatastrophen. Wirbelstürme, Beben, Vulkanausbrüche, entfesselte Gewalten und ihre Folgen*, 2. vollständig erweiterte und überarbeitete Auflage, Springer, Berlin.

Sinn, H.-W. (2008): *Das grüne Paradoxon. Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik*, Econ, Berlin.

Solow, R. M. (2000): *Growth Theory. An Exposition*, 2. Auflage, Oxford University Press, New York.

Stanton E. A. und F. Ackerman (2009): *Climate and Development Economics: Balancing Science, Politics and Equity*, Natural Resources Forum 33(4), 262-273.

Stavins, R. N. (1998): *Market-Based Environmental Policies*, Resources for the Future, Discussion Paper No. 98-26, Washington DC.

Stavins, R. N. (1997): *Policy Instruments for Climate Change: How Can National Governments Address a Global Problem?*, The University of Chicago Legal Forum, Volume 1997: Rethinking Environmental Protection for the 21st Century, 1997(293), 293-329.

Stavins, R. N. und S. Barrett (2002): *Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements*, Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Paper No. 94.2002, Harvard University, Kennedy School of Government, Working Paper No. RWP 02-031, Cambridge, Massachusetts.

Stavins, R. N. und B. W. Whitehead (1992): *The Greening of America's Taxes: Pollution Charges and Environmental Protection*, Harvard University, Kennedy School of Government, Center for Science and International Affairs, Discussion Paper No. 92-03, Cambridge, Massachusetts.

Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change. The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stewart, R. B. und J. B. Wiener (2003): *Reconstructing Climate Policy. Beyond Kyoto*, The AEI Press, Publisher for the American Enterprise Institute, Washington DC.

Stiglitz, J. (2006): *A New Agenda for Global Warming*, *The Economists' Voice* 3(7), Article 3.

Stranlund, J. K. (2009): *A Safety Valve for Emissions Trading*, University of Massachusetts Amherst, Department of Resource Economics, Working Paper No. 2009-4, Amherst, Massachusetts.

Sunstein, C. R. (2007): *The Complex Climate Change Incentives of China and the United States*, American Enterprise Institute - Brookings Joint Center for Regulatory Studies, Working Paper No. 07-14, Washington DC.

Tagesschau.de (2009): *US-Kongress bestimmt Klimaschutz. Der verhinderte Weltklimaschützer*, URL: <http://www.tagesschau.de/klima/aktuell/usaklimaschutz102.html> (aufgerufen am 8. Juni 2010).

The Pew Research Center for the People & the Press (2009): *Fewer Americans See Solid Evidence of Global Warming. Modest Support for "Cap and Trade" Policy*, Survey Reports, Washington DC, Download unter: <http://people-press.org/report/556/global-warming> (aufgerufen am 6. Juli 2010).

The World Bank (2010): *Data, Indicators, GNI per Capita, PPP (current international \$)*, URL: http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.PP.CD?order=wbapi_data_value_1997+wbapi_data_value&sort=asc&page=2 (aufgerufen am 18. Oktober 2010).

The World Bank (1999): *World Development Report, Knowledge for Development 1998/99*, Oxford University Press, New York.

Thompson, L. G., H. H. Brecher, E. Mosley-Thompson, D. R. Hardy und B. G. Mark (2009): *Glacier Loss On Kilimanjaro Continues Unabated*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(47), 19770-19775.

Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J. A. Renwick, M. Rusticuc ci, B. Soden und P. Zhai (2007): *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working*

Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 235-336.

Umweltbundesamt (2010): *Beschleunigter Anstieg der atmosphärischen Konzentrationen der Klimagase SF6 und NF3*, Berlin, Download unter: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/index.htm> (aufgerufen am 11. November 2010).

UN (1998): *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, New York, Download unter: <http://unfccc.int/cop5/convkp/index.html> (aufgerufen am 11. November 2010).

UN (1992): *United Nations Framework Convention on Climate Change*, New York, Download unter: <http://unfccc.int/cop5/convkp/index.html> (aufgerufen am 11. November 2010).

UNEP (2010): *Environment Outlook for Latin America and the Caribbean: GEO LAC 3. 2009 Edition*, Nairobi, Download unter: http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4149 (aufgerufen am 16. Juni 2011).

UNEP (2009): *Climate Change Science Compendium 2009*, Nairobi, Download unter: <http://www.unep.org/compendium2009/> (aufgerufen am 11. November 2010).

UNEP (2007): *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Achievements in Stratospheric Ozone Protection. Progress Report 1987-2007*, Nairobi, Download unter: http://ozone.unep.org/Publications/20th_anniversary_info_kit.shtml (aufgerufen am 11. November 2010).

UNFCCC (2011): *Status of Ratification of the Convention*, URL: http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php (aufgerufen am 16. Juni 2011).

UNFCCC (2010): *Report of the Conference of the Parties on its Fifteenth Session, Held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009, Addendum, Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at its Fifteenth Session*, FCCC/CP/2009/11/Add.1, GE.10-60563, Bonn.

- UNFCCC** (2008): *Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount*, UNFCCC, Bonn.
- UNFCCC** (2007): *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*, UNFCCC, Bonn.
- UNFCCC** (2002): *Methodological Issues. Scientific and Methodological Assessment of Contributions to Climate Change*, Report of the Expert Meeting, FCCC/SBSTA/2002/INF.14, GE.02-64500, Bonn.
- UNFCCC** (1997): *Implementation of the Berlin Mandate, Additional Proposals from Parties, Addendum*, FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3, GE.97-61399, Bonn.
- United States Environmental Protection Agency** (2006): *Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases*, Washington DC, Download unter: <http://www.epa.gov/climatechange/economics/international.html> (aufgerufen am 05. April 2011).
- van der Sluijs, J. P.** (2002): *Integrated Assessment*, in Tolba, M. K. (Hrsg.): *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 4, Responding to Global Environmental Change*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 250-253.
- Victor, D. G.** (2007): *Fragmented Carbon Markets and Reluctant Nations: Implications for the Design of Effective Architectures*, in Aldy, J. E. und R. N. Stavins (Hrsg.): *Architectures for Agreement. Addressing Global Climate Change in the Post-Kyoto World*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 133-160.
- Victor, D. G.** (2001): *The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Vogt, C.** (2002): *On the Political Economy of International Environmental Agreements – Some Theoretical Considerations and Empirical Findings*, in Böhringer, C., M. Finus und C. Vogt (Hrsg.): *Controlling Global Warming: Perspectives from Economics, Game Theory, and Public Choice*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, 178-213.
- Walsh, K., D. Karoly und N. Nicholls** (2009): *The Detection and Attribution of Climate Change Effects on Tropical Cyclones*, in Elsner, J. B. und T. H. Jagger (Hrsg.): *Hurricanes and Climate Change*, Springer, Heidelberg, 1-20.

- WBGU** (2009): *Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz*, Sondergutachten, Berlin, Download unter: http://waeseearch.kobv.de/uid.do?query=pik_oai_oai:pik\potsdam.de:4023&ref=feed (aufgerufen am 15. Juni 2011).
- Weitzman, M. L.** (2009a): *Some Basic Economics of Extreme Climate Change*, Harvard University, Working Paper, Cambridge, Massachusetts.
- Weitzman, M. L.** (2009b): *On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change*, *The Review of Economics and Statistics* 91(1), 1-19.
- Weitzman, M. L.** (2009c): *Reactions to the Nordhaus Critique*, Harvard University, Working Paper, Cambridge, Massachusetts.
- Weitzman, M. L.** (1974): *Prices vs. Quantities*, *The Review of Economic Studies* 41(4), 477-491.
- Wiener, J. B.** (2009): *Property and Prices to Protect the Planet*, *Duke Journal of Comparative & International Law* 19(3), 515-534.
- Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit** (2004): *Zur Förderung erneuerbarer Energien*, Gutachten, BMWi-Dokumentation Nr. 534, Berlin, Download unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen.did=65688.html> (aufgerufen am 11. November 2010).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen** (2006): *Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*, Sondergutachten, Berlin, Download unter: http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006_voll.html (aufgerufen am 11. November 2010).
- WMO** (2009): *Greenhouse Gas Bulletin. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Using Global Observations through 2008*, No. 5, Genf, Download unter: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGBulletin.html> (aufgerufen am 11. November 2010).
- World Coal Association** (2011): *Coal Market and Transportation*, URL: <http://www.worldcoal.org/coal/market-amp-transportation/> (aufgerufen am 7. Juni 2010).

- WRI** (2009a): *CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods*, Washington DC, Download unter: <http://cait.wri.org/cait.php?page=intro#supporting> (aufgerufen am 4. November 2010).
- WRI** (2009b): *CAIT Brochure for COP-15, Copenhagen (based on CAIT v.7.0)*, Washington DC, Download unter: <http://cait.wri.org> (aufgerufen am 4. November 2010).
- Yolandi, G.** (2009): *Heat's on in Copenhagen*, COP15 – Copenhagen Media Training Workshop Reports of Participants, Report vom 11. Dezember 2009, UNFCCC, Bonn, Download unter: http://unfccc.int/meetings/cop_15/press/items/5222.php (aufgerufen am 11. November 2010).
- Zwingmann, K.** (2007): *Ökonomische Analyse der EU-Emissionshandelsrichtlinie, Bedeutung und Funktionsweisen der Primärallokation von Zertifikaten*, Deutscher Universitätsverlag, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden.