

Klimapolitik auf dem Deutschen Energiemarkt

**Vereinbarkeit herkömmlicher Politikmaßnahmen
mit der Einführung des Emissionshandels**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Diplom-Sozialökonom

Thure Traber
aus Kiel

Kiel, 2007

„Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich meine Doktorarbeit „Klimapolitik auf dem Deutschen Energiemarkt - Vereinbarkeit herkömmlicher Politikmaßnahmen mit der Einführung des Emissionshandels“ selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe verfasst habe, und dass alle wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommenen Stellen dieser Arbeit unter Quellenangabe einzeln kenntlich gemacht sind.“

Berlin, den 02.02.2007

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist Ergebnis eines Forschungsprojektes, das durch meine Arbeit am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart motiviert wurde. Den dortigen Kollegen möchte ich für ihre sachkundige Einführung in die ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewirtschaft danken.

Mein besonderer Dank gilt Till Requate, der nicht nur durch seine Unterstützung zusammen mit der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein diese Arbeit erst ermöglichte, sondern der vor allem durch seine zahlreichen konstruktiven Verbesserungsvorschläge und Anregungen einen maßgeblichen Anteil zum Gelingen insbesondere des theoretischen Teils dieser Arbeit beigesteuert hat. Weiterhin gilt mein Dank Ulrich Schmidt, der mir häufig hilfreich zur Seite stand und dessen Vorschläge oft Einfluss fanden.

Auch möchte ich den Kollegen des Lehrstuhls Albrecht Bläsi, Andreas von Döllen, Dagmar Nelissen, Thomas Lontzek und Gunter Bahr meinen Dank für anregende Diskussionen und Kommentare aussprechen. Überdies möchte ich mich bei Sonja Peterson für ihre spontane Unterstützung mit Daten und Informationen danken.

Letztlich richtet sich mein Dank für finanzielle Unterstützung an die Innovationsstiftung Schleswig-Holstein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Institutioneller Rahmen	5
2.1	Die internationale Klimapolitik im Rahmen des Kyoto-Protokolls	5
2.2	Europäische Politikmaßnahmen	7
2.2.1	Klimapolitik	7
2.2.2	Liberalisierung der Energiemärkte	11
2.3	Politikmaßnahmen in Deutschland	16
2.3.1	Klimapolitik	16
2.3.2	Liberalisierung der Energiemärkte	21
2.4	Entwicklung auf den Strommärkten und dem Zertifikatemarkt	23
3	Theoretische Analyse von umweltpolitischen Maßnahmen auf dem Energiemarkt	26
3.1	Einleitung	26
3.2	Grundlegende Annahmen	29
3.2.1	Kosten-, Emissions- und Verhaltensannahmen	29
3.2.2	Wohlfahrt	32
3.3	Die einheitliche Outputsteuer	33

3.3.1	Die Unternehmen bei Outputbesteuerung und Emissionspreisen	33
3.3.2	Die optimale Outputsteuer bei Emissionshandel	35
3.3.3	Die optimale Outputsteuer bei Emissionsbesteuerung	37
3.4	Die differenzierte Outputbesteuerung	39
3.4.1	Die Unternehmen bei Outputsteuerdifferenzierung und Emissionspreisen	39
3.4.2	Die optimale differenzierte Outputsteuer bei Emissionshandel	42
3.4.3	Die optimale differenzierte Outputsteuer bei Emissionsbesteuerung	46
3.5	Die Einspeisevergütung	49
3.5.1	Die Unternehmen bei Einspeisevergütung und Emissionspreisen	49
3.5.2	Der optimale Einspeisevergütungstarif bei Emissionshandel	53
3.5.3	Der optimale Einspeisevergütungstarif bei Emissionsbesteuerung	54
3.6	Der KWK-Bonus	56
3.6.1	Die Unternehmen bei KWK-Bonus und Emissionspreisen	57
3.6.2	Der optimale KWK-Bonus bei Emissionshandel	60
3.6.3	Der optimale KWK-Bonus bei Emissionsbesteuerung	62
3.7	Zusammenfassung der theoretischen Ergebnisse	64
3.8	Anhang: Beweis von Lemma 1	69

4	Analyse von klimapolitischen Maßnahmen auf dem Energiemarkt mit Hilfe eines berechenbaren Gleichgewichtsmodells	71
4.1	Repräsentierte Technologien, Anlagenbestand, Eigentumsstruktur und Referenznachfragen	72
4.2	Wohlfahrt	78
4.3	Die Outputsteuer	80
4.3.1	Die einheitliche Outputsteuer bei Emissionshandel	81
4.3.2	Die differenzierte Outputsteuer bei Emissionshandel	83
4.4	Die Einspeisevergütung	86
4.4.1	Die Einspeisevergütung bei Emissionshandel	87
4.5	Der KWK-Bonus	91
4.5.1	Der KWK-Bonus bei Emissionshandel	94
4.6	Zusammenfassung der quantitativen Ergebnisse	97
4.7	Anhang: Konstruktion der Grenzkostenkurven	100
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	104

Abbildungsverzeichnis

2.1	Marktöffnung in Europa 2003. Quelle: Europäische Kommission 2004.	14
2.2	Entwicklung der Emissionszertifikatepreise an der European Energy Exchange Leipzig (EEX) in den ersten fünf Monaten des Emissionshandels in 2005. Quelle: EEX.	24
2.3	Entwicklung der Haushaltsstrompreise. Quelle: Eurostat 2005.	25
2.4	Entwicklung der Industriestrompreise. Quelle: Eurostat 2005.	25
4.1	Sterbekurve des Deutschen Kraftwerksparks. Quelle: Eigene Berechnungen.	74
4.2	Kraftwerkspark der Deutschen Stromwirtschaft nach Akteuren. Quelle: Eigene Berechnungen.	75
4.3	KWK-Kraftwerke der Deutschen Stromwirtschaft nach Akteuren. Quelle: Eigene Berechnungen.	76
4.4	Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Outputsteuer zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatepreissteigerung von 0 über 10 auf 20 Euro pro Tonne CO ₂ . . .	82

4.5	Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Outputbesteuerung des Haushaltssektors zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bei gleichzeitiger Subventionierung der übrigen Sektoren mit 1 Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatepreisen von 0 , 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2	84
4.6	Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Einspeisevergütung zwischen 3 und $4,5$ Eurocent pro Kilowattstunde gegenüber keiner Einspeisung bei Emissionszertifikatepreisen von 0 , 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2	88
4.7	Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Einspeisevergütung zwischen 3 und $4,5$ Eurocent pro Kilowattstunde gegenüber keiner Einspeisung bei Emissionszertifikatepreisen von 0 , 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2	90
4.8	Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) des KWK-Bonus zwischen $0,5$ und $1,5$ Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatepreisen von 0 , 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2	95
4.9	Effekt eines KWK-Bonus von einem Eurocent pro Kilowattstunde auf die Produktion der Firmen bei Emissionszertifikatepreisen zwischen 0 und 20 Euro pro Tonne CO_2	97
4.10	Exemplarische Merit-Order-Kurve des Deutschen Kraftwerkparcs.	101
4.11	Einsatz der Grund- und Spitzenlastkraftwerke zur Herleitung von Grenzkostenkurven.	102

Kapitel 1

Einleitung

Der bereits Ende des neunzehnten Jahrhunderts von dem späteren Nobelpreisträger für Chemie Svante Arrhenius vermutete und heute von einer deutlichen Mehrheit der in diesem Bereich forschenden Wissenschaftler unbestrittene anthropogene Treibhauseffekt beruht auf der von Menschen bedingten Erhöhung von bestimmten Gasen in der Atmosphäre. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um Kohlendioxid, Methan, andere Kohlenstoffverbindungen sowie Stickdioxid, welche vor allem bei der Verbrennung fossiler Energieträger, aber beispielsweise auch in der Landwirtschaft durch Viehzucht und im Reisanbau freigesetzt werden.

Diese Gase, die sogenannten Treibhausgase (THG), besitzen der Theorie nach die Eigenschaft, die von der Sonne auf die Erde wirkende kurzwellige Strahlung weitgehend ungehindert einfallen zu lassen und gleichzeitig die von der Erde reflektierte langwellige Strahlung an ihrem Austritt zu hindern. Hieraus folgt eine in gewissem Umfang erwünschte Erwärmung der Erdatmosphäre, da bei Abwesenheit von Treibhausgasen dieser Theorie zufolge eine mittlere Temperatur von lediglich etwa -18 Grad Celsius vorherrschen würde und somit die Erde ein lebensfeindlicher Planet würde. Die durch die Aktivität des Menschen ständige Erhöhung der THGs führt demnach jedoch zu einer kontinuierlichen Erhöhung der Temperatur der Erde.

Mit dem Ziel der Auswertung der in diesem Bereich relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse wurde im Jahre 1988 das Intergovernmental Panel on Climate Change von der World Meteorological Organization sowie dem United Nations Environment Programme (UNEP) ins Leben gerufen. Im Third Assessment Report des

IPCC (2001) wird der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf 1,4 Grad - 5,8 Grad Celsius geschätzt. Hiermit in Verbindung wird ein weltweiter Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 88 cm vorhergesagt. Beide Phänomene beinhalten wiederum die Gefahr vermehrter hydrologischer und meteorologischer Großereignisse mit katastrophalen Auswirkungen sowie der Tendenz zur vermehrten Bildung von Wüsten. Neuere Untersuchungen wie das Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirates Globale Umweltveränderungen (2006) weisen darüber hinaus auf eine zu erwartende Versauerung der Weltmeere mit gravierenden Folgen für die Meeresflora und Meeresfauna hin, welche die Nahrungsgrundlage eines erheblichen Teils der Weltbevölkerung darstellt.

Seit Anfang der 80er Jahre drang die Problematik des Klimawandels verstärkt in das öffentliche Bewusstsein vor und führte zu einem politischen Prozess, an dessen vorläufigen Ende 1997 die Annahme des Protokolls von Kyoto stand. Die Europäische Union verpflichtete sich darin, die Emissionen der wichtigsten Treibhausgase bis zu den Jahren 2008 - 2012 um 8 Prozent unter die Werte des Basisjahres 1990 zu senken. Diese Reduktionen wurden in einem europäischen Abkommen über die Lastenteilung auf die Mitgliedstaaten verteilt, so dass beispielsweise Deutschland seine Emissionen um 21 Prozent gegenüber dem Basisjahr zu senken hat. Die Instrumente, die zur Zielerreichung eingesetzt werden sollen, sind dabei teilweise ebenfalls durch europäische Beschlüsse vorgegeben, können jedoch individuell durch die Mitgliedstaaten ergänzt und erweitert werden.

Deutschland ist bereits im Bereich der Klimapolitik aktiv geworden, bevor durch die Europäische Union die Einführung von klimapolitischen Instrumenten bindend vorgeschrieben war. Die prominentesten Gesetzgebungen der deutschen Klimapolitik beziehen sich vornehmlich auf den Energiesektor und werden neben dem Umweltargument auch mit den Argumenten der Versorgungssicherheit und der Förderung von Beschäftigung begründet. Letztere Argumente werden in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht werden. Explizit handelt es sich um die Gesetzgebung zur Ökologischen Steuerreform, die Gesetzgebung zur Förderung erneuerbarer Energien sowie um die Gesetzgebung zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung.

Durch die umweltpolitisch motivierte Reglementierung - insbesondere des Energiesektors - durch die genannten Instrumente entstehen zum Teil marktmachtbedingte Wirkungen auf diesen leitungsgebundenen, hochkonzentrierten Märkten, welche bisher noch nicht vollständig untersucht wurden. Zudem entsteht eine Veränderung

der Wirkungen der Instrumente durch die Einführung des europaweiten verbindlichen Emissionshandels, der ebenfalls überwiegend den Energiesektor betrifft. Die Untersuchung der Wirkung sowohl der Marktmacht der Energieproduzenten als auch des Einflusses des Emissionshandels auf die Funktionsweise der klimapolitischen Instrumente Ökosteuer, Einspeisevergütung und KWK-Bonus ist daher Ziel dieser Arbeit.

Durch die Untersuchung zeigt sich, dass durch die Einführung des Emissionshandels die Wirkung der Instrumente grundsätzlich verändert wird, denn die im Sektor der deutschen Energiewirtschaft durch die herkömmlichen Instrumente bewirkten Emissionsreduktionen werden durch Emissionserhöhungen in den übrigen Emissionshandelssektoren und in den übrigen am Emissionshandel beteiligten Ländern neutralisiert. Somit sind, da es sich bei CO₂ um einen globalen Umweltschadstoff handelt, nicht mehr die Emissionen der Energiewirtschaft, sondern nur noch der energiewirtschaftliche Output und dessen Änderung durch die Instrumente für die im energiewirtschaftlichen Sektor erwirtschaftete Wohlfahrt relevant.

Für den Fall, dass die Outputbesteuerung, die Einspeisevergütung für erneuerbare Energien oberhalb des Marktpreises und der KWK-Bonus vor der Einführung des Emissionshandels optimal gewählt waren, kann gezeigt werden, dass diese nun in eine Outputsubvention, eine Einspeisevergütung unterhalb des Marktpreises und in einen KWK-Malus zu ändern sind. Diese kritische Beurteilung der herkömmlichen Instrumente wird durch die Analyse mit Hilfe des berechenbaren Gleichgewichtmodells weitgehend unterstützt. Die Berechnungen legen nahe, dass durch sämtliche Instrumente, die gegenwärtig neben dem Emissionshandel eingesetzt werden, die Wohlfahrt beeinträchtigt wird, wenn wir von Zertifikatepreisen von 20 Euro pro Tonne ausgehen.

Die Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut. In Kapitel 2 wird zunächst der institutionelle Rahmen in Form der nationalen und internationalen Klimavereinbarungen sowie die europäischen und deutschen Bemühungen zur Liberalisierung des Strommarktes dargestellt. Der folgende zentrale theoretische Teil - Kapitel 3 - beschäftigt sich mit der theoretischen Analyse der Wirkung der Einführung des Emissionsmarktes auf die Funktionsweise der Instrumente und vergleicht die Ergebnisse mit der Einführung einer Emissionssteuer, die die externen Effekte der Emission nicht vollständig internalisiert. Im anschließenden quantitativen Teil, Kapitel 4, werden die Ergebnisse der theoretischen Untersuchung mit Hilfe eines berechenbaren Gleich-

gewichtsmodells, welche sämtliche wesentlichen Charakteristika des deutschen Energiesektors berücksichtigt, quantitativ überprüft. Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchung in Kapitel 5 zusammengefasst.

Kapitel 2

Institutioneller Rahmen

2.1 Die internationale Klimapolitik im Rahmen des Kyotoprotokolls

Seit Mitte der 80er Jahre hat sich die internationale Staatengemeinschaft des Themas des Klimaschutzes angenommen. Infolge der Gespräche auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung wurde im Jahre 1992 die 1994 in Kraft tretende Klimarahmenkonvention verabschiedet, die im wesentlichen eine Stabilisierung der Treibhausgasemissionen auf ein Niveau, das eine gefährliche Störung des Klimasystems verhindert, beinhaltet.

Die zur Umsetzung dieses Ziels jährlich veranstalteten Vertragsstaatenkonferenzen gipfelten im Jahre 1997 im Protokoll von Kyoto, in dem sich die im Annex-I genannten industrialisierten Staaten verpflichten, in der 1. Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 die Summe fast aller jährlichen treibhausrelevanten Emissionen um 5,2 Prozent unter den Durchschnitt des Jahres 1990 zu senken.

Durch einen Länderschlüssel wurde dieses Ziel auf die einzelnen Nationalstaaten verteilt. In diesem Rahmen hat sich zum Beispiel die gesamte EU, und somit auch Deutschland, auf eine Reduktion von 8 Prozent festgelegt, während andere Länder, wie beispielsweise Russland, lediglich eine Erreichung des Status quo ante gewährleisten sollen. Einer letzten Gruppe von Ländern, zu der beispielsweise Neuseeland und Australien gehören, wurde sogar eine Erhöhung der Emissionen im

Vergleich zum Jahr 1990 zugestanden. Für das Inkrafttreten des Protokolls wurde eine Ratifizierung von nicht weniger als 55 Prozent der in Annex-I genannten Staaten benötigt, welche zudem im Jahre 1990 nicht weniger als 55 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen dieser Gruppe ausmachen mussten.

Aufgrund der Tatsache, dass die Vereinigten Staaten von Amerika, die für rund ein Viertel der weltweiten Emissionen verantwortlich sind, im Jahre 2000 offiziell aus dem Kyotoprozess ausschieden, gelang es erst kurz vor Ablauf der Ratifizierungsfrist mit der Ratifizierung der Russischen Föderation am 18. November 2004, die erforderlichen Quoten zu erreichen.

Das Kyotoprotokoll (KP) sieht verschiedene Instrumente zur kostengünstigen Erreichung der genannten Ziele vor. Insbesondere sind hier die sogenannten flexiblen Mechanismen zu nennen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um die Einrichtung eines Emissionshandels, welcher es den verpflichteten Industriestaaten ermöglichen soll, untereinander die günstigsten Möglichkeiten der Vermeidung zu nutzen.

Somit müssen die Staaten nicht zwangsläufig die erforderlichen Reduktionen im eigenen Land erbringen. Vielmehr soll es die Möglichkeit geben, beispielweise Berechtigungen auf einem einzurichtenden internationalen Emissionsmarkt zu erwerben, so dass die erforderlichen Reduktionen dann von einem anderen Land erreicht werden müssen. Andererseits kann es lohnend werden, die nationalen Ziele überzuerfüllen und mit den überschüssigen Berechtigungen Einkommen zu generieren.

Zum Zweck der effizienten Vermeidung sieht das KP weiterhin projektbasierte Maßnahmen vor, durch die ein Industrieland durch emissionsvermeidende Investitionen im Ausland seinen Verpflichtungen nachkommen kann. Zu unterscheiden sind dabei Investitionen, die in anderen Industriestaaten vorgenommen werden, Maßnahmen der gemeinsamen Umsetzung (Joint Implementation) und Investitionen in Entwicklungsländern, die sogenannten Maßnahmen zur sauberen Entwicklung (Clean Development Mechanism).

Der wesentliche Unterschied beider Maßnahmen liegt dabei darin, dass die Minderungen aus JI-Projekten erst ab der ersten Verpflichtungsperiode angerechnet werden, während ab 2000 auch die Minderungen aus CDM-Maßnahmen, die schon vor der ersten Verpflichtungsperiode anfielen, berücksichtigt werden.

2.2 Europäische Politikmaßnahmen

2.2.1 Klimapolitik

Die EU-Verpflichtung zur Reduktion um 8 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 im Rahmen des KPs wurde im Abkommen über die Lastenverteilung innerhalb der Union auf die einzelnen Mitgliedstaaten heruntergebrochen. Den Ländern wurden dabei entsprechend sowohl ihrer absoluten, als auch relativen Emissionsniveaus sowie ihres Einsparpotentials auf Verhandlungsbasis verbindliche Ziele vorgegeben.

Die Verpflichtungen der einzelnen EU-15-Mitgliedstaaten weisen sehr große Unterschiede auf. Im Gegensatz zu Deutschland wurden einzelnen Staaten, für die ein hohes Potenzial an Wirtschaftswachstum zugrunde gelegt wurde, sogar eine Erhöhung ihrer Emissionen zugestanden. Hierbei handelt es sich um die sogenannten Kohäsionsländer Griechenland, Irland, Portugal und Spanien.

Für Deutschland bedeutet die Lastenteilung eine Reduktion in der ersten Verpflichtungsperiode von 2008-2012 von 21 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 entsprechend der untenstehenden Tabelle 2.1. Dies entspricht wiederum durchschnittlichen Emissionen in Höhe von 955 Millionen Tonnen in den Jahren der ersten Verpflichtungsperiode.

Ebenso wie die einzelnen Verpflichtungen weist die erwartete Zielerreichung der einzelnen EU-15-Staaten große Unterschiede auf. So ist für Deutschland und das Vereinigte Königreich auf Grundlage von Prognosen eine erwartete Übererfüllung der Ziele vorhergesagt worden, während beispielsweise die Länder der iberischen Halbinsel und Irland, aber auch Österreich ihre Ziele um zweistellige Prozentsätze verfehlen werden. Bei letztgenannten Ländern ist daher eine Verschärfung oder Erweiterung der klimapolitischen Maßnahmen angezeigt.

Europaweiter Emissionshandel

Als zentrales Element der Klimaschutzpolitik sieht die Europäische Union, ähnlich wie das KP, den Emissionshandel vor. Zu diesem Zweck haben das Europäische Parlament und die Kommission am 13.10.2003 die Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft

	Emission im Basisjahr [Mt CO ₂]	Reduktionsziel [1]	Emission 2002 [Mt CO ₂]	Änderung gegenüber Basisjahr	Deckungslücke [2]
Belgien	146,8	-7,50%	150	2,1%	6,6
Dänemark	69	-21,00%	68,5	-0,8%	11,8
Deutschland	1253,3	-21,00%	1016	-18,9%	-6,3
Finnland	76,8	0,00%	82	6,8%	6,8
Frankreich	564,7	0,00%	553,9	-1,9%	-1,9
Griechenland	107	25,00%	135,4	26,5%	11,5
Irland	53,4	13,00%	68,9	28,9%	21,1
Italien	508	-6,50%	553,8	9,0%	12,9
Luxemburg	12,7	-28,00%	10,8	-15,1%	1,7
Niederlande	212,5	-6,00%	213,8	0,6%	4,2
Österreich	78	-13,00%	84,6	8,5%	16,3
Portugal	57,9	27,00%	81,6	41,0%	24,8
Schweden	72,3	4,00%	69,6	-3,7%	-6,1
Spanien	286,8	15,00%	399,7	39,4%	30,4
Vereinigtes Königreich	746	-12,50%	634,8	-14,9%	-7,4
EU-15	4245,2	-8,00%	4123,3	-2,9%	1,9

[1] EU-15 Lastenteilung

[2] Die Deckungslücke gibt den Fehlbetrag zwischen vereinbarten und prognostizierten Emissionen an.

Quelle: Europäische Umweltagentur, 2004.

Tabelle 2.1: Lastenteilung in Europa und prognostizierte Zielerreichung in 2004.

beschlossen. Hierin wird ein klarer Rahmen definiert, innerhalb dessen es den Mitgliedstaaten freigestellt wird, eine eigenständige Umsetzung zu etablieren.

Wesentliche Punkte der Richtlinie nennen die einzubeziehenden Industrien und Anlagen sowie die Gestaltung der Vergabe der Zertifikate. Es werden folgende Anlagen und Prozesse explizit von der EU-Richtlinie zur Einrichtung eines europaweiten Emissionshandels erfasst: Verbrennungsanlagen mit einer berechneten Wärmenettozufuhr über 20 Megawatt sowie Anlagen aus den Sektoren Raffinerieprozesse, Kokeereien, Stahl-, Zement- Glas-, Keramik-, Zellstoff- und Papierindustrie. Somit werden wichtige Bereiche wie die chemische Industrie und der gesamte Verkehr anfangs nicht in den Handel eingebunden.

Bezüglich der Zertifikateausstattung enthält die Richtlinie ebenfalls Bestimmungen. Zwar wird den Mitgliedstaaten die Gesamtmenge der auszugebenden Zertifikate überlassen, jedoch können die Mitgliedstaaten einzelne Sektoren oder Anlagentypen von der Teilnahmepflicht in der ersten Handelsperiode 2005-2007 nur dann befreien, wenn diese anderen umweltpolitischen Regelungen unterliegen, die eine vergleichba-

re Wirkung entfalten. Durch diesen auf Druck der Industrie aufgenommenen Artikel besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Einhaltung der Verpflichtungen im Rahmen der EU-Lastenteilung durch andere Mittel zu erreichen.

In Deutschland wäre es im Rahmen der Richtlinie beispielsweise möglich, die sektorale Emissionsminderung im Wärmemarkt durch das KWK-Vorschaltgesetz oder auch das gesamte Industrieziel durch eine Selbstverpflichtung der Industrie zu erfüllen, wenn deren Sanktions- und Kontrollregime an die Erfordernisse der Europäischen Union angepasst würde.

Des Weiteren schreibt die Richtlinie explizit vor, dass die Verteilung der Zertifikate an die Unternehmen in der ersten Handelsperiode zu 95 Prozent und in der zweiten Periode zu mindestens 90 Prozent kostenlos erfolgt.

Förderung Erneuerbarer Energien

Neben dem Emissionshandel werden durch die EU weitere Instrumente vorgeschlagen und diskutiert. So wurden Ziele für den Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien formuliert. Demnach soll ein Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010 auf 12 Prozent des europaweiten Energieverbrauchs erreicht werden (Weißbuch Erneuerbare Energien 1997).

Durch die Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen aus dem Jahre 2001 (RL) wird dieses Ziel auf die im Zentrum dieser Untersuchung stehenden Stromerzeugung bezogen. Für die EU-15 wird darin ein Anteil von 22,1 Prozent am Stromverbrauch angestrebt. Auch diese Ziele werden auf die einzelnen Nationen bezogen ausgewiesen. Für Deutschland sieht die RL einen Anteil von 12,5 Prozent der erneuerbaren Energien an der gesamten Stromproduktion vor. Zu den Instrumenten der Umsetzung macht die Richtlinie im Gegensatz zu den Zielen keine Aussage. In der Praxis kommen zwei grundsätzlich unterschiedliche Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien in den EU-15 zum Einsatz. Diese lassen sich als mengenpolitische und preispolitische Instrumente klassifizieren.

Bei der mengenpolitischen Steuerung werden von staatlicher Seite Mindestmengen oder Mindestanteile an der gesamten Stromproduktion vorgeschrieben. Die Einhaltung der vorgegebenen Mindestmengen kann dann durch die Verpflichtung bestimmter Marktakteure zur Nutzung von Zertifikaten auf einem Sekundärmarkt or-

ganisiert werden. Ein alternativer Ansatz besteht darin, in einer Ausschreibung die Anbieter von Strom aus erneuerbaren Energiequellen um die Erfüllung der geforderten Mengenkongingente bieten zu lassen. Hierbei kommt dann der Anbieter mit dem jeweils günstigsten Angebot zum Zuge. Bei geeigneter Stückelung der ausgeschriebenen Mengenkongingente kann es dann zu einer vergleichsweise günstigen Erfüllung der geforderten Kongingente kommen.

Preispolitische Instrumente kommen vor allem in Form von Mindestvergütungen vor, sind aber auch als Bonussystem theoretisch denkbar, bei dem auf den Marktpreis für Strom ein fester Bonus für erneuerbare Energien fixiert wird. Die so gewährten Preisvorteile gegenüber der Produktion in herkömmlichen Erzeugungsanlagen können in beiden Formen der Preispolitik nach Anlagentyp differenziert werden. Dies ist beispielsweise bei Einrichtung eines einheitlichen Marktes für erneuerbare Quoten nicht der Fall, so dass die Preise von dem sogenannten Grenzanbieter, welcher gerade noch für die Deckung des Mengenzieles benötigt wird, bestimmt werden. Hierbei kann es für günstigere Anbieter zu unter Umständen wesentlich höheren Renten kommen als bei einer anlagenspezifischen Preisdifferenzierung. Sämtlichen Fördermodellen gemein ist eine Verpflichtung der Netzbetreiber, den Strom aus erneuerbaren Quellen abzunehmen.

Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung

Ein weiteres Element der europäischen Energie- und Klimapolitik stellt die Bestrebung in Richtung eines Ausbaus der Energieversorgung durch Kraft-Wärme-Kopplung, also der gemeinsamen Erzeugung von Strom und Wärme dar, wie sie bereits im Grünbuch „Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit“ formuliert wurde.

Eine Konkretisierung der Bestrebungen leistet die aus dem Februar 2004 stammende Ergänzungsrichtlinie 2004/8/EC über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt, indem sie eine Definition für sogenannte Qualitäts-Kraft-Wärme-Kopplung liefert. Zentral dabei ist die rechnerische Energieeinsparung gegenüber einem ungekoppelten Referenzsystem, welches Wärme und Strom mit durchschnittlichen Wirkungsgraden neuer Anlagen getrennt erzeugt.

2.2.2 Liberalisierung der Energiemärkte

Die Einführung der genannten umweltpolitischen Maßnahmen betrifft zumindest im Bereich der Energieversorgung Märkte, auf denen hohe Marktkonzentrationen vorherrschen. Diese Marktkonzentrationen wurden bis vor wenigen Jahren in fast allen europäischen Ländern durch die Schaffung von Ausnahmereichen vom Wettbewerb begünstigt. Die Folge war, dass die Energieversorger als zumindest regionale Monopolisten auftreten konnten und auf der anderen Seite die Verbraucher gezwungen waren, ihren Energiebedarf bei ihrem regionalen Anbieter zu decken, sofern sie nicht die Möglichkeit zur Eigenproduktion besaßen. Seit Anfang der 90er Jahre ist die EU mit dem Ziel niedriger Endenergiepreise, einer Verstärkung der Innovationsfähigkeit und letztlich einer höheren Energieeffizienz bestrebt, auch im Bereich Energie einen einheitlichen, auf Wettbewerb beruhenden Binnenmarkt zu etablieren.

Binnenmarktrichtlinie Elektrizität

Seit Mitte der 90er Jahre ist durch die Binnenmarktrichtlinien (96/92/EG, 98/30/EG) für Elektrizität und Erdgas der ordnungsrechtliche Rahmen zur Umsetzung einer vom Europäischen Rat angestrebten Liberalisierung mit dem Ziel der Öffnung der Strom- und Erdgasmärkte für den Wettbewerb den Mitgliedsstaaten verbindlich vorgegeben. Im Hinblick auf den Wettbewerb des leitungsgebundenen Marktes für Elektrizität ist die Erfüllung der Kriterien der Marktöffnung und eines diskriminierungsfreien Marktzuganges nötig. Unter Marktöffnung wird in diesem Zusammenhang der Umfang der Zulassung von Kunden zum Markt verstanden, während der diskriminierungsfreie Marktzugang auf die Ausgestaltung der Entgelte und Entgeltberechnung der Netznutzung abstellt. Hierzu enthalten die Binnenmarktrichtlinien zentrale Bestimmungen

- zur schrittweisen Zulassung von Verbrauchern zum Markt
- zum Zugang zu den Leitungs- und Verteilungsnetzen für Drittnutzer,
- zu einer buchhalterischen Entflechtung der Leitungs- und Verteilungsbereiche von den anderen Unternehmensbereichen und
- zur Zugangseinschränkung bei unterschiedlicher Definition von zugelassenen Kunden.

Die Staaten der EU hatten die Bestimmungen der Binnenmarktrichtlinie Elektrizität bis zum 19. Februar 1999 in nationales Recht umzusetzen.

In Bezug auf die schrittweise Zulassung von Verbrauchern zum Markt waren mit dem Inkrafttreten der Richtlinie Endverbraucher ab 100 GWh/a automatisch zugelassene Kunden. Für die weiteren Schritte ist die Zulassung von Kunden mit 27 Prozent, 30 Prozent und 35 Prozent Anteil am Jahresverbrauch jeweils zum 19. Februar der Jahre 1999, 2000 und 2003 verankert worden.

Der zweite Aspekt der Richtlinie - Zugang zu den Leitungs- und Verteilungsnetzen für Drittnutzer - konnte durch die Staaten je nach Belieben durch die Alternativen des verhandelten Netzzuganges für Drittnutzer (Negotiated Third Party Access: NT-PA), des regulierten Netzzuganges für Drittnutzer (Regulated Third Party Access: RTPA) oder des Alleinabnehmersystems (Single Buyer: SB) gewährleistet werden (RL 2003/54/EG).

Durch die europäische Regelung besteht ferner zur Wahrung einer gewissen Reziprozität die Möglichkeit einer Zugangseinschränkung bei unterschiedlicher Definition von zugelassenen Kunden zweier Länder. In dem Fall, dass ein durch Stromimport zu beliefernder, zugelassener Kunde in dem Lieferland selbst nicht als zugelassener Kunde definiert ist, besteht die Möglichkeit der Verweigerung des Zuganges. Des Weiteren beinhaltet die Richtlinie für den Strombereich die obligatorische buchhalterische Entflechtung der Übertragungs- und Verteilungsaktivitäten von der Erzeugung.

In Bezug auf den Bau von Erzeugungsanlagen schreibt die Richtlinie ferner vor, dass dieser entweder im Zuge eines Genehmigungs- oder eines Ausschreibungsverfahrens zu erfolgen hat. Zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit, Regelmäßigkeit, Qualität und Preis der Versorgung sowie der Einhaltung von Umweltschutzzielen ist es den Staaten möglich, die Elektrizitätsunternehmen mit gemeinwirtschaftlichen Verpflichtungen im Allgemeininteresse zu betreuen (service publique, public service obligation). Letztlich schreibt die Richtlinie den Mitgliedsstaaten im Bereich der Elektrizitätswirtschaft vor, dass der Bau von Direktleitungen zu ermöglichen ist.

Am 16. Juni 2003 wurde die Binnenmarktrichtlinie 96/92 EU durch eine geänderte Binnenmarktrichtlinie 2003/54 EU ersetzt, um den Anforderungen, die sich aus der Erweiterung der Union um die zehn neuen Beitrittsländer ergaben, gerecht zu werden und um den Prozess der Einführung eines einheitlichen Binnenmarktes zu

beschleunigen. Durch die RL 2003/54 wird nun die Einführung eines durch eine einzurichtende Regulierungsbehörde überwachten RTPA verbindlich vorgeschrieben. Bis zum Juli 2004 mussten die Mitgliedsstaaten sämtlichen Verbrauchssektoren bis auf den Bereich der Haushalte die freie Wahl des Anbieters ermöglichen, und bis 2007 müssen sämtliche Kunden die volle Wahlfreiheit besitzen. Hinzu kommt eine in der neuen Richtlinie verankerte Ausschreibungspflicht bei der Vergabe von Aufträgen zum Neubau von Erzeugungsanlagen. Auch mit dieser Maßnahme werden mögliche Effizienzsteigerungen verbunden.

Die neue Binnenmarktrichtlinie 2003/54 beinhaltet weiterhin spezielle Rechte, welche den Konsumenten eingeräumt werden. Diese beziehen sich auf Informationen über die bei der Produktion der Elektrizität verwendeten Technologien und deren Umweltwirkung, welche bei der Rechnungslegung des Versorgers aufgeführt werden müssen. Hierbei handelt es sich zumindest um den Umfang der mit der Produktion von mit fossilen Brennstoffen befeuerten Anlagen verbundenen Emission an klimafährdendem Kohlendioxid sowie, bei Verwendung von nuklearen Anlagen, um den Umfang der mit der Produktion einhergehenden radioaktiven Abfälle.

Stand der Liberalisierung in den Staaten der EU-15

Die Umsetzung der Binnenmarktrichtlinie in den Mitgliedstaaten erfolgt nicht einheitlich. Während in den Ländern England und Wales, Schweden und Finnland die vollständige Marktöffnung bereits vor dem europäischen Richtlinienbeschluss etabliert wurde, ist in den übrigen Staaten die Liberalisierung von der Richtlinie ausgegangen. So hat jedes Land der EU eine eigenständige Umsetzung der Erfordernisse gewählt. Im Ergebnis sind die erreichten Marktöffnungsgrade in Bezug auf zugelassene Verbraucher sehr unterschiedlich.

Die Marktöffnung der EU-15 im Jahre 2003 ist in der Abbildung 2.1 dargestellt. Während die skandinavischen Länder, Finnland, das Vereinigte Königreich, Spanien und Deutschland bereits allen Konsumenten unabhängig von deren jährlichem Verbrauch die freie Wahl des Anbieters garantieren, sind bisher in Griechenland und Frankreich lediglich die durch die Richtlinie geforderten 33 Prozent der Marktöffnung knapp überschritten.

In Bezug auf die Umsetzung des Netzzugangs Dritter hat sich dagegen einheitlich

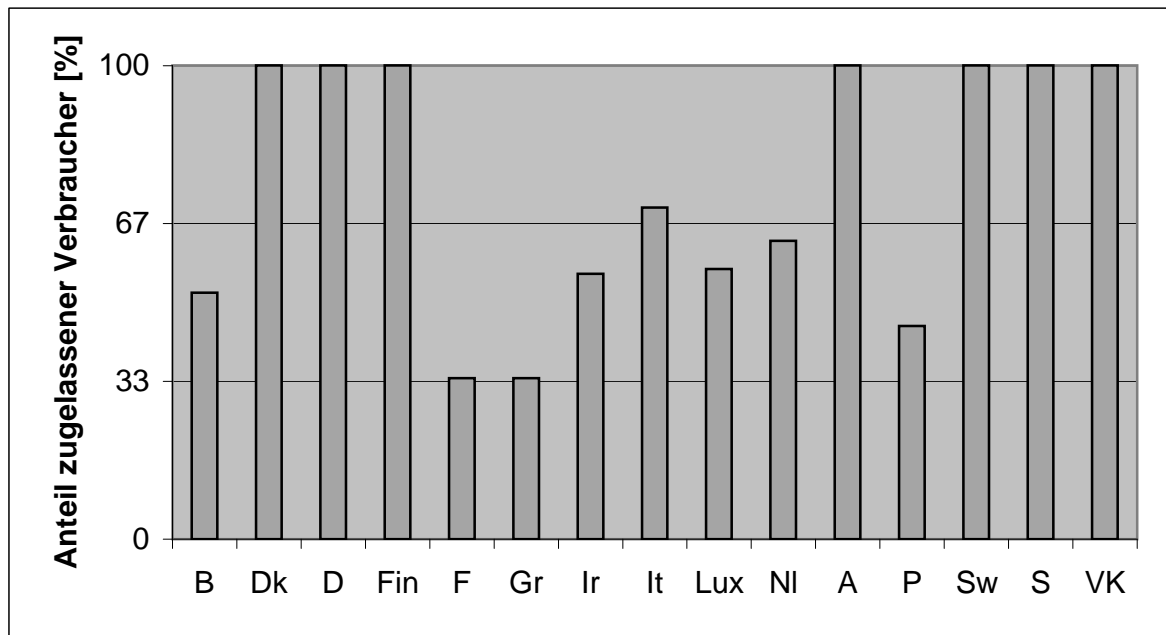


Abbildung 2.1: Marktöffnung in Europa 2003.

Quelle: Europäische Kommission 2004.

das Modell des regulierten Netzzugangs Dritter durchgesetzt. Lediglich in Deutschland beruhte das System bis zum Inkrafttreten des Zweiten Gesetzes zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts am 13.07.2005 auf einem Verhandelten Netzzugang. Durch die im neuen EnWG jüngst eingerichtete Regulierungsbehörde steht der Netzbereich der Energiewirtschaft nun unter einer Preiskontrolle, und somit ist der regulierte Netzzugang auch in Deutschland verankert worden.

Im Bereich der Entflechtung ist das Bild wesentlich uneinheitlicher. Es lässt sich zwischen buchhalterischer, organisatorischer, rein rechtlicher und eigentumsrechtlicher Trennung der Bereiche unterscheiden. Die von der EU-Richtlinie geforderte buchhalterische Trennung ist im Bereich Elektrizität in allen Staaten umgesetzt worden. Deutschland, Österreich, Griechenland und Frankreich wählten für den Verteilungsbereich lediglich eine buchhalterische Entflechtung, während beispielsweise Finnland, Irland und die Niederlande eine darüber hinausgehende organisatorische Trennung des Verteilungsbereiches von der Erzeugung vollzogen.

Auch in Bezug auf die Trennung der Übertragung von den anderen Bereichen der stromwirtschaftlichen Wertschöpfungskette haben sich sämtliche Länder für eine Form, die mindestens der geforderten organisatorischen Trennung entspricht, ent-

schieden. Einen Überblick über die verwendeten Formen leistet die untenstehende Tabelle 2.2.

		Marktöffnung	Entflechtung		Kapazitätsanteil der drei grössten Erzeuger
	Richtlinie		Übertragung	Verteilung	
Belgien	B	52	Rechtsform	Buchhaltung	96 (2)
Dänemark	Dk	100	Rechtsform	Rechtsform	78
Deutschland	D	100	Rechtsform	Buchhaltung	64
Finnland	Fin	100	Eigentum	Organisation	45
Frankreich	F	34	Organisation	Buchhaltung	92
Griechenland	Gr	34	Rechtsform	Buchhaltung	97(1)
Irland	Ir	56	Rechtsform	Organisation	97(1)
Italien	It	70	Eigentum	Rechtsform	69
Luxemburg	Lux	57	Organisation	Buchhaltung	k.A.
Niederlande	Nl	63	Eigentum	Organisation	59
Österreich	A	100	Rechtsform	Buchhaltung	45
Portugal	P	45	Rechtsform	Buchhaltung	82
Schweden	Sw	100	Eigentum	Rechtsform	90
Spanien	S	100	Eigentum	Rechtsform	83
VK	VK	100	Eigentum	Rechtsform	36

Tabelle 2.2: Umsetzung der Liberalisierung im Elektrizitätssektor der EU-15.

Quelle: Europäische Kommission 2004.

Ein weiterer Aspekt, der für die Etablierung eines auf Wettbewerb beruhenden Binnenmarktes große Bedeutung besitzt, betrifft die Marktstruktur des Erzeugungsektors und ist ebenfalls in Tabelle 2.2 dargestellt. Aus dem jährlichen Bericht der EU-Kommission (2004) geht hervor, dass in den meisten Ländern fortwährend hohe Marktkonzentrationen zu verzeichnen sind. So kontrollieren in den Ländern Schweden, Frankreich, Belgien, Griechenland und Irland die größten drei Erzeuger mindestens 90 Prozent der gesamten nationalen Erzeugungskapazitäten.

Kommt es nicht zu einer faktisch wirksamen Integration der Strommärkte und infolgedessen zu einem Wettbewerb unter den Anbietern verschiedener Nationen, so sind die oben aufgeführten Marktanteile entscheidend für das Potential für die Ausübung von Marktmacht. Dies wiederum würde die angestrebten Effizienzgewinne der Liberalisierung gefährden. Dabei ist der Integration der Elektrizitätsmärkte meist eine technische Grenze in Form der die nationalen Netze verbindenden Kuppelkapazitäten gegeben.

Die Europäische Union hat zum Ausbau der Transeuropäischen Netzinfrastruktur

das Programm Trans-European-Network (TEN) initiiert und eine Richtlinie zur Tarifierung der internationalen Stromübertragung beschlossen (Regulierung 1228/2003). Die Tarifierung der grenzüberschreitenden Stromübertragungen muss demnach transparent, den Kosten entsprechend und einen effizienten Zugang ermöglichend gestaltet sein.

Hier kann sich ein gewisser Zielkonflikt zwischen einer den Kosten entsprechenden Tarifierung und der effizienten Allokation unter den Nachfragern von Übertragungsdienstleistungen ergeben, wenn die betreffenden Übertragungskapazitäten einen permanenten Engpass darstellen und auch mittel- bis langfristig durch den Markt nicht beseitigt werden können. Eine effiziente Allokation würde in diesen Fällen die Nachfrager mit den höchsten Zahlungsbereitschaften, welche auch über den Kosten der Bereitstellung der Kapazitäten liegen können, zum Zuge kommen lassen.

Im Zusammenhang mit dieser Problematik wird der Ausbau der internationalen Kuppelstellen, die besonders häufig zu Engpässen im Energiesystem führen, durch die Europäische Union im Rahmen des TEN-Programms gefördert.

2.3 Politikmaßnahmen in Deutschland

2.3.1 Klimapolitik

Die Klimapolitik in Deutschland umfasst zum einen Maßnahmen, welche Investitionen in klimafreundliche Technologien fördern, und zum anderen Maßnahmen, welche den Betrieb von klimabelastenden Anlagen verteuern oder den Betrieb besonders klimafreundlicher Anlagen entlasten. Es handelt sich bei letztgenannten Maßnahmen um die in dieser Arbeit im Vordergrund stehenden politischen Instrumente Emissionshandel, Ökosteuer, Einspeisevergütung und die KWK-Förderung. Diese Instrumente sollen in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

Emissionshandel in Deutschland

Seit September 2004 steht der Rechtsrahmen für die nationale Umsetzung des Emissionshandels in Deutschland und umfasst das am 14. Juli 2004 in Kraft getretene

Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG), das am 31. August 2004 in Kraft getretene Zuteilungsgesetz (ZUG) sowie die am 1. September in Kraft getretenen Verordnungen über die Zuteilung und die Kosten des Emissionshandels.

Zur Zuteilung und Ausgabe der Emissionsberechtigungen, zur Erfüllung von Überwachungs- und Steuerungsaufgaben, zur Führung des nationalen Emissionshandelsregisters sowie zur nationalen und internationalen Berichterstattung wurde im Umweltbundesamt die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) eingerichtet. Die verpflichteten Unternehmen stellen Zuteilungsanträge an die DEHSt auf Basis ihrer historischen Emissions- und Produktionsdaten. Diese Anträge werden von der DEHSt geprüft und eventuell korrigiert.

Daraufhin erfolgten die Ausgabe der Zertifikate zum 28. Februar eines jeden Jahres an die Unternehmen und der Eintrag in das nationale Emissionshandelsregister. Dort werden alle Emissionsberechtigungen und deren Besitzer mittels einer Identifikationsnummer in einem individuellen Registerkonto eingetragen. Die Registerkonten, welche von allen natürlichen sowie juristischen Personen der EU eingerichtet werden können, sind Voraussetzung für die direkte Beteiligung am Handel mit Emissionsberechtigungen.

Die Grundlage für die Zuteilung der Emissionsberechtigungen im Einklang mit den Verpflichtungen auf europäischer und internationaler Ebene stellt der nationale Allokationsplan dar. Der nach langwierigen Verhandlungen zwischen den beteiligten Ministerien und unter Berücksichtigung der Interessen der betroffenen Wirtschaftsverbände entstandene nationale Allokationsplan Deutschlands besteht aus einem Makro- und einem Mikroplan.

Der Makroplan enthält die Gesamtmenge an Emissionsberechtigungen, die zugeteilt beziehungsweise dem Reservefonds zugeordnet werden. Für den Mikroplan wird die anlagenbezogene Zuteilung der Emissionsberechtigungen aus den Kohlendioxid-Emissionen der einzelnen Anlagen in der Basisperiode 2000-2002 und mit Hilfe des Erfüllungsfaktors ermittelt. Bei der Berechnung des Erfüllungsfaktors werden sowohl das Verhältnis von Kohlendioxid-Emissionsbudget der Sektoren Energie und Industrie für die Periode 2005-2007 zu den Ist-Emissionen der Basisperiode 2000-2002 sowie die für den Reservefonds und die Summe aller Sonderregelungen (zum Beispiel für early action) vorgesehenen Emissionsberechtigungen berücksichtigt. Der Mikroplan musste mit dem Makroplan quantitativ abgestimmt werden, damit nicht

mehr, aber auch nicht weniger Zertifikate zugeteilt werden, als der Makroplan insgesamt vorsieht. Ausgangspunkt für Makroplan und Mikroplan sind jeweils die Kohlendioxid-Emissionen der am Emissionshandel teilnehmenden Anlagen in der Basisperiode 2000-2002.

Der deutsche Allokationsplan hat folgende Mengenziele zum Inhalt: Für die Periode 2005-2007 ist für die gesamten Treibhausgasemissionen ein Emissionsziel von 982 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalente pro Jahr festgelegt worden. Für die übrigen Treibhausgase wird für diese Periode ein Wert von 123 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalente prognostiziert, so dass damit das Emissionsziel für die Kohlendioxid-Emissionen 859 Millionen Tonnen pro Jahr beträgt. Dieses nationale Kohlendioxid-Emissionsziel war in Höhe von 859 Millionen Tonnen pro Jahr in der Periode 2005-2007 und 844 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr in der Periode 2008-2012 auf die jeweiligen Sektoren zu verteilen. Im Ergebnis wurde das jahresdurchschnittliche Emissionsbudget für die Energiewirtschaft und die Industrie für die Periode 2005-2007 mit jährlich 503 Millionen Tonnen und für die Periode 2008-2012 mit jährlich 495 Millionen Tonnen Kohlendioxid angesetzt.

Die Definition der Emissionsbudgets und die Verteilung auf die Sektoren mussten dabei mit einem Weg zur Erreichung des nationalen Kyotoziels nach EU-Lastenteilung vereinbar sein. Nach diesen Entscheidungen verbleibt es der nationalen Regierung zu beurteilen, inwieweit die übrigen umweltpolitischen Instrumente mit dem Emissionshandelssystem kollidieren und daher an die neue Situation angepasst werden sollten. Die wesentlichen zu diskutierenden Regulierungen in Deutschland sind die Ökosteuer, die Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien und das KWK-Vorschaltgesetz.

Ökosteuer

Seit dem 1. April 1999 ist in Deutschland nach dem Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform die sogenannte Ökosteuer in Kraft getreten. Nach dem Einstieg in die ökologische Steuerreform wurde auch deren Fortführung bis zum Jahr 2003 beschlossen. Zusätzlich ist im Jahr 2003 das Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform in Kraft getreten und die Ausweitung zu einer ökologischen Finanzreform begonnen worden.

In der ersten Stufe der Reform wurde eine Stromsteuer in Höhe von 1,02 Cent pro Kilowattstunde eingeführt. Durch das Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform wurde die ansteigende Besteuerung in vier weiteren Schritten ab dem Jahr 2000 bis zum Jahr 2003 geregelt und beinhaltet unter anderem die Erhöhung der Stromsteuer um 0,26 Cent je Kilowattstunde zum jeweils 01.01. der Jahre 2000 bis 2003. Somit beträgt die Stromsteuer nun rund 2,04 Cent pro Kilowattstunde.

Es gelten jedoch einige Sonderregelungen, welche die Wirkung für besonders stark belastete Wirtschaftszweige abschwächen. Insbesondere gelten ab 2004 Sonderregelungen für das Produzierende Gewerbe, die Land-, Forst- und Teichwirtschaft sowie die Fischzucht. Für diese Wirtschaftszweige gilt seit 2003 ein ermäßigter Steuersatz von 60 Prozent des Regelsteuersatzes. Der Sockelbetrag beträgt 512,50 Euro pro Jahr, bis zu dem der volle Steuersatz zu zahlen ist.

Für das Produzierende Gewerbe besteht darüber hinaus der so genannte Spitzenausgleich: Unternehmen, deren Belastung durch die Ökosteuern trotz der Begünstigung ohne Berücksichtigung der Mineralölsteuer auf Kraftstoffe und schweres Heizöl mehr als das 1,2-fache der Entlastung durch die Senkung der Rentenversicherungsbeiträge durch die Ökosteuern beträgt, werden 95 Prozent des darüber hinausgehenden Betrages erstattet. Faktisch müssen damit mindestens drei Prozent des Regelsteuersatzes gezahlt werden (5 Prozent von 60 Prozent). Der Schienenbahnverkehr und der Verkehr mit Oberleitungsbussen werden mit einem auf nur 56 Prozent ermäßigten Stromsteuersatz belastet (1,142 Cent pro Kilowattstunde).

Zur Förderung einer umweltgerechten und effizienten Energieerzeugung enthält die aktuelle Gesetzgebung weitere Sonderregelungen, denn beispielsweise Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) haben oft das Potenzial, die eingesetzten Energieträger besser zu nutzen als herkömmliche Kraftwerke, da Strom und Wärme gemeinsam produziert werden können. Daher werden effiziente KWK-Anlagen mit einem monatlichen oder jährlichen Nutzungsgrad von mindestens 70 Prozent vollständig von der Mineralölsteuer (0,55 Cent pro Kilowattstunde bei Erdgas) befreit. Anlagen, die den Energiegehalt des verwendeten Mineralöls mindestens zu 60 Prozent nutzen, werden von dem Ökosteuern-Anteil (0,366 Cent pro Kilowattstunde bei Erdgas und 2,05 Cent pro Liter bei leichtem Heizöl) ausgenommen. Die Begünstigung der Produktion in KWK-Anlagen wird zusätzlich wesentlich durch das in Abschnitt 3.1.4. erläuterte KWK-Gesetz ergänzt.

Auch die besonders effizienten Gas- und Dampfturbinen(GuD)-Anlagen mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von mindestens 57,5 Prozent, die nach dem 31. Dezember 1999 fertiggestellt wurden und bis zum 11. März 2006 die dauerhafte Stromerzeugung aufgenommen haben, sind - auf 5 Jahre befristet - von der bestehenden Mineralölsteuer vollständig ausgenommen.

Steuerbefreit ist weiterhin die Entnahme von Strom aus Netzen, die vollständig aus erneuerbaren Energiequellen gespeist werden. Hier ist beispielsweise an ein Inselnetz zu denken, welches von den Netzen der öffentlichen Versorgung technisch getrennt ist.

Erneuerbare-Energien-Gesetzgebung

Das Erneuerbare Energien Gesetz trat erstmals am 01.04.2000 in Kraft und regelt die Abnahme und die Vergütung von ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenem Strom durch Versorgungsunternehmen, die Netze für die allgemeine Stromversorgung betreiben (Netzbetreiber). Das EEG sieht für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien degressive Vergütungen vor, die für mindestens 20 Jahre gewährt werden. Hierzu sind die Netzbetreiber verpflichtet, die unter das Gesetz fallenden Anlagen an das Netz anzuschließen, den gesamten angebotenen Strom dieser Anlagen vorrangig abzunehmen und zu den festgelegten Sätzen zu vergüten. Die hierdurch den Übertragungsnetzbetreibern entstehenden Kosten sind unter diesen auszugleichen.

Zum Zweck dieser Gesetzgebung wird im Gesetz zur Neuregelung des Rechts erneuerbarer Energien (EEG) gefordert: "[...] insbesondere im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, Natur und Umwelt zu schützen, einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten um fossile Energieressourcen zu leisten und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern [...]". Daneben wird ein Beitrag zur Erreichung übergeordneter spezifischer Ziele bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bezweckt.

KWK-Gesetz

Seit dem 1.4.2002 ist das sogenannte Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Gesetz) in Kraft getreten. Durch das Gesetz werden Anlagen, die Strom und Wärme in gekoppelter Produktion erzeugen, unter der Voraussetzung begünstigt, dass der gesamte Prozess einen gewissen Nutzungsgrad erreicht und nicht bereits durch das EEG gefördert wird.

Die Form der Begünstigung ist ein vom Netzbetreiber zu gewährender Zuschlag auf die üblichen Preise. Für das Jahr 2005 betragen diese Zuschläge zwischen 1,38 Cent pro Kilowattstunde und 2,56 Cent pro Kilowattstunde. Zur Berechnung der zuschlagsberechtigten Strommengen muss der eingespeiste KWK-Strom berechnet werden. Dies ist nicht ohne die Kenntnis der Nutzwärmeerzeugung möglich und erfordert anlagentypspezifische Berechnungsformeln, die in der von der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. fixierten Grundlegung definiert wurden.

Zweck des Gesetzes ist explizit die Minderung der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland in einer Größenordnung von 10 Millionen Tonnen bis zum Jahre 2005 und mindestens 20 Millionen Tonnen bis zum Jahre 2010.

2.3.2 Liberalisierung der Energiemärkte

Die Forderungen, welche sich aus der Europäischen Richtlinie für den Energiemarkt ergeben, wurden in Deutschland durch die Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts (EnWG/erstmalig am 29.04.1998 in Kraft getreten) in seiner aktualisierten Form vom 07.07.2005 und die 6. Kartellrechtsnovelle des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB/Inkrafttreten am 01.01.1999) umgesetzt.

Die Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts durch das EnWG löste in Deutschland die alte Regelung der Energiewirtschaft aus dem Jahr 1935 ab. Neben den herkömmlichen Zielen der sicheren und preisgünstigen Versorgung sind nun zum einen die Öffnung der deutschen Elektrizitäts- und Gaswirtschaft für den Wettbewerb und zum anderen die Erreichung des Kriteriums der Umweltverträglichkeit zentrale neue Ziele des Energiewirtschaftsrechts.

Die Umsetzung des Wettbewerbsziels wird durch die Aufhebung der Paragraphen 103 und 103a des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB in der Fas-

sung der 5. Kartellrechtsnovelle) und somit durch die Aufhebung der Freistellung vom allgemeinen Kartellverbot angestrebt. Damit sind nun sowohl vertikale und horizontale Demarkationsverträge als auch Ausschließlichkeitsbindungen in Konzessionsverträgen kartellrechtlich untersagt. Die durch die Binnenmarkttrichtlinien vorgeschriebene Entflechtung strebt eine erleichterte Aufsicht über die Energiewirtschaft an, deren Umsetzung für den Bereich der Elektrizitätswirtschaft durch das EnWG gewährleistet wird. Das EnWG beinhaltet in Bezug auf die EU-rechtlich vorgeschriebene Mindestmarktöffnung keine Mindestverbrauchswerte, welche den Anteil zugelassener Endverbraucher beschränken würden. Somit lässt sich aus diesem Blickwinkel eine vollständige Marktöffnung sowohl für die Stromwirtschaft als auch für die Erdgaswirtschaft feststellen.

Im einzelnen regelt das neue EnWG speziell die Entflechtung des Netzbereiches von den übrigen Bereichen der Energiewirtschaft, die Regulierung von Netzzugang und Netzentgelten und die Einrichtung einer Regulierungsbehörde entsprechend der Erfordernisse der Europäischen Richtlinie 2003/54 EG. Die Entflechtung des Netzbereiches von den übrigen Aktivitäten muss nach dem EnWG sowohl im Hinblick auf die Rechtsform und die Organisation als auch die Buchhaltung für Unternehmen mit mehr als 100 000 Kunden gewährleistet sein. Hinzu treten Bestimmungen zu einer nicht diskriminierenden Bereitstellung von Informationen. Ziel dieser Teile des Gesetzes ist, die Verwirklichung der Voraussetzungen, die zur Schaffung eines unverfälschten Wettbewerbs nötig sind, sicherzustellen.

Die Netzzugangs- und Netzentgeltregulierung unterliegt nun der Preiskontrolle, so dass im Ergebnis der unter den Unternehmen frei verhandelte Netzzugang (NTPA) obsolet geworden ist. So sind die Entgelte für den Netzzugang nun genehmigungspflichtig, und die Netznutzungsentgelte sollen kostenorientiert gebildet werden. Bei der Kostenorientierung wird auf eine effiziente Betriebsführung und eine angemessene Eigenkapitalverzinsung abgestellt. Die entsprechende Kalkulationsgrundlage wird weiterhin durch die Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen vorgegeben.

Die Missbrauchsaufsicht der ebenfalls im neuen EnWG vorgesehenen Regulierungsbehörde erlaubt eine zusätzliche Kontrolle der Entgeltbildung. Darüber hinaus ist vorgesehen, in einer Rechtsverordnung das System einer Anreizregulierung einzuführen, welche es vor allem den Netzbetreibern ermöglichen soll, durch effiziente Leistungserbringung zur Instandhaltung und zum Ausbau der Netze nötige Gewinne

zu erwirtschaften.

Die bisherige *Regulierungsbehörde Telekommunikation und Post* wurde durch das EnWG auch weitgehend mit der Regulierung der leitungsgebundenen Energien Strom und Gas beauftragt, sofern das betroffene Netz über Ländergrenzen hinausgeht oder mindestens 100 000 Kunden betroffen sind, und wurde weiterhin in *Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation und Post* umbenannt. Für kleinere, nicht über Ländergrenzen hinausgehende Netze sind im wesentlichen die Landesregulierungsbehörden zuständig. Durch die Einrichtung eines Länderausschusses in der Bundesnetzagentur soll für einen bundeseinheitlichen Vollzug gesorgt werden.

Ergänzt wird die Gesetzgebung durch spezielle Berichterstattungspflichten entsprechend der Europäischen RL. Insbesondere sind Angaben zur Zusammensetzung des Energieträgermixes und der Umweltauswirkungen zu machen sowie als Vergleichsmaßstab Durchschnittswerte der Stromerzeugung in Deutschland anzuführen.

2.4 Entwicklung auf den Strommärkten und dem Zertifikatemarkt

Infolge des Inkrafttretens der Emissionshandelsrichtlinie im Frühjahr 2005 und der Liberalisierung des Europäischen Elektrizitätsmarktes haben sich Europäische Handelsplätze für den Handel mit Zertifikaten und Strom herausgebildet. Dominierend sind Anfang August 2005 im Bereich des Handels mit Emissionsberechtigungen in der Reihenfolge ihrer Umsätze die European Climate Exchange (ECX) in Amsterdam, die nordische Onlinebörse Nordpool in Oslo, die französische Powernext in Paris sowie die European Energy Exchange (EEX) in Leipzig. Einen Überblick über die Entwicklung der Emissionszertifikatepreise gibt die untenstehende Abbildung 2.4.

Im Stromhandel waren die führenden Handelsplätze in der Reihenfolge ihrer Umsätze im ersten Halbjahr 2005 die Nordpool, die EEX und die Amsterdamer Power Exchange (APX). Dabei haben sich in den Bereichen stark unterschiedliche Preisentwicklungen eingestellt.

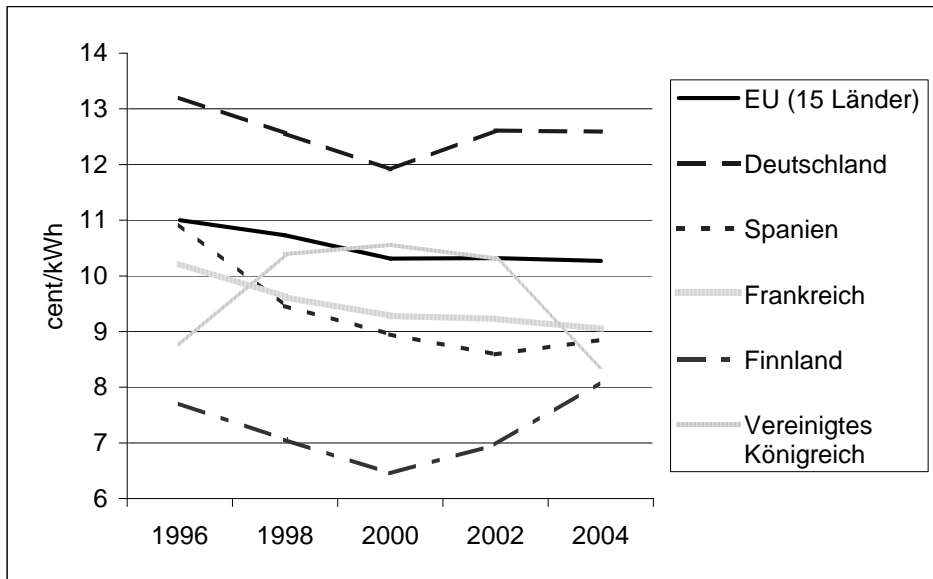


Abbildung 2.3: Entwicklung der Haushaltsstrompreise. Quelle: Eurostat 2005.

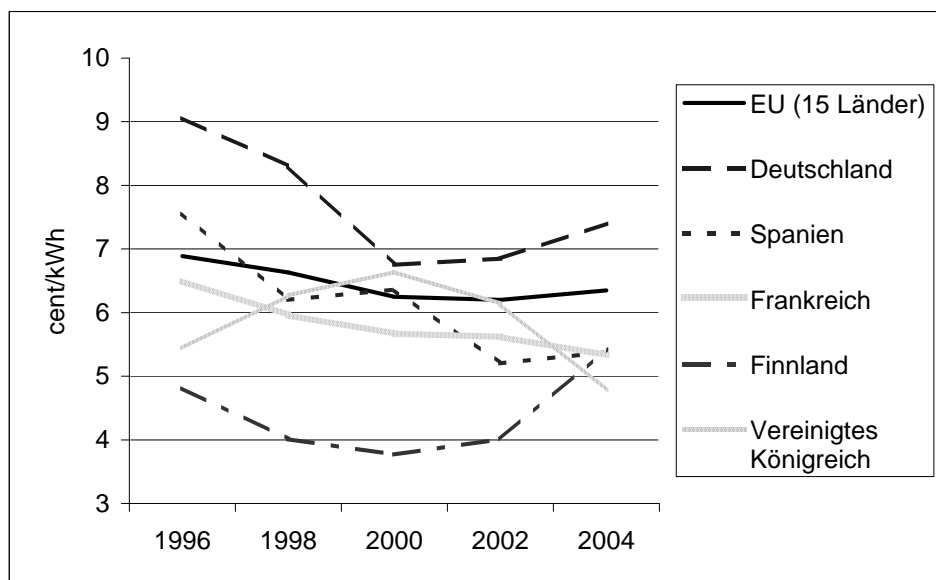


Abbildung 2.4: Entwicklung der Industriestrompreise. Quelle: Eurostat 2005.

Zusammenfassend lässt sich vor dem Hintergrund der Marktentwicklung festhalten, dass im Bereich des Emissionshandels von einem einheitlichen europäischen Markt gesprochen werden kann, während im Energiebereich faktisch weiterhin von separierten nationalen Märkten gesprochen werden muss.

Kapitel 3

Theoretische Analyse von umweltpolitischen Maßnahmen auf dem Energiemarkt

3.1 Einleitung

Die Untersuchung umweltpolitischer Instrumente hat in der ökonomischen Theorie eine lange Tradition. Seit Pigou (1932) ist bekannt, dass Steuern in Höhe des Grenzschadens bei Preisnehmerverhalten der Firmen zum sozialen Optimum führen. In diesem Fall entsprechen die Grenzkosten der Verringerung der schädlichen Emissionen der Summe der marginalen Zahlungsbereitschaften der Geschädigten für die Reduktion der Schäden.

Diese Aussage ist auf konzentrierte Märkte, wie sie beispielsweise im Bereich der Energiewirtschaft bestehen, nicht ohne weiteres übertragbar. In einer der ersten Arbeiten, die sich mit Umweltsteuern im Monopol beschäftigt, kommt Buchanan (1969) zu dem Schluss, dass eine Steuer zur Internalisierung externer Kosten grundsätzlich abzulehnen ist, da der bei Preisnehmerverhalten optimale Steuersatz im Monopol nicht mehr optimal ist. Eine detailliertere Analyse findet sich bei Barnett (1980). Er zeigt klar die Natur des Problems auf, bei dem zwei Marktunvollkommenheiten zusammentreffen. Einerseits produziert ein monopolistisches Unternehmen einen zu

geringen Output an Gütern. Andererseits führen die externen Kosten der Produktion tendenziell zu einem zu hohen Ausstoß an Schadstoffen. "Thus there may be tradeoffs between the two distortions, one due to monopolistic underproduction and the other due to external diseconomies. A tax based only on marginal external damages ignores the social costs of further output contraction [...]" (Barnett (1980), S. 1037).

Zur Lösung des Problems sollten zwei Politikinstrumente genutzt werden: Eines für die Korrektur der Ineffizienzen, die durch die kostenlose Schadstoffemission entsteht, und eines zur Korrektur der durch Marktmacht verursachten Störung des Gütermarktes. Letzteres würde eine Subvention der Produktion des Monopolisten bedeuten und ist als Option eher von theoretischem Interesse. Steht jedoch nur ein Instrument zur Korrektur von zwei Marktunvollkommenheiten zur Verfügung, lässt sich nicht immer eine erstbeste Lösung erreichen. Allerdings schließt dieses Resultat Wohlfahrtsverbesserungen durch eine Emissionsbesteuerung nicht aus, wie dies die Arbeit von Buchanan nahelegt.

An diese Ergebnisse anknüpfende Analysen betrachten auch Fälle, in denen einige wenige Anbieter auf den Outputmärkten konkurrieren. Bei Ebert (1992) findet sich eine solche Analyse, die eine Vielzahl von Modellierungen beinhaltet. Es werden die Fälle mit und ohne Vermeidungsmöglichkeiten behandelt und zudem wird die Cournotverhaltensannahme durch eine generellere Reaktionsannahme der Oligopolisten bezüglich des Verhaltens ihrer Konkurrenten ergänzt. Durch dieses Modell wird die gesamte Bandbreite von möglichen Reaktionen der Wettbewerber auf eigene Outputänderungen zwischen Cournot-Nashverhalten und Verhalten bei vollständiger Konkurrenz abgebildet. Im Ergebnis kann gezeigt werden, dass der optimale Steuersatz in allen Fällen dieselbe Struktur aufweist und aus zwei Termen besteht: einem Term, der die Grenzschäden der Produktion des Outputgutes reflektiert, und einem Term, der von der Marktstruktur abhängig ist.

Im theoretischen Teil der vorliegenden Analyse wird im Gegensatz zu den genannten Arbeiten die Wirkung von Mehrfachregulierungen untersucht. Im Vordergrund steht hierbei die Betrachtung des Zusammenspiels von den emissionsbasierten Instrumenten Emissionszertifikatemarkt und Emissionssteuer mit den outputbasierten Instrumenten Outputsteuer, Einspeisevergütung für erneuerbare Energien und KWK-Bonus. Hierzu wird jedes der outputbasierten Instrumente im Hinblick auf dessen Wirkung auf die Unternehmen und die Wohlfahrt analysiert. Zur Untersu-

chung der Unternehmen wird davon ausgegangen, dass es für diese belanglos ist, ob der Preis für Emissionen durch einen Zertifikatemarkt oder durch eine Emissionssteuer entsteht. Bei der Wohlfahrtsanalyse müssen die emissionsbasierten Instrumente hingegen unterschieden werden. Der Unterschied in der Wirkung der beiden Instrumente entsteht dadurch, dass die Gesamtemissionen bei bindendem Emissionshandel durch zusätzliche Instrumente nicht beeinflussbar sind, während die Gesamtemissionen bei Emissionsbesteuerung durch zusätzliche Instrumente beeinflussbar sind. Hieraus ergeben sich bei der Emissionsbesteuerung über die Schadensfunktion Wohlfahrtseffekte. Die Analyse der Outputsteuer bei gleichzeitiger Emissionsbesteuerung entspricht zudem der Situation vor Einführung des Emissionshandels, wenn für die Emissionsbesteuerung ein Steuersatz von Null angenommen wird. Dadurch wird ein direkter Vergleich der optimalen Ausgestaltung der Instrumente vor und nach Einführung des Emissionshandels möglich.

Der Theoretische Teil der Arbeit ist wie folgt aufgebaut. Nach der sich diesem Abschnitt anschließenden Einführung in die grundlegenden Annahmen in Abschnitt 3.2 werden die optimalen Regulierungsätze für die Outputsteuer, die Einspeisevergütung für erneuerbare Energien und den KWK-Bonus sowohl bei zusätzlicher Regulierung durch einen Emissionszertifikatehandel als auch bei zusätzlicher Regulierung durch eine Emissionssteuer hergeleitet und insbesondere untersucht, unter welchen Bedingungen das Vorzeichen der optimalen Regulierungsätze positiv oder negativ ist.

In Abschnitt 3.3 beginnen wir mit der Untersuchung der optimalen uniformen Outputsteuer. In Deutschland ist die existierende Ökosteuern jedoch nicht uniform, sondern sektoral differenziert. Daher wird im Abschnitt 3.4 der Fall einer Outputsteuer mit möglicherweise unterschiedlichen Steuersätzen auf Gütermärkten mit unterschiedlichen Nachfrageelastizitäten betrachtet. Es werden die optimalen Steuersätze für beide Märkte hergeleitet und die gegenseitige Abhängigkeit der optimalen Steuersätze für die Fälle der zusätzlichen Regulierung durch Emissionszertifikatehandel und Emissionssteuer untersucht.

Im Anschluss wird die optimale Einspeisevergütung für erneuerbare Energien in Abschnitt 3.5 untersucht. Hier handelt es sich bei den erneuerbaren Energien annehmegemäß um Technologien, denen durch die Einspeisevergütung erst der Marktzugang ermöglicht wird und für die der Einspeisevergütungstarif den relevanten Preis darstellt. Abweichend von den anderen outputbasierten Instrumenten wird folglich nicht das Vorzeichen der optimalen Tarifierung untersucht, sondern unter

welchen Bedingungen der optimale Einspeisevergütungstarif größer oder kleiner als der Marktpreis ist, den wir für die übrige Industrie erhalten.

Gegenstand des Abschnitts 3.6 ist die KWK-Gesetzgebung, die die Produktion von Strom in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen durch einen anteilig durch den gesamten Stromproduktionssektor aufzubringenden KWK-Bonus begünstigt. Es werden der optimale KWK-Bonus hergeleitet und die Abhängigkeit des Vorzeichens des optimalen KWK-Bonus von den Technologie- und Nachfrageeigenschaften analysiert. Der theoretische Teil der Arbeit wird in Abschnitt 3.7 mit einer Zusammenfassung der erhaltenen Ergebnisse abgeschlossen.

3.2 Grundlegende Annahmen

Gegenstand der theoretischen Analyse sind bis zu zwei Märkte, auf denen mitunter mehrere Güter unter vollständiger und/oder unvollständiger Konkurrenz gehandelt werden. Es existieren k konventionelle Firmen und l alternative Firmen. Die Produktion der konventionellen Firmen sowie die Produktion der Mehrproduktfirmen sind mit der Emission von Schadstoffen verbunden, während die Produktion der alternativen Firmen nicht zu Emissionen führt. Die Präferenzen der Konsumenten werden durch inverse Nachfragefunktionen und die gesellschaftliche Schadensfunktion repräsentiert. Bezüglich der ersten Ableitungen $P'(Q)$ und $P''(Q)$ der inversen Nachfrage $P(Q)$ wird angenommen, dass die Bedingung $-P'(Q) > P''(Q)Q$ grundsätzlich erfüllt wird und somit die Steigungselastizität der inversen Nachfrage¹ $E \equiv \left| \frac{P''(Q)Q}{P'(Q)} \right|$ nicht größer als eins ist.

3.2.1 Kosten-, Emissions- und Verhaltensannahmen

Die Firmen werden durch die Kostenfunktionen, die mit der Produktion eventuell verbundenen Emissionen sowie durch die Annahmen bezüglich ihres Verhaltens vollständig charakterisiert. Grundsätzlich lassen sich die Kosten in Kosten der konventionellen Technologie, Kosten der alternativen Technologie und Kosten der Mehrproduktproduktion unterteilen.

¹Vgl. Shapiro (1989) S. 341 und die dort angegebene Literatur.

Für die Repräsentation der grundsätzlich mit Emissionen e verbundenen konventionellen Produktion q bestehen zwei Möglichkeiten. Die erste Technologierepräsentation lässt sich als Produktion mit Möglichkeiten zur Vermeidung bezeichnen. Die Kostenfunktionen werden dann als $C(q, e)$ geschrieben. In diesem Fall kann von jeder Firma ein gewisses Outputniveau mit verschiedenen Emissionsniveaus erreicht werden. Die üblichen Annahmen bezüglich der Kostenfunktionen lauten, da wir unterstellen, dass die Emissionen e immer geringer als die kostenminimalen Emissionen sind: $C_q(q, e) > 0$, $C_e(q, e) < 0$, $C_{qq}(q, e) > 0$, $C_{qe}(q, e) < 0$, $C_{ee}(q, e) > 0$ und $C_{qq}C_{ee} - C_{eq}^2 > 0$. Die negative Kreuzableitung der Kostenfunktion, $C_{qe}(q, e) < 0$, unterstellt also, dass die Grenzkosten der Produktion bei einer Erhöhung der Emissionen sinken.

Die zweite Möglichkeit zur Repräsentation der konventionellen Produktion besteht darin, dass der Güteroutput und die Emissionen in konstantem Verhältnis zu einander stehen. Dieser Typus wird als Produktion ohne Vermeidungsmöglichkeiten bezeichnet, da ein bestimmter Output zu einer unveränderlichen, zu dem Output proportionalen Menge an Emissionen führt. Die entsprechende Kostenfunktion lässt sich als $C(q)$ mit den spezifischen Emissionen $e = \mu q$ schreiben. Bei der Untersuchung der Outputsteuer wird angenommen, dass es sich bei diesen Funktionen um im Output konvexe Funktionen handelt, dass also $C_q(q) > 0$ und $C_{qq}(q) > 0$ gilt. Bei der Untersuchung des KWK-Bonus in der auch Mehrproduktunternehmen betrachtet werden, erfolgt die getrennte Produktion mit linearer Technologie mit konstanten Grenzkosten und Grenzemissionen c^q, e^q der ungekoppelten Stromproduktion q und konstanten Grenzkosten und Grenzemissionen c^v, e^v der ungekoppelten Wärmeproduktion v . Zur Vereinfachung der Darstellung werden die mit einem Emissionspreis p_e verbundenen Gesamtkosten der jeweiligen Produktion, $c^q q + p_e e^q q$ und $c^v v + p_e e^v v$ auch mit $ce^q q$ und $ce^v v$ abgekürzt.

Die alternative Produktion stellt die einzige Technologie dar, deren Kosten annahmegemäß nicht mit Emissionen verbunden sind, und diese werden als $C(a)$ geschrieben und genügen den üblichen Annahmen: $C_a(a) > 0$, $C_{aa}(a) > 0$.

Bei der gekoppelten Produktion von Strom a und Wärme w in einem Prozess wird unterstellt, dass das Grenzprodukt jeweils eines Gutes durch eine größere Produktion des jeweils anderen Gutes negativ beeinflusst wird. Dieser Zusammenhang wird als Substituierbarkeit des Outputs bezeichnet und hat zur Folge, dass die Grenzkosten der Produktion des einen Gutes sich erhöhen, wenn die Produktion des anderen Gu-

tes steigt, sodass insgesamt für die Kostenfunktion $C(a, w)$ einer Mehrproduktunternehmung angenommen wird, dass sie den folgenden Annahmen genügt: $C_a(a, w) > 0$, $C_{aa}(a, w) > 0$, $C_w(a, w) > 0$, $C_{ww}(a, w) > 0$ und $C_{aa}C_{ww} - C_{wa}^2 > 0$. Für die Kreuzableitung der Kostenfunktion $C_{aw}(a, w)$ gilt zusätzlich $C_{aw}(a, w) = C_{wa}(a, w) > 0$. Im Hinblick auf die bei der gekoppelten Produktion entstehenden Emissionen nehmen wir eine qualitativ identische Beeinflussung der Emissionen durch die Wahl von Strom a und Wärme w an. Es wird also angenommen, dass $E_a(a, w) > 0$, $E_w(a, w) > 0$, $E_{aa}(a, w) > 0$, $E_{ww}(a, w) > 0$, $E_{aw}(a, w) = E_{wa}(a, w) > 0$ und $E_{aa}(a, w)E_{ww}(a, w) - E_{aw}^2(a, w) > 0$ gilt. Zur Vereinfachung der Darstellung werden die mit einem Emissionspreis p_e verbundenen Gesamtkosten der Produktion, $C(a, w) + p_e E(a, w)$, auch als $CE(a, w)$ bezeichnet.

Die gesamten Produktionsmengen eines Produktionstyps werden mit großen Buchstaben abgekürzt - insbesondere gilt für die Untersuchung der Fälle in denen mit alternativer und konventioneller Technologie produziert wird: $Q = \sum_{i=1}^k q^i$, und $A = \sum_{j=1}^n a^j$ - , wobei q^i die Produktion eines der k konventionellen Produzenten und a^j die Produktion eines der n alternativen Produzenten bezeichnet. Die Summe der Produktion des Gutes wird mit $X = Q + A$ bezeichnet. Weiterhin ergeben sich die Gesamtemissionen aus der Summe der einzelnen Emissionen e^i der k konventionellen Produzenten: $E = \sum_{i=1}^k e^i$. Die gesamte Produktion der konventionellen Produzenten bis auf die des Produzenten i wird mit q^{-i} sowie die gesamten Emissionen der konventionellen Produzenten bis auf die des Produzenten i mit e^{-i} abgekürzt.

Die gesamten Produktionsmengen eines Produktionstyps werden auch bei der Berücksichtigung von Mehrproduktunternehmen mit großen Buchstaben abgekürzt. Insbesondere gilt in diesem Fall $Q = \sum_{i=1}^k q^i$, $A = \sum_{i=1}^k a^i$, $W = \sum_{i=1}^k w^i$, $V = \sum_{i=1}^k v^i$, und die Summe der Produktion des ersten Gutes wird mit $X = Q + A$ und die Summe der Produktion des zweiten Gutes des Anbieters i wird mit $h^i = w^i + v^i$ bezeichnet. Die Gesamtproduktion des ersten Gutes bis auf die Produktion des Erzeugers i wird als X^{-i} bezeichnet und berechnet sich als die Summe der Produktion des ersten Gutes von sämtlichen Produzenten bis auf die des Produzenten i in gekoppelter und ungekoppelter Produktion - a^{-i} und q^{-i} - wie folgt: $X^{-i} = \sum_{j \neq i} x^j = \sum_{j \neq i} a^j + \sum_{j \neq i} q^j$. Weiterhin ergeben sich die gesamten Emissionen aus der Summe der einzelnen

Emissionen: $E = \sum_{i=1}^k (e^q q^i + E^i(a^i, w^i) + e^v v^i)$.

Die Funktion $S(E)$ bildet den gesamten Schaden, der durch die gesamten Emissionen E entsteht, ab. Es wird angenommen, dass der Grenzschaten der Emissionen konstant und positiv ist und somit $S'(E) > 0$ sowie $S''(E) = 0$ gilt.

Bei der Analyse werden zwei unterschiedliche Typen von Verhaltensweisen unterstellt. Einerseits gibt es unter Umständen Firmen, welche aufgrund ihrer im Vergleich mit dem gesamten Markt geringen Größe annehmen, dass sie den Marktpreis durch ihre Produktionsentscheidung nicht beeinflussen und sich dementsprechend als Preisnehmer verhalten. Andererseits wählen Firmen mit einem erheblichen Marktanteil eine Cournot-Mengenstrategie - im Folgenden Cournotverhalten genannt.

3.2.2 Wohlfahrt

In Bezug auf die Wohlfahrt wird angenommen, dass diese additiv separabel in ihren Argumenten - dem Nutzen des Konsums einerseits sowie den Kosten und Schäden der Produktion und der Emission andererseits - ist. Somit werden die zugrundeliegenden Präferenzen als quasi-linear angenommen. Die Wohlfahrt in der einfachsten Form des Modells lässt sich schreiben als:

$$W = \int_0^Q P(Z) dz - \sum_{i=1}^k C^i(q^i, e^i) - S(E). \quad (3.1)$$

Sind die Emissionen bei Vorliegen eines bindenden Emissionszertifikatemarktes nicht veränderbar, reduziert sich die Wohlfahrt auf folgenden Ausdruck:

$$W = \int_0^Q P(Z) dz - \sum_{i=1}^k C^i(q^i, e^i). \quad (3.2)$$

3.3 Die einheitliche Outputsteuer

Für die Analyse der Ökosteuern wird unterstellt, dass diese einer reinen Outputsteuer entspricht, welche die Produktion proportional zum Output belastet und daher im theoretischen Teil ausschließlich mit Outputsteuer bezeichnet wird. Hinzu kommt die Regulierung durch das Emissionshandelssystem oder - um einen Vergleich der Wirkungen zu ermöglichen - eine Emissionssteuer. Für das Verhalten der Unternehmen besteht, bei exogenen Emissionszertifikatpreisen, zwischen Emissionshandel und Emissionssteuer kein Unterschied. Durch den Emissionshandel sowie durch eine Emissionssteuer werden die Unternehmen proportional zum Umfang ihrer Emissionen belastet und der Emissionspreis p_e wird als exogen gegeben angenommen. Es werden zwei Fälle der Ausgestaltung der Outputsteuer analysiert. Begonnen wird mit einem Grundmodell und der Untersuchung der Situation, in der nur eine Gruppe von Nachfragern existiert und der Staat dementsprechend nur einen einheitlichen Steuersatz erhebt.

Daran anschließend wird der Fall unterschiedlicher Nachfragesegmente und der Möglichkeit der Erhebung von differenzierten Steuersätzen betrachtet. Diese Verfeinerung des Grundmodells ist von besonderer Relevanz, weil erstens bei unterschiedlichen Nachfrageelastizitäten in den Sektoren eine differenzierte Steuer gegenüber einer undifferenzierten Steuer in Bezug auf die Wohlfahrtswirkung überlegen sein kann und weil zweitens - wie in Kapitel 2 beschrieben - eine Differenzierung der gegenwärtigen Situation in Deutschland entspricht.

3.3.1 Die Unternehmen bei Outputbesteuerung und Emissionspreisen

Wenn Vermeidungsmöglichkeiten unterstellt werden, lassen sich die Gewinngleichungen der k konventionellen Oligopolisten formulieren als

$$\pi^i(q^i, q^{-i}, e^i, e^{-i}) = P(Q)q^i - C(q^i, e^i) - \tau q^i - p_e e^i, \quad i = 1 \dots k \quad (3.3)$$

Durch Ableitung nach den Entscheidungsvariablen q^i und e^i der Unternehmen ergibt sich in einem Cournot-Nash-Gleichgewicht:

$$\pi_q^i(q^i, q^{-i}, e^i, e^{-i}) = P'(Q)q^i + P(Q) - C_q^i(q^i, e^i) - \tau = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.4)$$

als Optimalitätsbedingung erster Ordnung bei der Wahl der Outputmenge und

$$\pi_e^i(q^i, q^{-i}, e^i, e^{-i}) = -C_e(q^i, e^i) - p_e = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.5)$$

als Optimalitätsbedingung erster Ordnung bei der Wahl der Emissionen.

Liegt ein Nash-Gleichgewicht in Cournotstrategien vor, so stellen die durch die Optimalitätsbedingungen (3.4) und (3.5) beschriebenen Verhalten wechselseitig beste Antworten dar. Bei Symmetrie der Unternehmen reduziert sich das durch (3.4) und (3.5) beschriebene Gleichgewicht bei Unterdrückung der Firmenindizes auf folgende Gleichungen:

$$\pi_q(q, e) = P'(Q)q + P(Q) - C_q(q, e) - \tau = 0 \quad (3.6)$$

und

$$\pi_e(q, e) = -C_e(q, e) - p_e = 0. \quad (3.7)$$

Eine komparativ statische Analyse führt zu den Reaktionen der Firmen auf eine Änderung der Outputsteuer im Gleichgewicht. Werden die Gleichungen (3.6) und (3.7) nach der Outputsteuer differenziert, erhält man die Gleichungen:

$$(P''(Q)qk + (k+1)P'(Q) - C_{qq}(q, e)) \frac{\partial q}{\partial \tau} - C_{qe}(q, e) \frac{\partial e}{\partial \tau} - 1 = 0 \quad (3.8)$$

und

$$-C_{eq}(q, e) \frac{\partial q}{\partial \tau} - C_{ee}(q, e) \frac{\partial e}{\partial \tau} = 0. \quad (3.9)$$

Löst man dieses Gleichungssystem, so ergeben sich die eindeutig negativen komparativ-statischen Effekte:

$$\frac{\partial q}{\partial \tau} = \frac{C_{ee}}{C_{ee}(kqP'' + (k+1)P') - C_{ee}C_{qq} + C_{eq}^2} < 0 \quad (3.10)$$

und

$$\frac{\partial e}{\partial \tau} = \frac{-C_{eq}}{C_{ee}(kqP'' + (k+1)P') - C_{ee}C_{qq} + C_{eq}^2} < 0. \quad (3.11)$$

Die Negativität der beiden komparativ-statischen Effekte ergibt sich direkt aus den getroffenen Annahmen. Zu einer einfachen Interpretation lassen sich die Gleichungen (3.10) und (3.11) zueinander ins Verhältnis setzen. Division von Gleichung (3.10) durch (3.11) ergibt die Änderung der spezifischen Emissionen pro Outputeinheit bei einer Änderung des Steuersatzes:

$$\frac{\partial e / \partial \tau}{\partial q / \partial \tau} = \frac{-C_{eq}}{C_{ee}}. \quad (3.12)$$

Dies entspricht dem Verhältnis der Ableitungen der Grenzvermeidungskosten einerseits nach der Emission und andererseits nach dem Output. Somit ist die Reaktion der Firmen auf eine Steuererhöhung von der Krümmung der Vermeidungskosten abhängig.

3.3.2 Die optimale Outputsteuer bei Emissionshandel

Ziel der Regierung ist es, die Wohlfahrt zu maximieren, indem sie die für sie zur Verfügung stehenden Politikinstrumente, hier die Outputsteuer, optimal wählt. Die Zielfunktion lässt sich, wenn Symmetrie der Unternehmen unterstellt wird, wie folgt darstellen:

$$\max_{\tau} W = \int_0^Q P(z) dz - kC(q, e), \quad (3.13)$$

da die Schäden durch Emissionen bei bindendem Zertifikatemarkt nicht beeinflussbar sind und somit nur die Konsumentenrente und die Produktionskosten relevant sind.

Fasst man die Wohlfahrt als Funktion der Outputsteuer τ auf und differenziert nach dieser, ergibt sich:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = (P - C_q(q, e))k \frac{\partial q}{\partial \tau} - C_e(q, e)k \frac{\partial e}{\partial \tau} = 0. \quad (3.14)$$

Durch Umformung und Einsetzen der Verhaltensgleichungen der Unternehmen (3.6) und (3.7) in (3.14) erhält man, wenn der Emissionszertifikatepreis σ als Emissionspreis genutzt wird:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = (\tau - P'(Q)q)k \frac{\partial q}{\partial \tau} + \sigma k \frac{\partial e}{\partial \tau} = 0. \quad (3.15)$$

Auflösen nach dem optimalen Outputsteuersatz ergibt:

$$\tau^* = P'(Q)q - \sigma \frac{\partial e / \partial \tau}{\partial q / \partial \tau}. \quad (3.16)$$

Der Bruch des letzten Terms in (3.16) $\frac{\partial e / \partial \tau}{\partial q / \partial \tau}$ stellt die marginalen spezifischen Emissionen² dar. Nun lassen sich sowohl Situationen analysieren, in denen Vermeidungsaktivitäten, d.h. Änderungen der spezifischen Emissionen möglich sind, als auch

²Die Emissionen pro Outputseinheit werden allgemein auch als spezifische Emissionen bezeichnet.

Bedingungen, in denen die spezifischen Emissionen, zum Beispiel technisch bedingt, vorgegeben sind. Für letzteren Fall ergibt sich

$$\tau^* = P'(Q)q - \sigma\mu \quad (3.17)$$

mit den konstanten spezifischen Emissionen μ . Existieren Vermeidungsmöglichkeiten, so lässt sich Gleichung (3.17) mittels des Ausdruckes (3.12) umschreiben. Nach Einsetzen von (3.12) in (3.17) erhält man

$$\tau^* = P'(Q)q + \sigma \frac{C_{eq}}{C_{ee}} < 0 \quad (3.18)$$

oder in Elastizitätenschreibweise mit der Nachfrageelastizität $\epsilon \equiv \left| \frac{dQ}{dP(Q)} \frac{P(Q)}{Q} \right|$

$$\tau^* = -\frac{P}{k\epsilon} + \sigma \frac{C_{eq}}{C_{ee}} < 0. \quad (3.19)$$

Der erste Term auf der rechten Seite der Gleichung in (3.18) ist der Mark-up des Oligopolunternehmens, also die Differenz von Gleichgewichtspreis und der Summe aus Grenzkosten und Outputsteuer, mit umgekehrten Vorzeichen. Dieser eindeutig negative Term ist dem Betrage nach umso größer, je größer der Marktanteil $\frac{Q}{k} = q$ der Unternehmen ist und entspricht bei Abwesenheit von externen, produktionsbedingten Schäden sowie bei Abwesenheit zusätzlicher Instrumente der optimalen in diesem Fall negativen Outputsteuer. Durch die Elastizitätenformulierung (3.19) wird ersichtlich, dass die entsprechende optimale Outputsubventionierung umso höher ausfällt je geringer die Nachfrageelastizität ϵ und je kleiner die Anzahl der Oligopolisten k ist. Die Intuition für dieses Ergebnis ist, dass der wohlfahrtsmaximierende Planer eine Subvention so wählt, dass die Produktionseffizienz $P(Q) = C_q$ erreicht wird.

Der zweite Term auf der rechten Seite der Gleichung in (3.19) ist bei positivem Emissionszertifikatpreis σ aufgrund von $C_{eq} < 0$ und $C_{ee} > 0$ ebenfalls negativ und dessen Absolutbetrag ist umso größer, je stärker die Grenzkosten der Produktion von den Emissionen abhängen, je geringer die Steigung der Vermeidungskosten ist und je höher der Emissionszertifikatpreis ist. Intuitiv lässt sich dieses Ergebnis damit erklären, dass der wohlfahrtsmaximierende Planer versucht, den negativen Outputeffekt des Zertifikatemarktes durch eine Subvention zu beheben.

Insgesamt ergibt sich somit eine negative optimale Outputsteuer für alle positiven Emissionszertifikatpreise. Mit anderen Worten ist die Steuer in eine Subvention umzuwandeln, wenn ein bindender Zertifikatemarkt eingeführt wird.

3.3.3 Die optimale Outputsteuer bei Emissionsbesteuerung

Bei Gegenwart einer exogenen Emissionssteuer τ_e ist es wiederum das Ziel der Regierung, die Wohlfahrt zu maximieren, indem sie die Outputsteuer optimal wählt. Die Zielfunktion beinhaltet nun auch die durch die Regulierung beeinflussbaren Schäden durch Emissionen und lässt sich bei unterstellter Symmetrie der Unternehmen wie folgt darstellen:

$$\max_{\tau} W = \int_0^Q P(z) dz - kC(q, e) - S(E). \quad (3.20)$$

Fasst man die Wohlfahrt als Funktion der Outputsteuer τ auf und differenziert nach dieser, ergibt sich:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = (P - C_q(q, e))k \frac{\partial q}{\partial \tau} + (-C_e(q, e) - S')k \frac{\partial e}{\partial \tau} = 0. \quad (3.21)$$

Durch Umformung und Einsetzen der Verhaltensgleichungen (3.6) und (3.7) der Unternehmen in (3.21) erhält man bei Verwendung der Emissionssteuer τ_e als Emissionspreis:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = (\tau - P'(Q)q)k \frac{\partial q}{\partial \tau} + (\tau_e - S')k \frac{\partial e}{\partial \tau} = 0. \quad (3.22)$$

Auflösen nach der Outputsteuer ergibt:

$$\tau^* = P'(Q)q + (S' - \tau_e) \frac{\partial e / \partial \tau}{\partial q / \partial \tau}. \quad (3.23)$$

Der Bruch des letzten Terms in Gleichung (3.23) stellt die marginalen spezifischen Emissionen dar. Somit lassen sich - wie im vorangegangenen Abschnitt - sowohl Situationen analysieren, in denen Vermeidungsaktivitäten möglich sind, als auch Situationen, in denen die spezifischen Emissionen konstant μ sind. Für letzteren Fall ergibt sich

$$\tau^* = P'(Q)q + (S' - \tau_e)\mu. \quad (3.24)$$

Existieren Vermeidungsmöglichkeiten, so lässt sich Gleichung (3.24) mittels des Ausdrucks (3.12) umschreiben. Nach Einsetzen von (3.12) in (3.23) erhält man

$$\tau^* = P'(Q)q - (S' - \tau_e) \frac{C_{eq}}{C_{ee}} \quad (3.25)$$

oder in Elastizitätenschreibweise mit der Nachfrageelastizität $\epsilon \equiv \left| \frac{dQ}{dP(Q)} \frac{P(Q)}{Q} \right|$

$$\tau^* = -\frac{P}{k\epsilon} - (S' - \tau_e) \frac{C_{eq}}{C_{ee}}. \quad (3.26)$$

Ausdruck (3.25) zeigt, dass die Höhe der optimalen Outputsteuer von der Differenz zwischen Emissionszertifikatepreis und Grenzscha-den, der Steigung der inversen Nachfrage, der Marktstruktur und der Krümmung der Vermeidungskostenkurven abhängt. In der Elastizitätenformulierung (3.26) wird deutlich, dass die optimale Outputsteuer umso höher ausfällt, je größer die Nachfrageelastizität ϵ und je höher die Anzahl der Oligopolisten k ist.

Für den Fall durch die Emissionssteuer nicht internalisierter Schäden lassen sich die Gleichungen (3.25) und (3.26) folgendermaßen interpretieren. Im Optimum der Outputsteuer entspricht die Nutzeneinbuße einer mit einer höheren Outputsteuer verbundenen Outputsenkung der Einsparung nicht internalisierter Schäden durch die induzierte Emissionssenkung. Bestehen durch die Emissionssteuer nicht internalisierte externe Effekte, wägt der soziale Planer also im Gegensatz zu dem Fall des Emissionshandels zwischen den durch die Outputsteuer induzierten Effekten auf Produktion und Emission ab.

3.4 Die differenzierte Outputbesteuerung

Die Analyse der optimalen Outputsteuer zeigt deren Abhängigkeit von der Elastizität der Nachfrage bei oligopolistischem Wettbewerb. Zur Untersuchung eines in Teilmärkte fragmentierten Marktes unterstellen wir Nachfragegruppen mit unterschiedlichen Nachfrageelastizitäten, die untereinander das Gut nicht handeln können. Somit liegt es nahe, dass die optimale Outputsteuer sich für die einzelnen Märkte unterscheidet. Daher untersuchen wir nun den Fall der Implementierung eines für jeden Teilmarkt r spezifischen Steuersatzes τ_r .

3.4.1 Die Unternehmen bei Outputsteuerdifferenzierung und Emissionspreisen

Die Firmen produzieren mit einer Technologie für die getrennten Märkte $r = 1, 2$, wobei sich das gesamte Angebot der Firma i aus der Summe der Angebote auf beiden Märkten ergibt: $q^i = q_1^i + q_2^i$. Die Gewinngleichungen der Unternehmen lassen sich, da sich das gesamte Angebot auf einem Markt aus der Summe der Angebote aller Firmen auf diesem Markt ergibt, $Q_r = \sum_{i=1}^k q_r^i$, schreiben als:

$$\pi^i(q_r^i, q_r^{-i}, e^i, e^{-i}) = \sum_{r=1}^2 P_r(Q_r)q_r^i - \tau_r q_r^i - C^i(q^i, e^i) - p_e e^i, \quad i = 1..k, \quad (3.27)$$

wobei der Emissionspreis, der entweder durch Emissionsbesteuerung oder Emissionshandel entsteht, wiederum mit p_e bezeichnet wird. Die Ableitung der Gewinnfunktionen führt zu folgenden Bedingungen erster Ordnung³:

$$\pi_{q_r^i}^i(q_r^i, q_r^{-i}, e^i, e^{-i}) = P_r'(Q_r)q_r^i + P_r(Q_r) - C_q^i(q^i, e^i) - \tau_r = 0, \quad r = 1, 2, i = 1..k. \quad (3.28)$$

Aus dieser Gleichung folgt, dass jede Firma die Nettogrenzerlöse auf den Märkten angleicht, und folglich ergeben sich bei identischen Nachfragen und Marktanteilen auf den Märkten unterschiedliche Bruttogrenzerlöse, wenn unterschiedliche Steuersätze auf den Märkten eingeführt werden. In Hinblick auf die Emissionen bleibt

³Die Optimalitätsbedingungen zweiter Ordnung sind durch die Annahmen zu den Kosten- und Nachfragefunktionen erfüllt.

die Verhaltensgleichung formal identisch mit der entsprechenden Gleichung bei einem einheitlichen Markt:

$$\pi_e^i(q_r^i, q_r^{-i}, e^i, e^{-i}) = -C_e(q^i, e^i) - p_e = 0, \quad i = 1..k. \quad (3.29)$$

Die formale Identität der Ausdrücke bedeutet nicht, dass die resultierenden Emissionen ebenfalls unverändert bleiben, denn bei identischen Emissionspreisen werden zwar die Grenzvermeidungskosten in beiden Fällen identisch gewählt, aber Änderungen der gesamten Produktion beeinflussen die Grenzvermeidungskosten und können Änderungen der absoluten Emissionen gegenüber dem Fall einer einheitlichen Outputsteuer bewirken.

Unterstellen wir wiederum symmetrische Firmen und das Vorliegen eines inneren Cournot-Nash-Gleichgewichtes, so werden die Optimalitätsbedingungen aller Firmen erfüllt und lassen sich auf folgende Gleichungen reduzieren:

$$\pi_{q_r}(q_r, e) = P'_r(Q_r)q_r + P_r(Q_r) - C_q(q, e) - \tau_r = 0, \quad r = 1, 2, \quad (3.30)$$

$$\pi_e(q, e) = -C_e(q, e) - p_e = 0. \quad (3.31)$$

Die komparativ-statische Analyse gibt Aufschluss über die optimale Änderung der Entscheidungsvariablen der Firmen q_1 , q_2 und e bei Änderung des Steuersatzes auf jeweils einem der Märkte. Die folgende Behandlung der Outputsteuer auf dem ersten Markt liefert bis auf die Vertauschung der Marktindizes die selben Ergebnisse wie die der Steuer auf dem zweiten Markt. Die Ableitung der Optimalitätsbedingungen erster Ordnung (3.30) und (3.31) bezüglich des Verhaltens der Firmen auf Markt 1 nach dem Steuersatz τ_1 auf diesem Markt ergibt:

$$(P''(Q_1)kq_1 + P'(Q_1)(k+1))\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} - C_{qq}(q, e)\frac{\partial q}{\partial \tau_1} - C_{qe}(q, e)\frac{\partial e}{\partial \tau_1} - 1 = 0, \quad (3.32)$$

wobei $\frac{\partial q}{\partial \tau_1}$ die Summe der komparativ-statischen Outputeffekte auf beiden Märkten bezeichnet. Durch Ableitung der Verhaltensgleichung bezüglich des Angebotes auf dem zweiten Markt nach der Steuer auf dem ersten Markt τ_1 erhält man:

$$(P''(Q_2)kq_2 + P'(Q_2)(k+1))\frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} - C_{qq}(q, e)\frac{\partial q}{\partial \tau_1} - C_{qe}(q, e)\frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.33)$$

Weiterhin ergibt die Differenzierung der Optimalitätsbedingung erster Ordnung bezüglich der Emissionen nach dem Steuersatz τ_1 :

$$-C_{qe}(q, e) \frac{\partial q}{\partial \tau_1} - C_{ee}(q, e) \frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.34)$$

Die Lösung des durch die Gleichungen (3.32) - (3.34) gegebenen Systems nach den komparativ-statischen Effekten ergibt:

$$\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} = \frac{C_{qe}^2 - C_{ee}C_{qq} + C_{ee}((k+1)P_2' + P_2''Q_2)}{D} < 0, \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} = \frac{C_{ee}C_{qq} - C_{qe}^2}{D} > 0, \quad (3.36)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \tau_1} = \frac{-C_{qe}((k+1)P_2' + P_2''Q_2)}{D} < 0. \quad (3.37)$$

Als Nenner der Gleichungen erhalten wir:

$$D = (C_{qe}^2 - C_{qq}C_{ee})((k+1)(P_1' + P_2') + P_1''Q_1 + P_2''Q_2) + C_{ee}((k+1)P_1' + P_1''Q_1)((k+1)P_2' + P_2''Q_2) > 0. \quad (3.38)$$

Bei Gleichung (3.38) handelt es sich um die Determinante der Koeffizientenmatrix des durch die Gleichungen (3.32) - (3.34) gegebenen Systems und diese hat ein eindeutig positives Vorzeichen, denn beide Terme der rechten Seite der Gleichung in (3.38) sind aufgrund der getroffenen Annahmen positiv. Weiterhin ist, wie sich leicht aus der Analyse der Zähler von (3.35) und (3.36) ersehen lässt, der komparativ-statische Outputeffekt auf dem die Steuererhöhung betreffenden Markt negativ und auf dem anderen Markt positiv.

Doch ist dieser indirekte Outputeffekt auf dem nicht direkt durch die Steuer beeinflussten Markt geringer als der Outputeffekt auf dem durch die Steuererhöhung betroffenen Markt. Dies lässt sich durch Bildung der Summe von (3.35) und (3.36) zeigen:

$$\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} = \frac{C_{ee}((k+1)P_2' + P_2''Q_2)}{D} < 0. \quad (3.39)$$

Der Ausdruck (3.39) ist negativ, da der Zähler entsprechend der getroffenen Annahmen bezüglich der Kosten- und inversen Nachfragefunktionen eindeutig negativ und der Nenner - wie oben erwähnt - positiv ist.

Mit Bezug auf den Emissionseffekt einer Steuererhöhung erhalten wir ein eindeutig negatives Vorzeichen, wie sich aus der Analyse des Zählers von Gleichung (3.37)

ersehen lässt. In Hinblick auf differenzierte Steuern lässt sich festhalten, dass der komparativ-statische Emissionseffekt der Steuer auf dem ersten Markt größer ist als derjenige der Steuer auf dem zweiten Markt, wenn gilt

$$(k+1)P'_2 + P''_2Q_2 < (k+1)P'_1 + P''_1Q_1. \quad (3.40)$$

Dies wird deutlich, wenn die komparativ-statischen Emissionsänderungen auf den beiden Märkten zueinander in Verhältnis gesetzt werden. Aus (3.37) erhalten wir aufgrund von Symmetrie:

$$\frac{\partial e}{\partial \tau_2} = \frac{-C_{qe}(P'_1(k+1) + P''_1Q_1)}{D}. \quad (3.41)$$

Division von (3.37) durch (3.41) ergibt:

$$\frac{\partial e / \partial \tau_1}{\partial e / \partial \tau_2} = \frac{(k+1)P'_2 + P''_2Q_2}{(k+1)P'_1 + P''_1Q_1}. \quad (3.42)$$

Dieses Ergebnis lässt sich, wenn Linearität der Nachfragen unterstellt wird, interpretieren. In diesem Fall fallen die zweiten Terme sowohl des Zählers als auch des Nenners auf der rechten Seite der Gleichung (3.42) weg und der komparativ-statische Emissionseffekt ist auf dem Markt größer, auf dem die Nachfrage dem Betrag nach eine größere Steigung aufweist.

3.4.2 Die optimale differenzierte Outputsteuer bei Emissionshandel

Das Wohlfahrtsproblem bei Fragmentierung der Märkte stellt sich für den Regulierer, wenn er die Möglichkeit besitzt, differenzierte Steuersätze zu erheben, und ein bindender Emissionszertifikatemarkt existiert, bei unterstellter Symmetrie der Unternehmen wie folgt dar:

$$\max_{\tau_1, \tau_2} W = \int_0^{Q_1} P_1(z) dz + \int_0^{Q_2} P_2(x) dx - kC(q, e). \quad (3.43)$$

Die Ableitung der Wohlfahrtsfunktion nach τ_1 führt zu:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau_1} = (P_1(Q_1) - C_q(q, e))k \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + (P_2(Q_2) - C_q(q, e))k \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} - C_e(q, e)k \frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.44)$$

Mit Hilfe der Optimalitätsbedingungen erster Ordnung der Firmen, (3.30) und (3.31), und bei Verwendung des Emissionszertifikatepreises σ als Emissionspreis lässt sich Ausdruck (3.44) umformulieren zu:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau_1} = (\tau_1 - P'_1 q_1)k \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + (\tau_2 - P'_2 q_2)k \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} + \sigma k \frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.45)$$

Hieraus kann ein Ausdruck für die optimale Outputsteuer isoliert werden:

$$\tau_1^* = P'_1 q_1 + \frac{(P'_2 q_2 - \tau_2) \partial q_2 / \partial \tau_1 - \sigma \partial e / \partial \tau_1}{\partial q_1 / \partial \tau_1}. \quad (3.46)$$

Diese Gleichung impliziert, dass je höher eine willkürlich gesetzte Outputsteuer τ_2 in einem Nachfragesektor eines fragmentierten Marktes ist, desto niedriger ist die optimale Outputsteuer auf dem verbleibenden Markt. Dies ergibt sich aus dem positiven indirekten Outputeffekt, mit dem der Steuersatz τ_2 in (3.46) multipliziert wird, und dem negativen direkten Outputeffekt, welcher den Nenner des Bruches darstellt.

Ein bis auf die Marktindizes mit (3.46) identischer Ausdruck lässt sich für den zweiten Markt herleiten:

$$\tau_2^* = P'_2 q_2 + \frac{(P'_1 q_1 - \tau_1) \partial q_1 / \partial \tau_2 - \sigma \partial e / \partial \tau_2}{\partial q_2 / \partial \tau_2}. \quad (3.47)$$

Durch Einsetzen von (3.47) in (3.46) und Isolierung von τ_1 erhalten wir mit den Nachfrageelastizitäten $\epsilon_r \equiv \left| \frac{dQ_r}{dP_r(Q_r)} \frac{P_r(Q_r)}{Q_r} \right|$, $r = 1, 2$ in Elastizitätenschreibweise:

$$\tau_1^* = -\frac{P_1}{k\epsilon_1} - \sigma \frac{\frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} + \frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}}{\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}} \quad (3.48)$$

für die optimale Outputsteuer auf dem ersten Markt und

$$\tau_2^* = -\frac{P_2}{k\epsilon_2} - \sigma \frac{\frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + \frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2}}{\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}} \quad (3.49)$$

durch Einsetzen von (3.46) in (3.47) für die optimale Outputsteuer auf dem zweiten Markt.

Der jeweils erste Term auf der rechten Seite der Gleichungen (3.48) und (3.49) ist eindeutig positiv, da der oligopolistische Mark-up $\frac{P_r}{k\epsilon_r}$ immer größer Null ist. Zudem ist der Nenner des zweiten Bruches in den Gleichungen (3.48) und (3.49) identisch

und eindeutig positiv, da dieser die Summe zweier positiver Produkte darstellt: Sowohl das Produkt der negativen direkten Outputeffekte $\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2}$ als auch das Produkt der positiven indirekten Outputeffekte $\frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}$ ist positiv. Werden die Emissionszertifikatepreise σ , wie im Folgenden, stets als positiv angenommen, sind lediglich die Vorzeichen der Zähler des jeweils zweiten Bruches der Gleichungen (3.48) und (3.49) uneindeutig. Zur Bestimmung des Vorzeichens der Gleichung (3.48) unterstellen wir daher im Folgenden zusätzlich, dass die Bedingung (3.40) erfüllt ist und somit der komparativ-statische Emissionseffekt der Steuer auf dem ersten Markt größer als der entsprechende Effekt der Steuer auf dem zweiten Markt ist: $\frac{\partial e / \partial \tau_1}{\partial e / \partial \tau_2} > 1$.

In diesem Fall gilt

$$\frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} > -\frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}, \quad (3.50)$$

denn die beiden Faktoren auf der linken Seite der Ungleichung dominieren die beiden Faktoren der rechten Seite der Ungleichung: Der negative Emissionseffekt der Besteuerung des ersten Marktes ist per Annahme größer als der negative Emissionseffekt der Besteuerung des zweiten Marktes und der negative direkte Outputeffekt der Besteuerung ist entsprechend (3.39) größer als der positive indirekte Outputeffekt der Besteuerung. Somit ist der Zähler des zweiten Bruches von (3.48) ebenso wie dessen Nenner positiv, sodass insgesamt sämtliche Terme von (3.48) positiv sind. Folglich ist τ_1^* kleiner Null, da die rechte Seite von (3.48) die Summe dieser Terme mit negativem Vorzeichen ist. Die ökonomische Interpretation für dieses Ergebnis ist, dass auf dem Markt, auf dem der komparativ-statische Emissionseffekt der Outputsteuer besonders groß ist, auch der durch den Zertifikatemarkt bewirkte Effekt auf den Output besonders groß ist und dadurch eine Outputsubvention einen besonders großen Wohlfahrtseffekt erzielt.

Die Dominanz des Emissionseffektes der betrachteten Outputsteuer gegenüber dem Emissionseffekt der Besteuerung des verbleibenden Marktes stellt lediglich eine hinreichende Bedingung für die Optimalität ihrer Negativität dar. Eine schwächere hinreichende Bedingung für die Optimalität einer negativen differenzierten Steuer ist, dass die Zähler des jeweils zweiten Bruches der Gleichungen (3.48) und (3.49) positiv sind.

Insbesondere in der Gleichung der optimalen Steuer mit dem annahmegemäß geringeren Emissionseffekt (3.49) hängt das Vorzeichen des Zählers von dem Wert der folgenden Ungleichung ab, in der die Absolutbeträge der beiden Terme des Zählers

des zweiten Bruches in (3.49) in Verhältnis zueinander gesetzt werden:

$$\frac{\left| \frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \right|}{\left| \frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \right|} \leq 1. \quad (3.51)$$

Ist der Ausdruck auf der linken Seite von (3.51) kleiner als 1, so dominiert der erste positive Term den zweiten negativen Term des Zählers von (3.49). Die Bedingung für einen positiven Zähler von (3.49) lautet nach Umformung von (3.51):

$$\frac{\partial e / \partial \tau_1}{\partial e / \partial \tau_2} < -\frac{\partial q_1 / \partial \tau_1}{\partial q_1 / \partial \tau_2} = 1 + \frac{C_{ee}(P_2'(k+1) + P_2''Q_2)}{C_{eq}^2 - C_{ee}C_{qq}}, \quad (3.52)$$

wobei die rechte Seite von (3.52) das Verhältnis des direkten und des indirekten komparativ-statischen Outputeffektes auf dem ersten Markt ist. Der Bruch auf der rechten Seite der Gleichung in (3.52) ist aufgrund der getroffenen Annahmen positiv. Somit muss der direkte komparativ-statische Outputeffekt auf dem ersten Markt den indirekten komparativ-statischen Outputeffekt auf dem ersten Markt stärker dominieren als der komparativ-statische Emissionseffekt der Besteuerung des ersten Marktes den komparativ-statischen Emissionseffekt der Besteuerung des zweiten Marktes dominiert, um eine eindeutig negative Outputbesteuerung für den zweiten Markt zu erhalten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Ist neben der Dominanz des Emissionseffektes auf dem ersten Markt das Verhältnis der komparativ-statischen Emissionseffekte nicht größer als ein Schwellenwert, wenn insgesamt also gilt:

$$1 < \frac{\partial e / \partial \tau_1}{\partial e / \partial \tau_2} = \frac{P_2'(k+1) + P_2''Q_2}{P_1'(k+1) + P_1''Q_1} < 1 + \frac{C_{ee}(P_2'(k+1) + P_2''Q_2)}{C_{eq}^2 - C_{ee}C_{qq}}, \quad (3.53)$$

so ist auch der Zähler des zweiten Bruches der optimalen Outputsteuer (3.49) auf dem zweiten Markt positiv und die entsprechende optimale Outputsteuer auch auf dem zweiten Markt eindeutig negativ.

Wenn andererseits die Ungleichung (3.52) nicht erfüllt ist, wird der Zähler des zweiten Bruches von (3.49) negativ und die resultierende optimale Outputsteuer kann theoretisch positiv sein. Dies ist der Fall, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{P_2}{k\epsilon_2} < -\sigma \frac{\frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + \frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2}}{\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}}. \quad (3.54)$$

Die Ungleichung (3.54) ist umso eher erfüllt, je stärker der indirekte komparativ-statische Outputeffekt auf dem ersten Markt durch die Outputsteuer auf dem zweiten Markt ist, je elastischer die Nachfrage auf dem zweiten Markt ist und je höher der Emissionszertifikatepreis σ ist. Die ökonomische Intuition hierfür ist, dass, wenn der Emissionshandel das Marktergebnis in Bezug auf den Output auf dem ersten Markt stark verschlechtert und wenn der Mark-up auf dem zweiten Markt nicht zu groß ist, es vorteilhaft sein kann, durch eine Besteuerung des zweiten Marktes das Angebot auf dem ersten Markt zu begünstigen. Mit anderen Worten läßt sich sagen, dass die Besteuerung eines Marktes dazu dienen kann, den Output unter den Märkten effizienter zu verteilen.

3.4.3 Die optimale differenzierte Outputsteuer bei Emissionsbesteuerung

Das Wohlfahrtsproblem des Regulierers stellt sich, wenn er die Möglichkeit besitzt, differenzierte Outputsteuersätze zu erheben und eine vorgegebene Emissionssteuer existiert, bei unterstellter Symmetrie der Unternehmen als

$$\max_{\tau_1, \tau_2} W = \int_0^{Q_1} P_1(z) dz + \int_0^{Q_2} P_2(x) dx - kC(q, e) - S(E) \quad (3.55)$$

dar, wobei in diesem Fall die Emissionen und damit die Schäden neben der Konsumentenrente und den Kosten der Produktion endogen sind. Die Ableitung dieser Wohlfahrtsfunktion nach τ_1 ergibt:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau_1} = (P_1(Q_1) - C_q(q))k \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + (P_2(Q_2) - C_q(q))k \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} - (C_e + S')k \frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.56)$$

Nutzt man die Bedingungen erster Ordnung der Firmen, (3.30) und (3.31), und ersetzt den Emissionspreis durch die Emissionssteuer τ_e , läßt sich Ausdruck (3.56) umformulieren zu:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau_1} = (\tau_1 - P'_1 q_1)k \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + (\tau_2 - P'_2 q_2)k \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1} + (\tau_e - S')k \frac{\partial e}{\partial \tau_1} = 0. \quad (3.57)$$

Hieraus läßt sich ein Ausdruck für die optimale Outputsteuer isolieren:

$$\tau_1^* = P'_1 q_1 + \frac{(P'_2 q_2 - \tau_2) \partial q_2 / \partial \tau_1 + (S' - \tau_e) \partial e / \partial \tau_1}{\partial q_1 / \partial \tau_1}. \quad (3.58)$$

Diese Gleichung impliziert wie im Fall des Emissionshandels des vorangegangenen Abschnitts, dass je höher eine willkürlich gesetzte Outputsteuer in einem der Märkte eines fragmentierten Marktes ist, desto niedriger ist die optimale Outputsteuer auf dem verbleibenden Markt. Ein bis auf die Marktindizes mit (3.58) identischer Ausdruck lässt sich für den zweiten Markt herleiten:

$$\tau_2^* = P_2'q_2 + \frac{(P_1'q_1 - \tau_1)\partial q_1/\partial\tau_2 + (S' - \tau_e)\partial e/\partial\tau_2}{\partial q_2/\partial\tau_2}. \quad (3.59)$$

Durch Substitution von (3.59) in (3.58) erhält man einen nur noch von den komparativ-statischen Effekten, der inversen Nachfrage und dem nicht internalisierten Schaden abhängigen Ausdruck:

$$\tau_1^* = P_1'q_1 + (S' - \tau_e) \frac{\frac{\partial e}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial e}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}}{\frac{\partial q_1}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}}, \quad (3.60)$$

der sich in Elastizitätenschreibweise mit der Nachfrageelastizität $\epsilon_1 \equiv \left| \frac{dQ_1}{dP_1(Q_1)} \frac{P_1(Q_1)}{Q_1} \right|$ als

$$\tau_1^* = -\frac{P_1}{k\epsilon_1} + (S' - \tau_e) \frac{\frac{\partial e}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial e}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}}{\frac{\partial q_1}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}}, \quad (3.61)$$

schreiben lässt.

Die Bedingung für eine positive optimale Outputsteuer auf dem ersten Markt lautet:

$$\frac{P_1}{k\epsilon_1} < (S' - \tau_e) \frac{\frac{\partial e}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial e}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}}{\frac{\partial q_1}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}} \quad (3.62)$$

und kann für einen positiven nicht internalisierten Grenzscha-den, $S' - \tau_e > 0$, nur dann erfüllt sein, wenn der Bruch auf der rechten Seite von (3.62) positiv ist. Dies ist wiederum nur dann der Fall, wenn der Zähler des Bruches von (3.62) positiv ist, denn der Nenner ist eindeutig positiv, da er die Summe zweier positiver Produkte ist: Sowohl das Produkt der negativen direkten Outputeffekte $\frac{\partial q_1}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2}$ als auch das Produkt der positiven indirekten Outputeffekte $\frac{\partial q_1}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}$ ist positiv.

Das Vorzeichen des Zählers des Bruches von (3.62) ist immer dann positiv, wenn - wie im Folgenden angenommen - der komparativ-statische Emissionseffekt der Besteuerung des ersten Marktes größer als der komparativ-statische Emissionseffekt der Besteuerung des zweiten Marktes ist: $\frac{\partial e/\partial\tau_1}{\partial e/\partial\tau_2} > 1$. Denn in diesem Fall gilt

$$\frac{\partial e}{\partial\tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_2} > -\frac{\partial e}{\partial\tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial\tau_1}, \quad (3.63)$$

da die beiden Faktoren auf der linken Seite dieser Ungleichung die beiden Faktoren der rechten Seite dieser Ungleichung dominieren: Der negative Emissionseffekt der Besteuerung des ersten Marktes ist per Annahme größer als der negative Emissionseffekt der Besteuerung des zweiten Marktes und der negative direkte Outputeffekt der Besteuerung ist entsprechend (3.39) größer als der positive indirekte Outputeffekt der Besteuerung.

In dem Fall, dass der Grenzschaten der Emissionen die Emissionssteuer übersteigt, besteht wiederum ein Zielkonflikt zwischen Markt- und Umweltpolitik, denn je nachdem, ob die Marktunvollkommenheit aufgrund des oligopolistischen Verhaltens der Anbieter oder die Marktunvollkommenheit aufgrund der produktionsbedingten externen Effekte überwiegt, ist entweder eine Besteuerung oder Subventionierung des Outputs vorteilhaft.

Für den zweiten Markt mit dem geringeren komparativ-statischen Emissionseffekt der Besteuerung gilt folgende Bedingung für eine positive optimale Outputsteuer in Elastizitätenschreibweise mit der Nachfrageelastizität $\epsilon_2 \equiv \left| \frac{dQ_2}{dP_2(Q_2)} \frac{P_2(Q_2)}{Q_2} \right|$:

$$\frac{P_2}{k\epsilon_2} < (S' - \tau_e) \frac{\frac{\partial e}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} + \frac{\partial e}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2}}{\frac{\partial q_1}{\partial \tau_1} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_2} + \frac{\partial q_1}{\partial \tau_2} \frac{\partial q_2}{\partial \tau_1}}. \quad (3.64)$$

Hierzu muss für den zweiten Markt bei einem positiven nicht internalisierten Grenzschaten zusätzlich folgende Ungleichung erfüllt sein:

$$\frac{\partial e / \partial \tau_1}{\partial e / \partial \tau_2} = \frac{P_2'(k+1) + P_2''Q_2}{P_1'(k+1) + P_1''Q_1} < -\frac{\partial q_1 / \partial \tau_1}{\partial q_1 / \partial \tau_2} = 1 + \frac{C_{ee}(P_2'(k+1) + P_2''Q_2)}{C_{eq}^2 - C_{ee}C_{qq}}, \quad (3.65)$$

denn nur dann ist der Zähler und somit der gesamte Bruch in (3.64) positiv. Eine optimale differenzierte Outputsteuer auf dem zweiten Markt mit dem geringeren komparativ-statischen Emissionseffekt größer Null erhalten wir nur dann, wenn neben der Erfüllung der Bedingung (3.65) der nicht internalisierte Grenzschaten relativ groß gegenüber dem oligopolistischen Mark-up ist.

3.5 Die Einspeisevergütung

Für die Analyse der Einspeisevergütung wird unterstellt, dass die Industrie aus k konventionellen - also verschmutzenden - marktmächtigen Unternehmen und n preisnehmenden Unternehmen mit alternativer Technologie besteht. Die Industrie ist reguliert durch einen politisch fixierten Einspeisevergütungstarif, zu dem die konventionellen Unternehmen entsprechend ihres Marktanteils die von den alternativen Produzenten erzeugte Strommenge abzunehmen und zu vergüten haben. Weiterhin fallen für die konventionellen Produzenten entsprechend ihrer bei der Produktion entstehenden Emissionen Emissionskosten von p_e je emittierter Einheit - entweder in Form des Emissionszertifikatepreises σ oder in Form der Emissionssteuer τ_e - an.

3.5.1 Die Unternehmen bei Einspeisevergütung und Emissionspreisen

Bezeichnet $\vec{q}^{-i} = (q_1, \dots, q_{i-1}, q_{i+1}, \dots, q_k)$, $i = 1 \dots k$ den Vektor der Produktion der konventionellen Produzenten bis auf die des Produzenten i und $\vec{a} = \{a_1, \dots, a_n\}$ den Vektor der Produktion der n alternativen Produzenten, dann lässt sich der Gewinn der k konventionellen Unternehmen folgendermaßen schreiben:

$$\pi^i(q^i, \vec{q}^{-i}, e^i, \vec{a}) = P(X)q^i - C(q^i, e^i) + (P(X) - \zeta)A\frac{q^i}{Q} - p_e e^i, \quad i = 1 \dots k, \quad (3.66)$$

wobei der vorletzte Term auf der rechten Seite von (3.66) den Einfluss der Einspeisevergütung abbildet. Das konventionelle Unternehmen i erwirbt eine seinem Marktanteil $\frac{q^i}{Q}$ entsprechende Menge der gesamten Produktion aus alternativen Quellen A zum Einspeisevergütungstarif ζ und setzt diese Menge zum Marktpreis $P(X)$ ab.

Durch die Ableitung der Gewinngleichung (3.66) nach dem Output und nach den Emissionen erhalten wir:

$$\pi_q^i = P'(X)(q^i + A\frac{q^i}{Q}) + P(X) - C_q(q^i, e^i) + (P(X) - \zeta)A\frac{Q - q^i}{Q^2} = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.67)$$

als Bedingung erster Ordnung bei der Wahl des Outputs und

$$\pi_e^i = -C_e(q^i, e^i) - p_e = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.68)$$

als Bedingung erster Ordnung bei der Wahl der Emissionen.

Im Cournot-Nash-Gleichgewicht stellt die durch (3.67) und (3.68) beschriebene Verhaltensweise die wechselseitig besten Antworten der Oligopolisten dar, die sich bei unterstellter Symmetrie der Akteure zu:

$$P(X) - C_q(q, e) = -P'(X)\left(q + \frac{A}{k}\right) - (P(X) - \zeta)A\frac{k-1}{k^2q} \quad (3.69)$$

und

$$-C_e(q, e) = p_e \quad (3.70)$$

vereinfachen lassen. Die Gleichungen (3.69) und (3.70) zeigen, wie die symmetrischen konventionellen Unternehmen ihre Produktionsmengen und Emissionen wählen. Bei dem hier unterstellten Cournotverhalten erwarten die Unternehmen im Cournot-Nash-Gleichgewicht, dass die konkurrierenden Oligopolisten bei einer marginalen Outputänderung nicht reagieren.

Die Terme auf der linken Seite der Gleichung (3.69) sind bei preisnehmenden Verhalten der Oligopolisten in der Summe Null. Die rechte Seite von (3.69) stellt daher den effektiven Preisaufschlag dar, der aus zwei Termen besteht:

- Der erste Term ist Ausdruck des oligopolistischen Verhaltens der konventionellen Unternehmen, welche die Wirkung der Preisänderung auf ihren gesamten Absatz - die Summe aus eigener Produktion und der zu erwerbenden Produktionsmenge aus erneuerbaren Energiequellen - bei einer Produktionsänderung berücksichtigen und wird im Folgenden als Mark-up bezeichnet.
- Der zweite Term hängt maßgeblich von der Wahl des Einspeisevergütungstarifes ζ ab. Ist der Einspeisevergütungstarif höher als der Marktpreis P , so vergrößert sich der effektive Preisaufschlag der konventionellen Produzenten und ist der Einspeisevergütungstarif niedriger als der Marktpreis, so verringert sich der effektive Preisaufschlag der konventionellen Produzenten. Dieser Einfluss der Einspeisevergütung lässt sich damit erklären, dass die oligopolistischen Unternehmen im Nashgleichgewicht keine Outputreaktion der oligopolistischen Konkurrenten bei einer Änderung des eigenen Outputs erwarten und daher mit einer Änderung ihres jeweiligen Marktanteils und somit der Änderung ihres Anteils an der Produktion aus erneuerbaren Energiequellen rechnen.

Die Optimalitätsbedingung erster Ordnung (3.70), welche die optimale Emissionsmenge charakterisiert, besagt, dass die Grenzvermeidungskosten im Optimum den Emissionspreisen entsprechen.

Zusätzlich zur Produktion der konventionellen Unternehmen produzieren die n symmetrischen Produzenten erneuerbarer Energie zu einem fixierten Tarif ζ . Die entsprechende Gewinngleichung wird als

$$\pi(a) = \zeta a - C(a) \quad (3.71)$$

geschrieben. Die Ableitung nach der einzigen Entscheidungsvariablen dieser Unternehmen, der Produktion a , ergibt:

$$\pi_a = \zeta - C_a(a) = 0. \quad (3.72)$$

Diese Gleichung besagt, dass die Unternehmen im Optimum das Produktionsniveau so wählen, dass die Grenzkosten dem Vergütungstarif entsprechen.

Wie verändern sich nun die Produktions- und Emissionsniveaus, wenn der Einspeisevergütungstarif geändert wird? Die Beantwortung dieser Frage wird durch eine komparativ-statische Analyse möglich. Wird das durch die Optimalitätsbedingungen erster Ordnung gegebene Gleichungssystem nach dem Einspeisevergütungstarif differenziert und nach den Reaktionen der konventionellen und alternativen Produktion und nach den Emissionen aufgelöst, erhält man für den gleichgewichtigen Effekt auf die Produktion des repräsentativen konventionellen Produzenten:

$$\frac{\partial q}{\partial \zeta} = - \frac{C_{ee} n q ((1-k)(aC_{aa} - P + \zeta) + nP'(an(k-1) + Q(k+1)) + P''XQ)}{D} \quad (3.73)$$

und für den Effekt auf die entsprechenden Emissionen:

$$\frac{\partial e}{\partial \zeta} = \frac{C_{eq} n q ((1-k)(aC_{aa} - P + \zeta) + nP'(an(k-1) + Q(k+1)) + P''XQ)}{D}, \quad (3.74)$$

wobei der Nenner der Terme auf der jeweils rechten Seite der Gleichungen durch

$$D = C_{aa}(C_{ee}[na((k-1)(\zeta - P) + QP'(na(k-1) + Q(1+k)) + P''XQ^2] + (C_{eq}^2 - C_{qq}C_{ee})Q^2) \quad (3.75)$$

gegeben ist.

Werden die Effekte auf Output und Emissionen zueinander ins Verhältnis gesetzt, erhalten wir:

$$\frac{\partial q/\partial \zeta}{\partial e/\partial \zeta} = \frac{-C_{qe}}{C_{ee}}. \quad (3.76)$$

Diese Relation ist eindeutig positiv und lediglich von der Krümmung der Kostenkurven abhängig. Sie besagt, dass je stärker die Grenzkosten der Vermeidung von dem Output abhängen, desto stärker erhöht sich ceteris paribus das Verhältnis aus Output und Emissionen bei einer Erhöhung des Tarifs.

Die Reaktion einer alternativen Firma auf eine Tarifänderung ist gegeben durch:

$$\frac{\partial a}{\partial \zeta} = \frac{1}{C_{aa}} > 0. \quad (3.77)$$

Die letzte Gleichung zeigt, dass die Reaktion der alternativen Produzenten auf eine Erhöhung der Vergütung wie zu erwarten eindeutig positiv ist. Im Gegensatz hierzu ist ferner eine Verringerung der Produktion der konventionellen Produzenten zu erwarten.

Eine hinreichende Bedingung für eine Reduktion der konventionellen Produktion in Abhängigkeit von der Angebotselastizität der alternativen Produktion, $\eta = \frac{\partial a/\partial \zeta}{a/\zeta} > 0$, wird durch das folgende Lemma gegeben, dessen Beweis sich im Anhang zu diesem Kapitel findet.

Lemma 1. Wenn der Einspeisevergütungstarif der Bedingung:

$$P - P'Q - P'' \frac{Q^2}{k-1} > \zeta > \frac{P}{1 + 1/\eta} \quad (3.78)$$

genügt, so ist sowohl die Outputreaktion als auch die Emissionsreaktion der konventionellen Firmen auf eine Erhöhung des Einspeisevergütungstarifes negativ.

Mit anderen Worten sind die Output- und Emissionsreaktionen der konventionellen Firmen auf eine Erhöhung des Einspeisevergütungstarifes negativ, wenn der gegenwärtige Tarif in einem Bereich liegt, der von den Marktpreisen und von der Angebotselastizität der alternativen Produktion einerseits und von der Form der Nachfragekurve und den Marktanteilen in der konventionellen Industrie andererseits bestimmt wird. Je elastischer das Angebot der alternativen Produzenten ist, desto geringer ist die untere Schranke, und je größer die Anzahl der konventionellen Produzenten und der Absolutbetrag der Steigung der inversen Nachfrage sind, desto größer ist die obere Schranke.

3.5.2 Der optimale Einspeisevergütungstarif bei Emissionshandel

Stehen der Regierung neben dem Einspeisevergütungstarif ζ keine weiteren Politikinstrumente zur Verfügung, lässt sich das Optimierungsproblem der Regierung bei Symmetrie der Firmen darstellen als

$$\max_{\zeta} W = \int_0^x P(z) dz - kC(q, e) - nC(a). \quad (3.79)$$

Die Ableitung der Wohlfahrtsfunktion nach ζ ergibt die Bedingung erster Ordnung des Wohlfahrtsproblems der Regierung:

$$\frac{\partial W}{\partial \zeta} = (P - C_q)kq' - C_e ke' + (P - C_a)na', \quad (3.80)$$

wobei e' , a' und q' die komparativ-statischen Effekte auf die Emissionen und die Produktion der beiden Typen von Firmen auf eine Änderung des Tarifs bezeichnen. Befinden sich die Unternehmen im Cournot-Nash-Gleichgewicht, kann diese Gleichung mit Hilfe der Bedingungen erster Ordnung der Firmen (3.69), (3.70) und (3.72) umformuliert werden.

Einsetzen der Gleichungen (3.69), (3.70) und (3.72) in (3.80) führt unter Verwendung des Emissionszertifikatepreises σ als Emissionspreis zu

$$\frac{\partial W}{\partial \zeta} = \left(-P'(q + \frac{na}{k}) + (\zeta - P)na \frac{k-1}{k^2q}\right)kq' + \sigma ke' + (P - \zeta)na' = 0. \quad (3.81)$$

Durch Auflösen nach ζ erhalten wir einen Ausdruck für den optimalen Tarif:

$$\zeta^* = P + \frac{P'(q + \frac{na}{k})kq' - \sigma ke'}{q'na \frac{k-1}{k^2q} - na'}. \quad (3.82)$$

Für die Interpretation von Ausdruck (3.82) beschränken wir uns auf die Untersuchung der Fälle der Verringerung von konventioneller Produktion und Emissionen bei einer Erhöhung der Einspeisevergütung. Für diesen Fall erhalten wir die folgende Proposition:

Proposition 1 *Wenn der komparativ-statische Effekt der Einspeisevergütung ζ auf q und e negativ ist, dann ist $\zeta^* < P$.*

Die Proposition 1 folgt aus der Tatsache, dass bei negativen komparativ-statischen Effekten des konventionellen Sektors der Nenner von (3.82) eindeutig negativ und der Zähler eindeutig positiv ist. Für diesen Fall besagt die Proposition 1, dass der optimale Einspeisevergütungstarif kleiner als der Marktpreis für konventionellen Strom ist.

Betrachten wir einerseits den Zähler von (3.82) lässt sich sagen, dass der optimale Einspeisevergütungstarif umso kleiner ausfällt, desto höher der oligopolistische Mark-up ist. Andererseits lässt sich aus der Untersuchung des Nenners von (3.82) festhalten, dass die Differenz von Marktpreis und optimalem Einspeisevergütungstarif - der zweite Term der rechten Seite von (3.82) - umso geringer ausfällt, desto grösser der komparativ-statische Effekt auf die Produktion erneuerbarer Energie ist. Da dieser komparativ-statische Effekt auf die Produktion erneuerbarer Energie entsprechend (3.77) in reziproker Beziehung zu der Steigung der Grenzkosten der betreffenden Produktion steht, können wir folgern, dass der Einspeisevergütungstarif bei Emissionshandel zwar negativ ist, jedoch umso höher ist je flacher die Grenzkostenkurve der Produktion aus erneuerbarer Energie ist.

Intuitiv können wir diesen Zusammenhang folgendermaßen begründen: Ist der Effekt einer Erhöhung des Einspeisevergütungstarifes auf die Produktion aus erneuerbarer Energie sehr stark, so wird die konventionelle Produktion aus dem Markt gedrängt, sodass der Einfluss von Marktmacht und der Einfluss des Emissionshandels - die den Zähler des zweiten Terms von (3.2.2) bestimmen - zunehmend irrelevant werden.

3.5.3 Der optimale Einspeisevergütungstarif bei Emissionsbesteuerung

Bei gegebener Emissionsbesteuerung und Symmetrie der Firmen lässt sich das Optimierungsproblem der Regierung bei der Wahl des Einspeisevergütungstarifes ζ darstellen als

$$\max_{\zeta} W = \int_0^x P(z) dz - kC(q, e) - nC(a) - S(E), \quad (3.83)$$

da nun die Emissionen und die Schäden endogen sind und neben der Konsumentenrente und den Produktionskosten die Wohlfahrt beeinflussen. Die Ableitung dieser

Wohlfahrtsfunktion nach der Einspeisevergütung ζ ergibt die Bedingung erster Ordnung des Wohlfahrtsproblems der Regierung:

$$\frac{\partial W}{\partial \zeta} = (P - C_q)kq' + (-C_e - S')ke' + (P - C_a)na', \quad (3.84)$$

wobei e' , q' und a' die komparativ-statischen Effekte einer Änderung des Tarifs auf die Emissionen und auf die Produktion der beiden Typen von Firmen bezeichnen. Befinden sich die Unternehmen im Nash-Gleichgewicht, kann diese Gleichung mit Hilfe der Bedingungen erster Ordnung der Firmen umformuliert werden. Einsetzen der Gleichungen (3.69), (3.70) und (3.72) in (3.84) führt unter Verwendung der Emissionssteuer τ_e als Emissionspreis zu

$$\frac{\partial W}{\partial \zeta} = (-P'(q + \frac{na}{k}) + (\zeta - P)na\frac{k-1}{k^2q})kq' + (\tau_e - S')ke' + (P - \zeta)na' = 0. \quad (3.85)$$

Lösen wir (3.85) nach ζ auf, erhalten wir einen Ausdruck für den optimalen Tarif:

$$\zeta^* = P + \frac{P'(q + \frac{na}{k})kq' + (S' - \tau_e)ke'}{q'na\frac{k-1}{k^2q} - na'}. \quad (3.86)$$

Für die Interpretation von Ausdruck (3.86) beschränken wir uns auch hier auf die Untersuchung der Fälle der Verringerung von konventioneller Produktion und Emissionen bei einer Erhöhung der Einspeisevergütung. Somit erhalten wir die folgende Proposition:

Proposition 2 *Wenn der komparativ-statische Effekt der Einspeisevergütung ζ auf q und e negativ ist, so liegt der optimale Einspeisevergütungstarif dann und immer dann oberhalb, in Höhe von oder unterhalb des Marktpreises, wenn gilt $-P'\frac{x}{k} \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} (S' - \tau_e)\frac{e'}{q'}$.*

Die Proposition besagt, dass die optimale Einspeisevergütung oberhalb des Marktpreises liegt, wenn der nicht internalisierte Grenzscha-den und die Wirkung auf die Emissionen im Vergleich mit dem Mark-up der Oligopolisten relativ groß sind.

3.6 Der KWK-Bonus

Für die Untersuchung des KWK-Bonus ist es nötig neben der Stromproduktion auch die Produktion von Wärme zu berücksichtigen. Beide Produkte können sowohl in getrennter als auch in gekoppelter Produktion erstellt werden. Der KWK-Strom wird dabei in einigen europäischen Ländern wie in Deutschland und beispielsweise in Schweden und Belgien von Unternehmen produziert, die sowohl einen Großteil der KWK-Anlagen als auch der Produktionsanlagen für getrennte Stromproduktion kontrollieren. Folglich befinden sich die Unternehmen auf dem Strommarkt in oligopolistischem Wettbewerb.

Im Gegensatz zum Stromhandel ist der Handel der Wärme auf lokale Wärmenetze angewiesen, welche grundsätzlich von einem Anbieter bedient werden. Im Folgenden wird daher davon ausgegangen, dass sich die Anbieter von Wärme einem fixen Wärmepreis gegenübersehen und die entsprechende lokale Wärmenachfrage vollständig bereitstellen⁴.

Den Firmen in Deutschland wird auf den produzierten KWK-Strom ein Aufschlag, der KWK-Bonus ϕ , bei der Einspeisung in das Stromnetz gezahlt. Die hierbei entstehenden Kosten werden unter den Firmen entsprechend ihres Marktanteils im gesamten Stromsektor aufgeteilt. Weiterhin werden die mit der Produktion sämtlicher Unternehmen verbundenen Emissionen durch Emissionspreise p_e in Form von Emissionszertifikatpreisen σ oder zum Vergleich in Form von Emissionssteuern τ_e belastet.

Die inverse Nachfrage nach dem ersten Gut samt ihrer ersten beiden Ableitungen wird nun mit $P(X)$, $P'(X)$ und $P''(X)$ bezeichnet und die inversen Nachfragen nach dem zweiten Gut werden mit $p(\bar{h}^i)$, $i = 1 \dots k$ bezeichnet.

⁴Diese Annahme wird als relativ unkritisch angesehen, da im Gegensatz zum Strommarkt im Fernwärmemarkt ein bedeutender Anteil der Kosten durch die Netzinfrastruktur entsteht und die in dieser Analyse im Vordergrund stehenden kurz- und mittelfristig anfallenden variablen Kosten abgesehen von Ausnahmefällen weit unter den zu erzielenden Erzeugerpreisen liegen. In diesem Kontext stellt sich für die Unternehmen lediglich die Frage, durch welche Anlagen die Nachfrage gedeckt wird.

3.6.1 Die Unternehmen bei KWK-Bonus und Emissionspreisen

Die Optimierungsproblem der k Firmen, die Strom und Wärme sowohl in getrennten Prozessen, als auch in KWK produzieren können, lässt sich schreiben als:

$$\begin{aligned} L^i(q^i, q^{-i}, a^i, a^{-i}, w^i, v^i) = & P(X)(q^i + a^i) + p(\bar{h}^i)(w^i + v^i) + \phi a^i - \phi A \frac{a^i + q^i}{X} \\ & - C^i(a^i, w^i) - c^q q^i - c^v v^i - p_e(E(a^i, w^i) + e^q q^i + e^v v^i) \\ & - \lambda^i(\bar{h}^i - w^i - v^i), \quad i = 1 \dots k. \end{aligned} \quad (3.87)$$

Der letzte Term der Gewinngleichung berücksichtigt die Annahme, dass die von den an das Wärmenetz eines Anbieters angeschlossenen Verbrauchern nachgefragte Wärmemenge \bar{h}^i von diesem Anbieter vollständig bereitgestellt wird. Es handelt sich also um eine restringierte Optimierungsaufgabe für die Anbieter von Wärme und Strom.

Die Gleichung (3.87) lässt sich durch die Verwendung der Notation $CE(a, w) = C(a, w) + p_e E(a, w)$, $ce^q q = c^q q + p_e e^q q$, $ce^v v = c^v v + p_e e^v v$ kompakter schreiben:

$$\begin{aligned} L^i(q^i, q^{-i}, a^i, a^{-i}, w, v) = & P(X)(q^i + a^i) + p(\bar{h}^i)(w^i + v^i) + \phi a^i - \phi A \frac{a^i + q^i}{X} \\ & - ce^q q^i - CE(a^i, w^i) - ce^v v^i - \lambda^i(\bar{h}^i - w^i - v^i), \\ & i = 1 \dots k. \end{aligned} \quad (3.88)$$

Die Ableitung der Gewinnfunktion nach der ungekoppelten Stromerzeugung ergibt

$$L_q^i(q^i, q^{-i}, a^i, a^{-i}) = P'(X)(q^i + a^i) + P(X) - \phi A \frac{X^{-i}}{X^2} - ce^q = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.89)$$

als Optimalitätsbedingung erster Ordnung. Für die KWK-Produktion erhalten wir

$$L_a^i(q^i, q^{-i}, a^i, a^{-i}) = P'(X)(q^i + a^i) + P(X) + \phi Q \frac{X^{-i}}{X^2} - CE_a^i(a^i, w^i) = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.90)$$

mit Hinblick auf die KWK-Stromerzeugung und

$$L_w^i(a^i, w^i, v^i) = p(\bar{h}^i) - CE_w^i(a^i, w^i) + \lambda^i = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (3.91)$$

mit Hinblick auf die KWK-Wärmeerzeugung. Letztlich lautet die Optimalitätsbedingung für die ungekoppelte Wärmeerzeugung:

$$L_v^i(a^i, w^i, v^i) = p(\bar{h}^i) - ce^v + \lambda^i = 0, \quad i = 1 \dots k. \quad (3.92)$$

Die Ableitung nach dem Lagrangemultiplikator λ^i liefert:

$$L_{\lambda}^i(a^i, w^i, v^i) = \bar{h}^i - w^i - v^i = 0, \quad i = 1 \dots k. \quad (3.93)$$

Die Gleichungen (3.91) und (3.92) lassen sich zu einer einzigen Bedingung zusammenfassen:

$$CE_w^i(a^i, w^i) = ce^v, \quad i = 1 \dots k. \quad (3.94)$$

Unterstellen wir ein Cournot-Nash-Gleichgewicht der k symmetrischen Firmen, erhalten wir aus (3.89) - (3.93) folgendes System von Gleichgewichtsbedingungen:

$$P(X) - c^q = -P'(X)(q + a) + \phi \frac{k-1}{k} \frac{a}{a+q} + p_e e^q, \quad (3.95)$$

$$P(X) - C_a(a, w) = -P'(X)(q + a) - \phi \frac{k-1}{k} \frac{q}{a+q} + p_e E_a(a, w), \quad (3.96)$$

$$C_w(a, w) + p_e E_w(a, w) = c^v + p_e e^v. \quad (3.97)$$

Die komparativ-statischen Effekte einer Änderung des Bonussatzes q' , a' , w' erhalten wir durch Differenzierung der Gleichungen (3.95) - (3.97) nach ϕ und Lösung des resultierenden Gleichungssystems. Differenzierung von Gleichung (3.95) nach dem Bonus ϕ gibt:

$$\begin{aligned} & q'(P''(X)k(q+a) + P'(X)(k+1) + \phi \frac{k-1}{k} \frac{a}{(a+q)^2}) + \\ & a'(P''(X)k(q+a) + P'(X)(k+1) - \phi \frac{k-1}{k} \frac{q}{(a+q)^2}) - \frac{k-1}{k} \frac{a}{a+q} = 0. \end{aligned} \quad (3.98)$$

Differenzierung von Gleichung (3.96) nach dem Bonus ϕ gibt:

$$\begin{aligned} & q'(P''(X)k(q+a) + P'(X)(k+1) + \phi \frac{k-1}{k} \frac{a}{(a+q)^2}) + \\ & a'(P''(X)k(q+a) + P'(X)(k+1) - \phi \frac{k-1}{k} \frac{q}{(a+q)^2} - CE_{aa}) \\ & + w'(-CE_{aw}) + \frac{k-1}{k} \frac{q}{a+q} = 0. \end{aligned} \quad (3.99)$$

Schließlich liefert die Ableitung von Gleichung (3.97) nach dem Bonus ϕ folgenden Zusammenhang:

$$a'(-CE_{aw}) + w'(-CE_{ww}) = 0. \quad (3.100)$$

Aus dem Gleichungssystem (3.98) - (3.100) erhalten wir folgende komparativ-statischen Effekte:

$$q' = \frac{k-1}{k^2(a+q)^2}(ka(a+q)(CE_{aa}CE_{ww} - CE_{aw}^2) + CE_{ww}(\phi q(k-1) - (a+q)^2k(P'(X)(k+1) + P''(X)k(a+q))))/D \quad (3.101)$$

für die getrennte Stromerzeugung,

$$a' = \frac{k-1}{k}CE_{ww}(\phi \frac{k-1}{k(a+q)^2} + P'(X)(k+1) + P''(X)k(a+q))/D \quad (3.102)$$

für die Stromerzeugung in KWK und

$$w' = -\frac{k-1}{k}CE_{aw}(\phi \frac{k-1}{k(a+q)^2} + P'(X)(k+1) + P''(X)k(a+q))/D \quad (3.103)$$

für die Wärmeerzeugung in KWK. Weiterhin gilt

$$v' = -w'. \quad (3.104)$$

Die Determinante D des Gleichungssystems (3.98) - (3.100) lautet:

$$D = ((CE_{aa}CE_{ww} - CE_{aw}^2))(\phi \frac{(k-1)a}{k(a+q)^2} + P'(X)(k+1) + P''(X)k(a+q)). \quad (3.105)$$

Das Vorzeichen von (3.105) ist eindeutig negativ, wenn wir annehmen, dass die Optimalitätsbedingung zweiter Ordnung erfüllt ist. Eine hinreichende Bedingung für ein Maximum an der durch die Bedingungen erster Ordnung beschriebenen Stelle ist eine negativ-definite Hessematrix und dies nehmen wir als gegeben an⁵. Hierzu muss gelten, dass folgende Ungleichheit erfüllt ist:

$$k(-P'(X) - P''(X)\frac{a+q}{2}) > \phi \frac{k-1}{k(a+q)^2}. \quad (3.106)$$

Letzteres wiederum impliziert unter unserer Annahme zur Steigungselastizität der inversen Nachfrage, dass:

$$-P'(X)(k+1) - P''(X)k(a+q) > \phi \frac{(k-1)a}{k(a+q)^2} \quad (3.107)$$

gilt. Ist (3.107) erfüllt, so ist auch der komparativ-statische Effekt der getrennten Stromerzeugung (3.101) eindeutig negativ.

⁵Zu hinreichenden Bedingungen zweiter Ordnung für Extremwerte siehe etwa Chiang (1984) oder Varian (1992).

Die komparativ-statischen Effekte der gekoppelten Produktion sind in Bezug auf die Produktion von Strom eindeutig positiv und in Bezug auf die Produktion von Wärme eindeutig negativ. Dies ist nach Einsetzen von D in (3.102) und (3.103) leicht ersichtlich. Wir erhalten dann für (3.102)

$$a' = \frac{k-1}{k} \frac{CE_{ww}}{CE_{aa}CE_{ww} - CE_{aw}^2} > 0 \quad (3.108)$$

und nach Einsetzen von D in (3.103)

$$w' = \frac{k-1}{k} \frac{-CE_{aw}}{CE_{aa}CE_{ww} - CE_{aw}^2} < 0. \quad (3.109)$$

Werden die Effekte auf die Produktion von gekoppeltem und ungekoppeltem Strom summiert, erhalten wir den Gesamteffekt auf dem Strommarkt:

$$q' + a' = \frac{k-1}{k^2} \frac{\phi(k-1)CE_{ww} + ka(CE_{aa}CE_{ww} - CE_{aw}^2)}{a+q} / D < 0. \quad (3.110)$$

Es zeigt sich also, dass der Effekt der Bonuserhöhung im symmetrischen Gleichgewicht eine Reduktion der Summe der Stromproduktion zur Folge hat.

3.6.2 Der optimale KWK-Bonus bei Emissionshandel

Die Wohlfahrt, die sich aus der Konsumentenrente und den Produktionskosten der Unternehmen ergibt, kann bei unterstellter Symmetrie der Unternehmen geschrieben werden als:

$$\max_{\phi} W = \int_0^X P(z) dz + k \int_0^h p(z) dz - k(c^q q + C(a, w) + c^v v). \quad (3.111)$$

Zur Bestimmung der optimalen Höhe des KWK-Bonus leiten wir die Wohlfahrtsfunktion nach dem Bonus ϕ ab und erhalten die Optimalitätsbedingung erster Ordnung:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \phi} &= kq'(P(X) - c^q) + ka'(P(X) - C_a^i) + \\ &kw'(p - C_w^i) + kv'(p - c^v) = 0. \end{aligned} \quad (3.112)$$

Werden die Optimalitätsbedingungen der Firmen (3.95) - (3.97) unter Verwendung des Emissionszertifikatepreises σ als Emissionspreis in geeigneter Weise in die Optimalitätsbedingung des sozialen Planers (3.112) eingesetzt und wird berücksichtigt,

dass die gesamte Wärmenachfrage \bar{h} gegeben ist - das heißt : $w' = -v'$ - , erhalten wir

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \phi} = & q'(-P'(X)(q+a) + \phi \frac{k-1}{k} \frac{a}{q+a} + e^q \sigma) + w'((E_w^i) - e^v) \sigma \\ & + a'(-P'(X)(q+a) - \phi \frac{k-1}{k} \frac{q}{q+a} + E_a^i \sigma) = 0. \end{aligned} \quad (3.113)$$

Durch Isolation von ϕ erhalten wir den optimalen KWK-Bonus als:

$$\phi^* = \frac{k}{k-1} \frac{P'(X)(q+a)(q'+a') - \sigma(q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v))}{q' \frac{a}{q+a} - a' \frac{q}{q+a}}. \quad (3.114)$$

Der Nenner des zweiten Bruches auf der rechten Seite von (3.114) ist, wie aus der komparativ-statischen Analyse hervorgeht, eindeutig negativ. Zur Bestimmung des Vorzeichens des gesamten Ausdrucks müssen Annahmen in Bezug auf den Zähler erfüllt sein.

Als notwendige Voraussetzung für einen positiven optimalen Bonus erhalten wir folgende Bedingung:

$$\sigma(q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v)) > P'(X)(q+a)(q'+a'). \quad (3.115)$$

Die Bedingung (3.115) kann nur dann erfüllt sein, wenn

$$q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v) > 0 \quad (3.116)$$

gilt, denn die rechte Seite der Ungleichung (3.115) ist aufgrund von (3.110) eindeutig positiv.

Die Bedingung (3.116) besagt, dass der optimale Bonus nur dann positiv sein kann, wenn der komparativ-statische Effekt auf die gesamten Emissionen positiv ist. Dies ist umso eher der Fall, je größer die Grenzemissionen der gekoppelten Stromproduktion und der ungekoppelten Wärmeproduktion und je geringer die Grenzemissionen der ungekoppelten Stromproduktion und gekoppelten Wärmeproduktion sind.

Ist andererseits die Bedingung (3.116) nicht erfüllt, so ist der Zähler von (3.114) eindeutig positiv und der KWK-Bonus sollte negativ sein. Mit anderen Worten sollte der KWK-Bonus in einen KWK-Malus umgewandelt werden, wenn dessen Emissionseffekt negativ ist.

3.6.3 Der optimale KWK-Bonus bei Emissionsbesteuerung

Die Wohlfahrt, die sich bei Emissionsbesteuerung aus der Konsumentenrente, den Produktionskosten der symmetrischen Unternehmen und den Schäden der Emissionen zusammensetzt, kann geschrieben werden als:

$$\max_{\phi} W = \int_0^X P(z)dz + k \int_0^h p(z)dz - k(c^q q + C(a, w) + c^v v) - S(E). \quad (3.117)$$

Zur Bestimmung der optimalen Höhe des KWK-Bonus leiten wir die Wohlfahrtsfunktion nach dem Bonus ϕ ab und erhalten die Optimalitätsbedingung erster Ordnung:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \phi} = & kq'(P(X) - c^q - e^q S') + ka'(P(X) - C_a^i - E_a^i S') + \\ & kw'(p - C_w^i - E_w^i S') + kv'(p - c^v - e^v S') = 0. \end{aligned} \quad (3.118)$$

Werden die Optimalitätsbedingungen der Firmen (3.95) - (3.97) unter Verwendung der Emissionssteuer τ_e als Emissionspreis nach Umformung in die Optimalitätsbedingung des sozialen Planers (3.112) eingesetzt und die gesamte Wärmenachfrage \bar{h} als gegeben angesehen - das heißt : $w' = -v'$ -, erhalten wir

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \phi} = & q'(-P'(X)(q+a) + \phi \frac{k-1}{k} \frac{a}{q+a} - e^q(S' - \tau_e)) + w'((e^v - E_w^i)(S' - \tau_e)) \\ & + a'(-P'(X)(q+a) - \phi \frac{k-1}{k} \frac{q}{q+a} - E_a^i(S' - \tau_e)) = 0. \end{aligned} \quad (3.119)$$

Durch Auflösen nach ϕ erhalten wir den optimalen KWK-Bonus als:

$$\phi^* = \frac{k}{k-1} \frac{P'(X)(q+a)(q'+a') + (S' - \tau_e)(q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v))}{q' \frac{a}{q+a} - a' \frac{q}{q+a}}. \quad (3.120)$$

Der Nenner von (3.120) ist, wie aus der komparativ-statischen Analyse hervorgeht, eindeutig negativ. Zur Bestimmung des Vorzeichens des gesamten Ausdrucks müssen Annahmen in Bezug auf den Zähler erfüllt sein.

Liegt der Grenzscha-den der Emissionen über der Emissionssteuer τ_e und ist der komparativ-statische Effekt auf die Emissionen negativ, dann ist der zweite Term des Zählers des zweiten Bruches von (3.120) negativ und es lassen sich Aussagen zu dem Einfluss der Höhe der verschiedenen Grenzemissionen der Produktionsprozesse treffen. So liegt der optimale Bonus umso höher, je größer die Grenzemissionen

der getrennten Stromproduktion und je größer die Grenzemissionen der gekoppelten Wärmeproduktion ist. Andererseits ist der optimale Bonus umso niedriger, je größer die Grenzemissionen der getrennten Wärmeproduktion und je größer die Grenzemissionen der gekoppelten Stromproduktion ist.

Entspricht demgegenüber der Grenzscha-den S' der Emissionssteuer τ_e , so wird der optimale Bonus negativ, da dann der Zähler von Ausdruck (3.120) aufgrund des eindeutigen Rückgangs der Gesamtstromproduktion entsprechend (3.110) positiv ist. Als notwendige Voraussetzung für einen positiven optimalen Bonus erhalten wir folgende Bedingung:

$$-(S' - \tau_e)(q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v)) > P'(X)(q + a)(q' + a'). \quad (3.121)$$

Wenn der Grenzscha-den der Emissionen größer ist als der Emissionssteuersatz, erhalten wir aus (3.121) folgende notwendige Bedingung für einen positiven optimalen Bonus:

$$q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v) < 0, \quad (3.122)$$

die besagt, dass der komparativ-statische Effekt des Bonus auf die Emissionen negativ sein muss. Dies ist umso eher der Fall, je geringer die Grenzemissionen der gekoppelten Stromproduktion und der ungekoppelten Wärmeproduktion und je höher die Grenzemissionen der ungekoppelten Stromproduktion und gekoppelten Wärmeproduktion sind.

Ein positiver komparativ-statischer Emissionseffekt:

$$q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v) > 0 \quad (3.123)$$

stellt andererseits eine hinreichende Bedingung für einen negativen KWK-Bonus bei Vorliegen nicht internalisierter externer Effekte dar.

3.7 Zusammenfassung der theoretischen Ergebnisse

Die Untersuchung der uniformen Outputsteuer zeigt, dass bei Existenz eines bindenden Emissionszertifikatemarktes - τ^* Fall A in untenstehender Tabelle 3.1 - kein Konflikt zwischen den Zielen der Behebung von marktmachtbedingten Unvollkommenheiten und von Marktunvollkommenheiten aufgrund externer Effekte besteht, denn die externen Effekte werden nicht beeinflusst. Vielmehr liefert die Gegenwart eines Emissionszertifikatemarktes neben der Marktmacht ein weiteres Argument⁶ für die Subvention der Produktion in Form einer negativen Outputsteuer, welche umso größer ausfällt, je höher die spezifischen Grenzemissionen sind. Demgegenüber entsteht ein Konflikt zwischen Markt- und Umweltpolitik, wenn anstelle des Emissionszertifikatemarktes eine Emissionssteuer eine lediglich teilweise Internalisierung der externen Effekte bewirkt. In diesem Fall ist die optimale Steuer positiv, wenn der Mark-up der Oligopolisten, $-P'q$, kleiner als der marginale nicht internalisierte Schaden der marginalen spezifischen Emissionen ist, wie anhand der an diesen Abschnitt angehängten Tabelle 3.1, τ^* Fall B ersichtlich wird.

Betrachten wir differenzierte Outputsteuern auf einem Markt mit Nachfragesegmenten mit unterschiedlicher Nachfrage nach Produkten, die in einem Produktionsprozess erstellt werden, erhalten wir Ergebnisse in Abhängigkeit von der Krümmung der inversen Nachfragen sowie der Krümmung der Kostenfunktionen, von denen die komparativ-statischen Effekte abhängen. Für die folgenden Ausführungen zur differenzierten Outputbesteuerung wird zur Vereinfachung angenommen, dass der komparativ-statische Emissionseffekt der Besteuerung des ersten Marktes größer als derjenige der Besteuerung des zweiten Marktes ist.

Existiert ein bindender Emissionszertifikatehandel, bedeutet dies, dass die optimale differenzierte Outputsteuer auf dem Markt, auf dem der komparativ-statische Emissionseffekt größer ist, eindeutig negativ ist. Diese Konstellation findet sich in der Tabelle 3.1, für τ_1^* im Fall A. In Hinblick auf die Outputsteuer auf dem zweiten Markt, auf dem der komparativ-statische Emissionseffekt kleiner ist, erhalten wir uneindeutige Ergebnisse. Wenn das Verhältnis der komparativ-statischen Emissions-

⁶Agieren die Unternehmen als Preisnehmer, verschwindet jeweils lediglich der Term des oligopolistischen Preisaufschlags, auch Mark-up genannt, in der Formel für die optimalen Regulierungen.

effekte der marktspezifischen Steuern kleiner ist, als durch eine von der Krümmung sowohl der Kostenfunktionen als auch der inversen Nachfrage auf dem zweiten Markt abhängigen Grenze vorgegeben, dann ist auch die optimale Outputsteuer auf dem zweiten Markt, auf dem der komparativ-statische Emissionseffekt kleiner ist, negativ. Dieser Schwellenwert wird überschritten, wenn der Emissionseffekt der Steuer auf dem ersten Markt wesentlich größer als der Emissionseffekt der Steuer auf dem zweiten Markt ist. In diesem Fall kann die optimale Outputsteuer auf dem zweiten Markt auch positiv sein und dies wird um so wahrscheinlicher, je größer die Differenz der komparativ-statischen Emissionseffekte und je größer der indirekte Outputeffekt der Steuer auf dem zweiten Markt ist - dargestellt in der zweiten Zeile von τ_2^* , Fall A der Tabelle.

Hingegen ist bei nicht vollständig internalisierender Emissionssteuer die optimale differenzierte Outputbesteuerung für den Markt mit dem größeren komparativ-statischen Emissionseffekt der Outputsteuer - τ_2^* , Fall B der Tabelle 3.1 - uneindeutig. Eine positive Outputbesteuerung ist in diesem Fall umso eher optimal, je größer der nicht internalisierte Grenzscha-den der Emissionen, je stärker der komparativ-statische Emissionseffekt der Steuer und je geringer der oligopolistische Mark-up auf dem betreffenden Markt ist. In Hinblick auf den zweiten Markt mit dem geringeren komparativ-statischen Effekt der Besteuerung auf die Emissionen muss für eine positive optimale Besteuerung zusätzlich gelten, dass dieser Emissionseffekt im Verhältnis zu dem komparativ-statischen Emissionseffekt auf dem ersten Markt nicht zu gering ist. Ist das Verhältnis der komparativ-statischen Emissionseffekte größer als der Schwellenwert, so ist die optimale Outputbesteuerung auf dem zweiten Markt eindeutig negativ. In der Tabelle ist dies der Fall B, τ_2^* untere Zeile.

Es lassen sich die Ergebnisse der Untersuchung der differenzierten Outputbesteuerung zusammenfassend folgendermaßen interpretieren: Existiert ein bindender Emissionshandel, so ist nur auf dem Markt mit dem geringeren komparativ-statischen Effekt der Besteuerung auf die Emission eine Besteuerung des Outputs aus theoretischer Sicht möglicherweise optimal, jedoch umweltpolitisch aufgrund unveränderter Gesamtemissionen unwirksam. Intuitiv kann dieses Resultat damit erklärt werden, dass eine positive Steuer auf dem Markt mit der weniger elastischen Nachfrage bei Emissionshandel dazu genutzt werden kann, Output zu dem Markt mit der elastischeren Nachfrage umzulenken. Ein anderes Ergebnis erhalten wir für die Situation, in der eine die externen Effekte nur unvollständig internalisierende Emissionssteuer

erhoben wird. In diesem Fall fällt die Steuer auf den Output umso höher aus, je stärker ihre Wirkung auf die Emissionen ist und umso niedriger, je größer der oligopolistische Mark-up ist. Dies kann über den auftretenden Zielkonflikt zwischen der Vermeidung externer Schäden und der Korrektur eines aufgrund von Marktmacht zu geringen Outputs erklärt werden.

Bei der theoretischen Analyse des Einspeisevergütungstarifs bei einer Einführung der Instrumente Emissionshandel oder Emissionssteuer erhalten wir qualitativ dieselben Ergebnisse wie bei der vorangegangenen Untersuchung der uniformen Outputsteuer, wie durch die Darstellung in der Tabelle beim Vergleich der Instrumente τ^* und ζ^* in der Tabelle 3.1 auffällt. Wird eine Pigousteuer eingeführt, deren Emissionssteuersatz dem Grenzscha-den entspricht, entspricht der optimale Tarif bei Abwesenheit eines oligopolistischen Mark-ups exakt dem Marktpreis. Bei stark unvollständiger Internalisierung durch eine Emissionssteuer und geringem oligopolistischen Mark-up liegt der optimale Einspeisevergütungstarif jedoch über dem Marktpreis. In diesem Fall fällt der optimale Einspeisevergütungstarif umso höher aus, je stärker seine Wirkung auf die Emissionen ist und umso niedriger, je größer der oligopolistische Mark-up ist. Dies kann wie bei der Outputsteuer über einen auftretenden Zielkonflikt zwischen der Vermeidung externer Schäden und der Korrektur eines aufgrund von Marktmacht zu geringen Outputs erklärt werden. Existiert andererseits ein Emissionshandel, liegt der optimale Einspeisevergütungstarif ζ^* eindeutig unterhalb des Marktpreises und ist umso geringer, je größer der Preisaufschlag der Oligopolisten und je höher der Preis der Emissionszertifikate ist. Dies kann dadurch erklärt werden, dass es in diesem Fall günstig ist die Produktion von konventionellen Anlagen durch den Einspeisevergütungstarif quasi zu subventionieren, da die Grenzkosten des konventionellen Sektors durch oligopolistisches Verhalten und die Belastung durch den Emissionshandel geringer sind als die Grenzkosten der Produktion erneuerbarer Energien.

Betrachten wir die Wirkung von Emissionsbesteuerung und Emissionshandel auf die Förderung der Stromproduktion in Kraft-Wärme-Kopplung durch den KWK-Bonus ϕ sind die Ergebnisse wie im Fall der differenzierten Outputsteuer abhängig von der Wirkung der Regulierung auf die Emissionen. Sinken die Grenzemissionen durch eine Erhöhung des KWK-Bonus bei Gegenwart eines Emissionshandels, so ist der optimale Bonus eindeutig negativ. Während das Sinken der Grenzemissionen durch eine Erhöhung des KWK-Bonus bei unvollständiger Emissionsbesteuerung

eine notwendige Bedingung für einen positiven KWK-Bonus ist. Steigen hingegen die Grenzemissionen durch eine Erhöhung des KWK-Bonus, ist der optimale Bonus bei Emissionshandel mit hohem Emissionszertifikatepreis und geringem oligopolistische Preisauflschlag positiv. Damit kann diese Regulierung ähnlich wie im Falle der differenzierten Outputsteuer bei Emissionshandel nur positiv sein, wenn hohe Emissionsintensitäten begünstigt werden. Dieses Ergebnis kann dadurch erklärt werden, dass der Emissionshandel zu einer besonderen Belastung emissionsintensiver Produktion führt und - da bei Emissionshandel die Emissionen eines spezifischen Sektors irrelevant sind - der Regulator versucht die Grenzkosten der emissionsintensiven Produktion zu verringern um zu einem Ausgleich der Grenzkosten der Produktion aller Technologien zu gelangen.

Fall	A	B
	$(\sigma > 0)$	$(S' > \tau_e)$
τ	$\tau^* < 0$	$-P'q \lesseqgtr (S' - \tau_e) \frac{e'_1}{q'} \Leftrightarrow \tau^* \gtrless 0$
$\tau_{1,2}$	$e'_1/e'_2 = \frac{P'_2(k+1)+P''_2Q_2}{P'_1(k+1)+P''_1Q_1} > 1$	
τ_1	$\tau_1^* < 0$	$-P'_1q_1 \lesseqgtr (S' - \tau_e) \frac{e'_1q'_{22}+e'_2q'_{11}}{q'_1q'_{22}+q'_{12}q'_{21}} \Leftrightarrow \tau_1^* \gtrless 0$
τ_2	$\tau_2^* < 0$	$-P'_2q_2 \lesseqgtr (S' - \tau_e) \frac{e'_2q'_{11}+e'_1q'_{12}}{q'_{11}q'_{22}+q'_{12}q'_{21}} \Leftrightarrow \tau_2^* \gtrless 0$
	$-P'_2q_2 \lesseqgtr -\sigma \frac{e'_2q'_{11}+e'_1q'_{12}}{q'_{11}q'_{22}+q'_{12}q'_{21}} \Leftrightarrow \tau_2^* \gtrless 0$	$\tau_2^* < 0$
ζ	$\zeta^* < P$	$-P' \frac{X}{k} \lesseqgtr (S' - \tau_e) \frac{e'_1}{q'} \Leftrightarrow \zeta^* \gtrless P$
ϕ	$q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v) < 0$	$-P' \frac{X}{k} \lesseqgtr (S' - \tau_e) \frac{q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v)}{q' + a'}$
	$q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v) > 0$	$\phi^* < 0$
	$-P' \frac{X}{k} \lesseqgtr -\sigma \frac{q'e^q + a'E_a + w'(E_w - e^v)}{q' + a'}$	$\phi^* \gtrless 0$

Tabelle 3.1: Die Regulierungen Outputsteuer τ , differenzierte Outputsteuer $\tau_{1,2}$, Einspeisevergütung ζ und KWK-Bonus ϕ bei Emissionshandel (A) und bei Emissionssteuer mit unvollständiger Internalisierung (B).

3.8 Anhang: Beweis von Lemma 1

Der Beweis von Lemma 1 lässt sich in zwei Schritten führen, die zeigen, dass der komparativ-statische Outputeffekt der konventionellen Produzenten unter den in Lemma 1 gegebenen Bedingungen negativ ist. Ist dies der Fall, so ist auch der komparativ-statische Emissionseffekt der konventionellen Produzenten negativ, denn dieser hat - wie aus (3.76) hervorgeht - das selbe Vorzeichen wie der betreffende Outputeffekt.

Es wird gezeigt, dass unter den getroffenen Annahmen erstens der Nenner, (3.75), und zweitens der Zähler von (3.73) negativ ist.

Für die Negativität des Ausdrucks (3.75) muss gelten:

$$C_{aa}(C_{ee}[A((k-1)(\zeta - P) + P'Q(A(k-1) + Q(1+k)) + P''Q^2(A+Q))] + (C_{eq}^2 - C_{qq}C_{ee})Q^2) < 0. \quad (3.124)$$

Da C_{aa} größer Null ist, ist (3.124) erfüllt, wenn

$$C_{ee}[A((k-1)(\zeta - P) + P''Q^2(A+kq))] < -(C_{eq}^2 - C_{qq}C_{ee})Q^2 - C_{ee}QP'(A(k-1) + Q(1+k))$$

gilt. Somit ist aufgrund der Annahme, $C_{eq}^2 - C_{qq}C_{ee} < 0$, $C_{ee} > 0$ die Bedingung

$$A(k-1)(\zeta - P) + P''Q^2(A+Q) < -P'Q(A(k-1) + Q(1+k))$$

oder nach Umformung

$$A((k-1)(\zeta - P) + Q^2P'' + P'(k-1))Q < -P'Q^2(k+1) - P''Q^3 \quad (3.125)$$

für (3.124) hinreichend. Weiterhin lässt sich zeigen, dass die linke Seite der Ungleichung (3.125) negativ sowie deren rechte Seite positiv ist.

Die linke Seite von Ungleichung (3.125) ist - da a und n positiv sind - negativ, wenn gilt

$$(k-1)(\zeta - P) + k^2q^2P'' + kqP'(k-1) < 0.$$

Diese Ungleichung lässt sich umformen zu:

$$P - P'Q - P''\frac{Q^2}{k-1} > \zeta$$

und ist annahmegemäß erfüllt.

Die rechte Seite von Ungleichung (3.125) ist äquivalent zu $-P''q/P' < \frac{k}{k+1}$ und gilt da $\frac{k}{k+1} < 1$ und $-P''q/P' < 1$. Somit ist gezeigt, dass die Annahmen hinreichend für die Negativität von (3.75) sind.

Es verbleibt zu zeigen, dass der Zähler von (3.73) ebenfalls negativ ist, also dass

$$C_{ee}nq((1-k)(aC_{aa} - P + \zeta) + nP'(A(k-1) + Q(k+1)) + QP''(A+Q)) < 0 \quad (3.126)$$

gilt. Da C_{ee} positiv ist, ist folgende Bedingung hinreichend für die Erfüllung von Ungleichung (3.126):

$$-nP'(A(k-1) + Q(k+1)) - QP''(A+Q) > (1-k)(aC_{aa} - P + \zeta). \quad (3.127)$$

Die rechte Seite von (3.127) ist negativ wenn $\zeta > P - aC_{aa}$ oder in Elastizitätenschreibweise wenn gilt:

$$\zeta > \frac{P}{1 + 1/\eta}. \quad (3.128)$$

Die Ungleichung (3.128) gilt jedoch per Annahme.

Der Beweis ist vollständig, wenn gezeigt werden kann, dass die linke Seite von (3.127) positiv ist, also:

$$-nP'(A(k-1) + Q(k+1)) - QP''(A+Q) > 0 \quad (3.129)$$

gilt. Durch Umformung erhalten wir:

$$\frac{n}{k(Q+A)}(A(k-1) + Q(k+1)) > -\frac{P''q}{P'}$$

und aufgrund der Annahme zur Steigungselastizität der Nachfrage, $1 > -\frac{P''q}{P'}$, ist

$$\frac{n}{k}\left(k\frac{Q+A}{Q+A} + \frac{Q-A}{Q+A}\right) > 1$$

hinreichend für (3.129). Die letzte Ungleichung lässt sich umformen zu:

$$Q > A\left(\frac{n+k-kn}{n+kn-k}\right)$$

und gilt für alle $n, k > 2$. QED.

Kapitel 4

Analyse von klimapolitischen Maßnahmen auf dem Energiemarkt mit Hilfe eines berechenbaren Gleichgewichtsmodells

Mit Hilfe des im Folgenden dargestellten berechenbaren Gleichgewichtsmodells zur Analyse des deutschen Strommarktes lassen sich in Ergänzung der theoretischen Analyse auch quantitative Aussagen in Bezug auf Emissions-, Produktions- und Wohlfahrtseffekte der klimapolitischen Regulierungen treffen. Hierbei handelt es sich um ein in der Computersprache GAMS¹ als MCP² programmiertes Parzialmodell des deutschen Strommarktes, welches durch den Solver PATH³ gelöst wird und auf einer

¹GAMS steht für General Algebraic Modelling System.

²MCP steht für Mixed Complementarity Problem. Es handelt sich dabei um ein restringiertes Optimierungsproblem mit Ungleichheitsrestriktionen und kann - wie im Folgenden - als Kuhn-Tucker-Problem dargestellt werden.

³Der Solver PATH ist ein an der Universität Wisconsin/Madison entwickelter Solver für großformatige MCPs. Für weitere Informationen siehe Ferris (2006) und die dort angegebene Literatur.

Modifikation des an der Universität Stuttgart entwickelten Modells LEMI⁴ beruht.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die im Modell verwendeten Daten und Annahmen zu den repräsentierten Technologien, dem Anlagenbestand und dessen Eigentümerstruktur sowie über die verwendeten Referenznachfragen erfolgen. Daran anschließend wird die für alle Simulationen verwendete Berechnung der Wohlfahrtseffekte dargestellt. In den Abschnitten 4.3 bis 4.5 erfolgt dann die Analyse der klimapolitischen Instrumente Ökosteuer, Einspeisevergütung und KWK-Bonus. Der Abschluss dieses Abschnittes erfolgt durch eine Zusammenfassung der Ergebnisse.

4.1 Repräsentierte Technologien, Anlagenbestand, Eigentumsstruktur und Referenznachfragen

Die für die Kosten und Klimagasemissionen der Produktion von Strom und Wärme in Deutschland grundlegenden Faktoren sind, zumindest in mittelfristiger Perspektive, die Brennstoffpreise, die Kohlenstoffgehalte der Brennstoffe und die Wirkungsgrade der eingesetzten Erzeugungsanlagen. Die Wirkungsgrade des Anlagenbestandes, also die Verhältnisse von produzierter und eingesetzter Energie, sind weitgehend von den eingesetzten Umwandlungsprozessen und dem Alter der Anlagen abhängig. Die wichtigsten eingesetzten Brennstoffe sind Uran, Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Erdöl. Erdöl verliert im Bereich der Elektrizitätserzeugung jedoch nach und nach an Bedeutung.

Die meist verwendeten Umwandlungstechnologien sind Gas- und Dampfturbinenprozesse, die für die Verbrennung von gasförmigen Energieträgern seit Mitte der 90er Jahre immer häufiger im kombinierten GuD⁵-Prozess eingesetzt werden und die mit rund 58 Prozent einen weit höheren Prozesswirkungsgrad als die getrennten Prozesse erreichen. Für die festen Brennstoffe Braunkohle und Steinkohle sowie für Kernkraftwerke werden bis heute in Deutschland ausschließlich die reinen Dampfturbinenprozesse mit Wirkungsgraden zwischen 32 und 43 Prozent genutzt. Die im Hinblick auf die Emissionen vielversprechende Druckkohlenstaubfeuerung oder Prozesse

⁴Liberalized Energy Market Investigation. Zu Grundlagen und Anwendung dieses Modells siehe Ellersdorfer et. al (2001).

⁵GuD steht für Gas- und Dampfturbine. In diesem Prozess wird die bei dem Betrieb von Gasturbinen normalerweise anfallende Abhitze teilweise einer Dampfturbine zugeführt.

Energieträger	Kraftwerks- klasse	Wirkungsgrad [kWh _{el} /kWh _{brenn}] ¹	Energieträgerpreis [€-cent/kWh _{brenn}]	CO ₂ -Emissions- faktor [kg/kWh]
Uran	klein	0,32	0,21	0,00
	groß	0,34	0,21	0,00
Braunkohle	alt	0,34	0,45	1,00
	neu	0,43	0,45	0,89
Steinkohle	alt	0,34	0,54	0,74
	neu	0,43	0,54	0,68
Erdgas	konventionell	~0,38	1,05	~0,54
	GuD	0,55	1,05	0,33
Erdöl	Gasturbine	0,33	0,84	0,84
	Dampfturbine	0,38	0,84	0,73

1) Der Wirkungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis von erzeugter Sekundärenergie und eingesetzter Primärenergie.

Tabelle 4.1: Technologierepräsentation des Deutschen Kraftwerksparks. Quelle: Eigene Berechnungen.

mit integrierter Vergasung der Kohle, die einen GuD-Prozess erlauben, scheinen unter der gegenwärtigen Regulierung und bei heutigen Emissionsberechtigungspreisen trotz Wirkungsgraden von bis zu 56 Prozent aufgrund hoher Investitionskosten nicht wettbewerbsfähig zu sein, da derartige Anlagen in Deutschland weder in Betrieb noch geplant sind. Jedoch wurden bei den auf Kohle als Brennstoff beruhenden Anlagen in den letzten Jahrzehnten signifikante Effizienzverbesserungen erreicht, sodass es sinnvoll ist, in diesem Bereich zumindest zwei Altersklassen zu unterscheiden. Der Anlagenbestand der mit Uran betriebenen Anlagen lässt sich in Bezug auf die variablen Produktionskosten gut durch zwei getrennte Größenklassen charakterisieren. An dieser Stelle ist noch der Einsatz von Motoren in Kleinkraftwerken zu erwähnen, der jedoch bisher weniger als ein Prozent des Stromaufkommens in Deutschland ausmacht und aufgrund dieses geringen Anteils ebenso wie die auf biogene Brennstoffe beruhenden Technologien nicht im Modell repräsentiert werden⁶.

Der Anlagenbestand im Bereich der thermischen Prozesse kann insgesamt durch eine Klassifizierung entsprechend der Tabelle 4.1 in zehn Klassen hinreichend abgebildet werden, welche sich durch Wirkungsgrade, Energieträgerpreise und Emissionsfaktoren grundlegend unterscheiden lassen. Hinzu kommt die Wasserkraft, für die

⁶Die von den Motoren und Biomasseanlagen bereitgestellte Arbeit wird lediglich von der Nachfrage abgezogen. Da diese Anlagen weitgehend unabhängig von den Großmarktpreisen gefahren werden, ist dies eine relativ unkritische Vereinfachung.

lediglich nicht brennstoffabhängige variable Produktionskosten entscheidend sind.

Der Anlagenbestand und dessen Altersstruktur lassen sich mit Hilfe der Abbildung 4.1 veranschaulichen. Hier wird deutlich, dass in den Jahren bis 2020 auch aufgrund des Kernenergieausstiegs ein großer Ersatzbedarf entsteht, der sich in den nächsten 15 Jahren auf etwa 60 Prozent des Bestandes beläuft, wenn ein stagnierender Verbrauch unterstellt wird. Neben diesen technischen Daten ist für ein oligopoli-

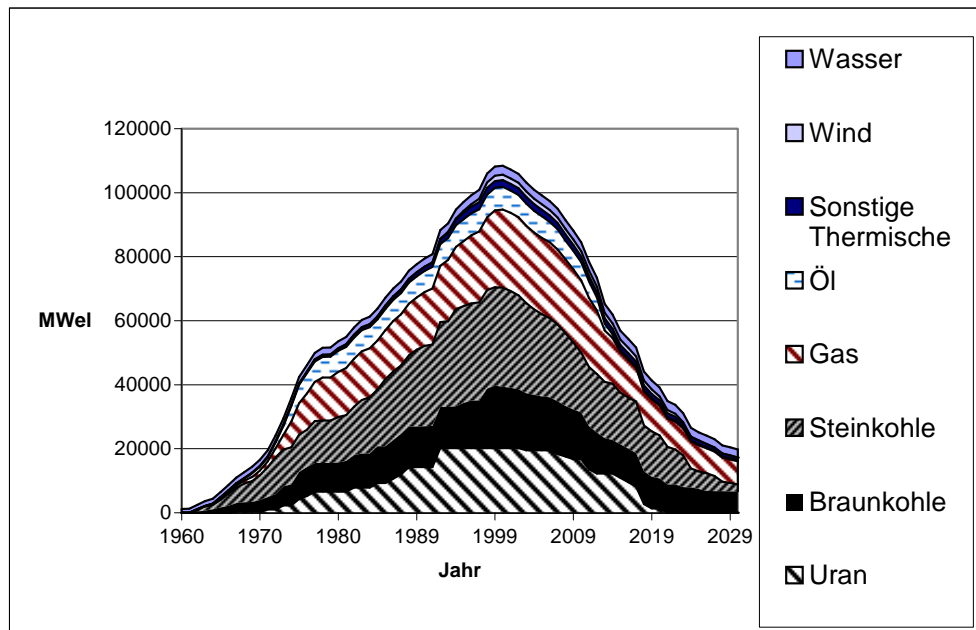


Abbildung 4.1: Sterbekurve des Deutschen Kraftwerksparks. Quelle: Eigene Berechnungen.

stisches Modell die Kontrolle über die Betriebsführung des Kraftwerksparks entscheidend, welche sich aus Abbildung 4.2 entnehmen lässt. Es lassen sich in Deutschland vier potenziell marktmächtige Unternehmen identifizieren, welche zusammen direkt oder durch mehrheitliche Beteiligung über 80 Prozent der abgebildeten elektrischen Anlagenleistung kontrollieren. Die verbleibenden knapp 20 Prozent der Anlagen werden zum größten Teil von rund 800 Stadtwerken betrieben die sich annahmegemäß preisnehmend verhalten und in den folgenden Abbildungen als Rest bezeichnet werden.

Bei einem Teil der in Abbildung 4.2 dargestellten Anlagen handelt es sich um Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die Strom und Wärme in einem Prozess produzieren können. Einen Überblick dieser im Bereich der Klimapolitik potenziell wichtigen

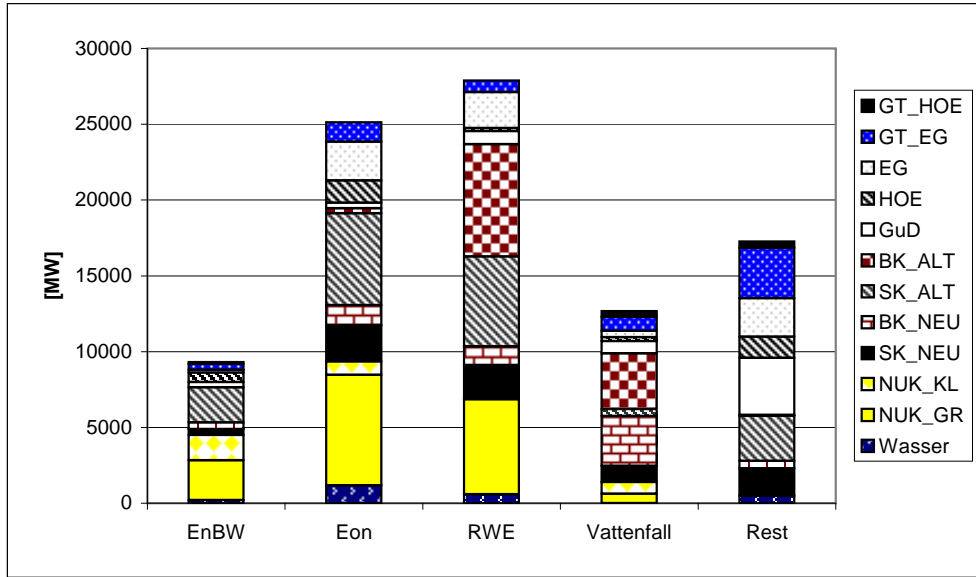


Abbildung 4.2: Kraftwerkspark der Deutschen Stromwirtschaft nach Akteuren.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Anlagen mit der Eigentumsstruktur in diesem Bereich liefert Abbildung 4.3.

Aus dem Anlagenbestand der Unternehmen lassen sich Grenzkostenfunktionen der Form $\alpha e^{\beta x}$ konstruieren, wobei der Exponentialfaktor β aus dem Verhältnis der Nennleistung und der maximalen jährlichen elektrischen Arbeit der Grundlastkraftwerke eines Anbieters und dem Verhältnis der variablen Kosten der Grund- und Spitzenlastkraftwerke resultiert. Das Verfahren zur Konstruktion der Grenzkostenfunktionen findet sich im Anhang zu diesem Kapitel.

Die Grenzkostenfunktion des Unternehmens i hat die Form

$$C_q^i(q^i) = a^i \exp\left(b^i \frac{q^i}{q_{\text{lim}}^i}\right), \quad (4.1)$$

wobei q_{lim}^i die maximale vom Unternehmen i produzierbare jährliche Arbeit und $C^i(q^i)$ die zugrundeliegende Kostenfunktion bezeichnet. Jeder Produktionsmenge q^i eines Produzenten i wird durch die Grenzemissionsfunktion

$$E_q^i(q^i) = c^i \exp\left(d^i \frac{q^i}{q_{\text{lim}}^i}\right) \quad (4.2)$$

genau eine marginale Emissionsmenge zugeordnet, wobei die zugrundeliegende Emissionsfunktion mit $E^i(q^i)$ bezeichnet wird. Das bedeutet, dass die Firmen nicht über Vermeidungsmöglichkeiten verfügen. Die Parameter a^i, b^i, c^i und d^i geben die

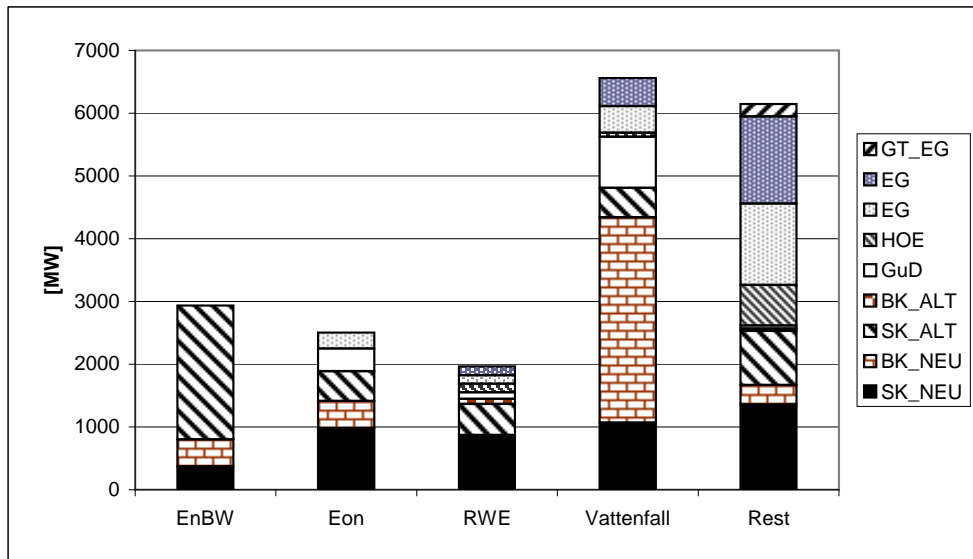


Abbildung 4.3: KWK-Kraftwerke der Deutschen Stromwirtschaft nach Akteuren.

Quelle: Eigene Berechnungen.

firmenspezifischen charakteristischen Achsenabschnitte und Steigungsparameter der beiden Funktionen an.

Für die Simulation der Einspeisevergütung wird zusätzlich die Berücksichtigung von Produzenten, die auf Basis von erneuerbaren Energien produzieren, nötig. Im Jahr 2004 belief sich die auf Basis erneuerbarer Quellen produzierte und durch die Einspeisevergütung geförderte Energie auf rund 37 Terrawattstunden - davon 24 Terrawattstunden erzeugt in Windenergieanlagen. Durch fortlaufenden Ausbau der Windkraftkapazitäten soll bei einer unterstellten Vergütung von 9 Eurocent pro Kilowattstunde bis zum Jahr 2006 eine Produktion von etwa 33 Terrawattstunden Windstrom jährlich erreicht werden (VDN 2005a). Weiterhin wird angenommen, dass sich die erste Einheit von Windstrom zu 3 Eurocent pro Kilowattstunde produzieren lässt.

Dieser Zusammenhang lässt sich bei unterstelltem exponentiellen Verlauf als

$$9 = 3 \exp(s \cdot 33) \quad (4.3)$$

beschreiben. Isolation des Exponentialfaktors s ergibt für s gerundet 0.0333. Die auf dieser Basis errechnete Grenzkostenfunktion des Windstromsektors stellt sich als:

$$C_{ren}(A) = 3 \exp(0.0333A) \quad (4.4)$$

dar, wobei A die gesamte im Windstromsektor produzierte jährliche Strommenge angibt.

Neben diesen Produktionsdaten für die Stromerzeugung erfordert die Simulation der Förderung der Produktion von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung Daten für die Abbildung der getrennten Wärmeerzeugung. Hierfür werden die von der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt 2005) veröffentlichten Wirkungsgrade und Emissionswerte für Anlagen bestverfügbarer Techniken genutzt. Da diese Daten jedoch für Neuanlagen gelten, sind sie mit einem die technische Entwicklung und das Alter der Anlagen in Betrieb berücksichtigenden Effizienzabschlag anzupassen. Die für die Repräsentation der getrennten Wärmeerzeugung v in Kilowattstunden unterstellte Kosten- und Emissionsfunktionen lauten in Eurocent und Kilogramm CO_2 pro Kilowattstunde:

$$c(v) = 1v \quad (4.5)$$

und

$$e(v) = 0.35v. \quad (4.6)$$

Die in allen Technologien insgesamt jährlich produzierte Strommenge summiert sich zu X . Diese Menge entspricht bei der Untersuchung der Ökosteuer der Summe der sektoralen Stromangebote aller Unternehmen, die mit konventioneller Technologie produziert werden: $X = Q = \sum_{sec \in SEC} \sum_{i=1}^k q_{sec}^i$, wobei mit sec ein Sektor aus der Menge der Sektoren SEC - Haushalte, Dienstleistungen und Gewerbe sowie schwere und leichte Industrie - , bezeichnet wird. Bei der Untersuchung der Einspeisevergütung setzt sich die jährlich produzierte Strommenge aus der Summe aus konventioneller und erneuerbarer Produktion, $X = Q + A = \sum_{i=1}^k q^i + A$, und bei der Untersuchung des KWK-Bonus aus der Summe aus ungekoppelter und gekoppelter Produktion, $X = Q + O + A = \sum_{i=1}^k (q^i + o^i + a^i)$, mit $q^i + o^i + a^i = x^i$, zusammen. Die gesamte Produktion und das gesamte Angebot aller Produzenten bis auf die des Produzenten i wird mit $-i$ indiziert, sodass wir folgende Beziehungen erhalten: $q^{-i} = Q - q^i$, $q_{sec}^{-i} = \sum_{j \neq i} q_{sec}^j$ und $a^{-i} = A - a^i$.

Der Marktanteil der Firma i im Strommarkt wird mit ϑ^i und der sektorale Marktanteil der Firma i im Strommarkt wird mit ϑ_{sec}^i bezeichnet. In Abhängigkeit von ihrem Marktanteil werden zwei Verhaltensweisen der Unternehmen unterstellt: Oligopolistisches Verhalten und preisnehmendes Verhalten. Die Oligopolisten berück-

sichtigen, im Gegensatz zu den Preisnehmern, die Preisreaktion ihrer Outputentscheidung. Dieser Unterschied in der Verhaltensweise der Unternehmen wird durch die Binärvariable l^i abgebildet. Verhält sich das Unternehmen i oligopolistisch, so ist $l^i = 1$ und sonst ist $l^i = 0$.

Die Nachfrageseite wird durch isoelastische inverse Nachfragefunktionen der einzelnen Sektoren abgebildet. Die im Modell verwendeten jährlichen Referenznachfragen betragen 124 Terrawattstunden für Haushalte, 120 Terrawattstunden für den Sektor Dienstleistungen und Gewerbe sowie 180 Terrawattstunden für die leichte und 159 Terrawattstunden für die schwere Industrie. Der absolute Wert der sektoralen Nachfrageelastizität ϵ_{sec} wird geschrieben als

$$\epsilon_{\text{sec}} = \left| \frac{dX_{\text{sec}}}{dP_{\text{sec}}(X_{\text{sec}})} \frac{P_{\text{sec}}^0(X_{\text{sec}})}{X_{\text{sec}}^0} \right|, \quad (4.7)$$

wobei mit P_{sec}^0 und X_{sec}^0 die sektoralen Referenznachfragen und Referenzpreise bezeichnet werden. Neben dem Grenzscha-den der Emission von Kohlendioxid lässt sich auch die Nachfrageelastizität für Energie nur schwer abschätzen. Die Schätzungen, die sich in der Literatur finden, variieren stark.⁷ Für die Simulation wird daher die Elastizität genutzt, um das Modell mittels Reproduktion der Referenzdaten zu kalibrieren. Hieraus ergeben sich - je nach Modellvariante - Elastizitäten von etwa 0,4.

4.2 Wohlfahrt

Zur Berechnung der Wohlfahrtsdifferenz zweier Szenarien, der Nettorente NR , bilden wir die Differenz von Bruttorenten und der Summe aus Kosten und Schäden zweier Szenarien:

$$\Delta NR = \Delta BR - \Delta \sum_{i=1}^k C^i(q^i) - \Delta S(E). \quad (4.8)$$

Die Bruttorente BR kann, wenn mit X_{sec}^1 und X_{sec}^2 die sektoralen Outputmengen vor und nach der Politikänderung bezeichnet werden, mit Hilfe folgender Formel

⁷In den meisten Studien in der Literatur sind Nachfrageelastizitäten zwischen 0.05 und 0.9 zu finden. Vgl. beispielsweise Halvorsen/Larsen (1999) oder Maddala (1997).

berechnet werden:

$$\Delta BR = \sum_{sec} \int_{X_{sec}^1}^{X_{sec}^2} \left(\frac{P(Z)}{P^0} \right)^{-\epsilon_{sec}} dz =$$

$$\sum_{sec} P_{sec}^0 (X_{sec}^0)^{\frac{1}{\epsilon_{sec}}} \frac{1}{\epsilon_{sec} - 1} \left((X_{sec}^2)^{\frac{\epsilon_{sec} - 1}{\epsilon_{sec}}} - (X_{sec}^1)^{\frac{\epsilon_{sec} - 1}{\epsilon_{sec}}} \right). \quad (4.9)$$

Die Änderung von Kosten und Schäden lässt sich bei konstantem Grenzscha- den und wenn der Output der Firma i vor und nach der Politikänderung mit $q^{i,1}$ und $q^{i,2}$ bezeichnet wird, durch:

$$\Delta \sum_{i=1}^k C^i(q^i) = \sum_{i=1}^k (C^i(q^{i,2}) - C^i(q^{i,1})) \quad (4.10)$$

und

$$\Delta S(E) = S' \sum_{i=1}^k (E^i(q^{i,2}) - E^i(q^{i,1})) \quad (4.11)$$

berechnen, wobei die Schäden bei den im Folgenden beschriebenen Simulationen durch die übrigen Instrumente bei Emissionshandel unverändert bleiben.

4.3 Die Outputsteuer

Die Unternehmensgewinne im numerischen Modell enthalten sämtliche Komponenten des theoretischen Modells⁸. Die vier Nachfragegruppen können durch sektoral unterschiedliche Outputsteuern τ_{sec} besteuert werden und der Haushaltsverbrauch wird zusätzlich durch Mehrwertsteuern φ_{sec} belastet. Auf der Produktionsseite muss hier im Gegensatz zu der Analyse durch das theoretische Modell von einer Beschränkung der Produktionskapazität der entsprechend der Situation auf dem deutschen Energiemarkt asymmetrischen Akteure ausgegangen werden. Dies führt zu einem restringierten Optimierungsproblem des Kuhn-Tucker-Typs.

Die Lagrangefunktion der Unternehmen kann folgendermaßen formuliert werden:

$$L^i(q_{sec}^i, q_{sec}^{-i}, e^i) = \sum_{sec \in SEC} \frac{P_{sec}(X_{sec})}{1 + \varphi_{sec}} q_{sec}^i - C^i(q^i) - \tau_{sec} q_{sec}^i - \sigma E^i(q^i) - \kappa^i (q^i - q_{lim}^i), \quad sec \in SEC, \quad i = 1 \dots k. \quad (4.12)$$

Durch Differenzierung der Lagrangefunktion (4.12) nach dem sektoralen Output q_{sec}^i und dem Lagrangemultiplikator κ^i erhalten wir bei Verwendung der Grenzkosten- und Grenzemissionsfunktionen (4.1) und (4.2) die Kuhn-Tucker-Bedingungen der Unternehmen für die Sektoren, welche als:

$$\begin{aligned} \frac{P_{sec}(X_{sec})}{1 + \varphi_{sec}} \left(1 - \frac{\vartheta_{sec}^i}{\epsilon_{sec}} l^i \right) &\leq \kappa^i + C_q^i(q^i) + \tau_{sec} + \sigma E_q^i(q^i), \\ q_{sec}^i \left(\frac{P_{sec}(X_{sec})}{1 + \varphi_{sec}} \left(1 - \frac{\vartheta_{sec}^i}{\epsilon_{sec}} l^i \right) - \kappa^i - C_q^i(q^i) - \tau_{sec} - \sigma E_q^i(q^i) \right) &= 0 \end{aligned}$$

und

$$q_{sec}^i \geq 0, q_{lim}^i - q^i \geq 0, \kappa^i \geq 0, \kappa^i (q^i - q_{lim}^i) = 0, \quad \forall sec \in SEC, \quad i = 1 \dots k \quad (4.13)$$

geschrieben werden können⁹.

Im Gleichungssystem (4.13) ist κ^i der Schattenpreis der Kapazitätsrestriktion des i ten Erzeugers. Erreicht die Produktion einer Firma die Produktionsgrenze, gewährleistet der Schattenpreis die Erfüllung der ersten Relation von (4.13) mit Gleichheit.

⁸Vgl. Kapitel 3, Abschnitt 4.

⁹Für eine Beschreibung des Kuhn-Tucker Problems und der Darstellung der Optimalitätsbedingungen entsprechend der hier gewählten Form siehe Chiang (1984), S. 722-726.

4.3.1 Die einheitliche Outputsteuer bei Emissionshandel

Aus der theoretischen Analyse der Outputsteuer bei Gegenwart eines Emissionshandels geht hervor, dass diese, sofern sie auf einem einheitlichen Markt mit nur einer Nachfragegruppe angewendet wird, unabhängig vom Marktpreis für Zertifikate optimalerweise negativ ist. In diesem Fall kann die Output- oder Ökosteuernicht als klimapolitisches, sondern lediglich als marktpolitisches Instrument genutzt werden.

Die folgende Untersuchung geht den Fragestellungen nach, ob die Ergebnisse der theoretischen Analyse durch eine durch Verwendung realer Daten gestützten Simulation des Strommarktes in Deutschland bestätigt werden und wie groß die Wirkung des Emissionshandels auf die durch Outputsteuern zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bewirkten Effekte hinsichtlich der Gesamtproduktion, der Emission und der Wohlfahrt ist.

Im Fall der einheitlichen Outputbesteuerung gehen die Wirkungen auf den Output und die Emissionen grundsätzlich in die gleiche Richtung, wie die Abbildung 4.4 verdeutlicht: Bei Einführung einer negativen Steuer - mit anderen Worten einer Subventionierung des Outputs - sind sowohl Output als auch Emissionseffekt positiv und bei Einführung eines positiven Steuersatzes negativ. Quantitativ erhalten wir bei einem Emissionspreis von Null, einer Outputbesteuerung in Höhe von 2 Eurocent pro Kilowattstunde und einer isoelastischen Nachfrage der Elastizität von $0,4$ eine Reduktion der Produktion um rund 100 Terrawattstunden und eine Emissionsreduktion um rund 47 Mt CO_2 jährlich. Dem Betrag nach entsprechen diese Wirkungen in etwa denen einer Subvention in Höhe von 1 Eurocent pro Kilowattstunde. Folglich zeigt sich in dieser Situation, dass das an dem Output ansetzende Instrument Ökosteuern für die Marktpolitik wirksamer als für die Umweltpolitik ist. Die Wohlfahrtseffekte, die sich aus Subvention und Besteuerung zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde ergeben, lassen sich ebenfalls aus der Abbildung 4.4 entnehmen.

In dem untersuchten Bereich der Outputregulierung bestätigen die quantitativen Ergebnisse die theoretischen Resultate: Die optimale Outputbesteuerung ist für alle Emissionszertifikatepreise negativ. Die berechneten Wohlfahrtsverluste durch die gegenwärtige Besteuerung in Höhe von nominal 2 Eurocent pro Kilowattstunde bei einem Emissionszertifikatepreis von 0 belaufen sich auf rund 400 Millionen Euro jährlich.

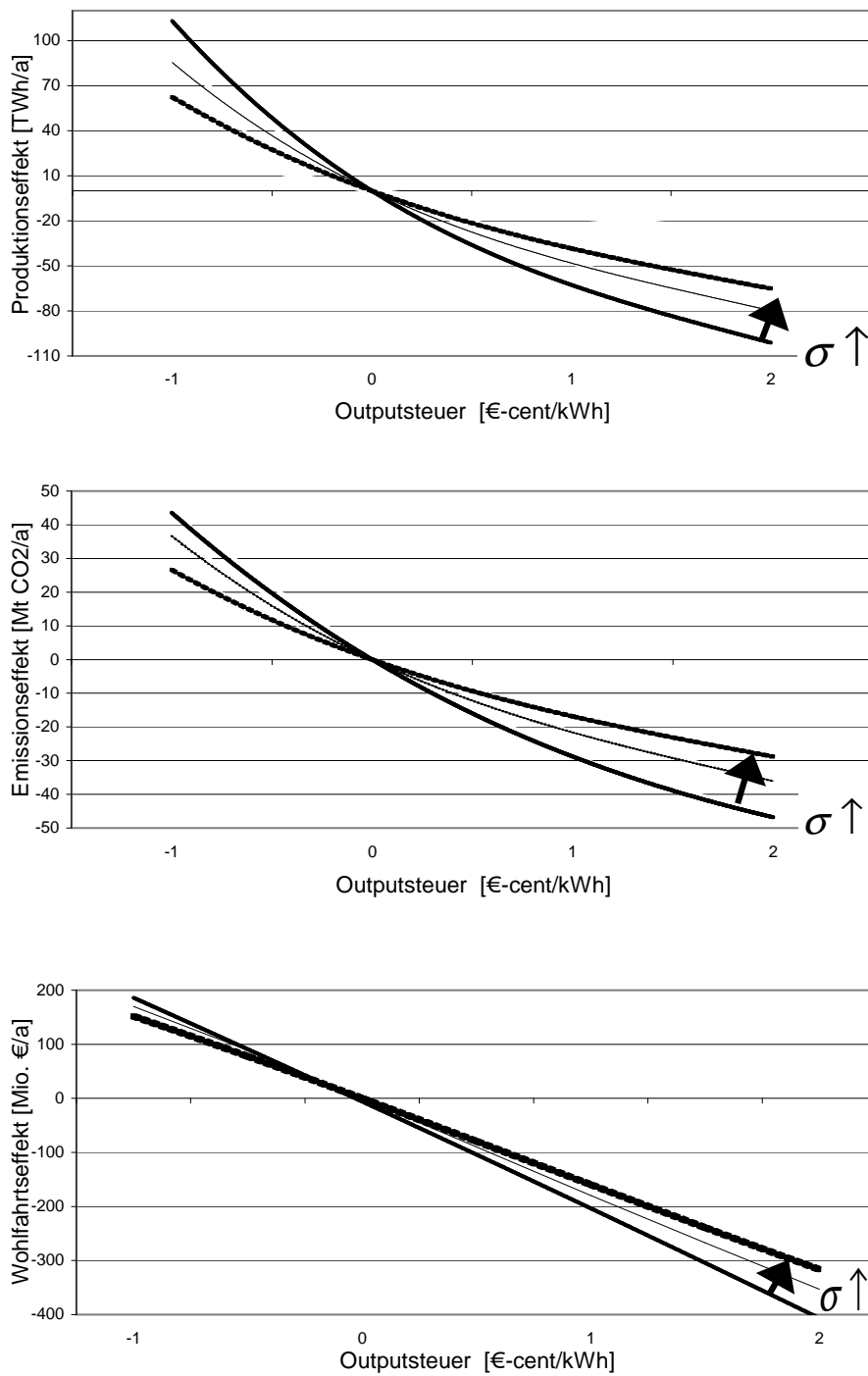


Abbildung 4.4: Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Outputsteuer zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatepreissteigerung von 0 über 10 auf 20 Euro pro Tonne CO₂.

Steigen die Emissionszertifikatepreise auf ein Niveau von 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂ bleiben die Ergebnisse qualitativ unverändert. Die Effekte auf die Größen Emission, Produktion und Wohlfahrt gehen jedoch zurück. Betrachten wir anhand der Abbildung 4.4 die Wirkung einer Outputsteuer in Höhe von 2 Eurocent pro Kilowattstunde nun bei einem Emissionszertifikatepreis von 20 Euro pro Tonne, beträgt der Produktionsrückgang nur noch rund 65 Terrawattstunden, der Emissionsrückgang knapp 29 Millionen Tonnen CO₂ und der Wohlfahrtsverlust gut 300 Millionen Euro.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die in der untersten Grafik von Abbildung 4.4 dargestellten Wohlfahrtseffektkurven durch steigende Emissionszertifikatepreise gegen den Uhrzeigersinn um den Ursprung gedreht werden und dies bedeutet, dass die Wohlfahrtseffekte sowohl einer Besteuerung als auch einer Subvention geringer werden.

4.3.2 Die differenzierte Outputsteuer bei Emissionshandel

Durch die theoretische Untersuchung der nach Nachfragesektoren unterschiedlicher Elastizität differenzierten Outputsteuer konnte nicht ausgeschlossen werden, dass auf dem Markt mit dem geringeren komparativ-statischen Emissionseffekt eine Outputbesteuerung optimal ist. Für den Markt mit dem größeren komparativ-statischen Emissionseffekt hingegen ist aus theoretischer Sicht in jedem Fall eine Subvention optimal, wie aus der Tabelle 1 des Kapitels 3 hervorgeht.

In der quantitativen Untersuchung der differenzierten Outputbesteuerung wird die Besteuerung des Haushaltssektors, der die am wenigsten elastische Nachfrage aufweist und dessen Besteuerung daher den geringsten Emissionseffekt hat, im Bereich zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde untersucht, wobei gleichzeitig die Nachfrage der sich aus den übrigen Nachfragesektoren zusammensetzenden Nachfragegruppe mit der elastischeren Nachfrage konstant in Höhe von 1 Eurocent pro Kilowattstunde subventioniert wird. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind in der Abbildung 4.5 zusammengefasst.

Betrachten wir zunächst den Fall eines Emissionszertifikatepreises von Null Euro pro Tonne CO₂ (in den Grafiken von Abbildung 4.5 handelt es sich um die mit einem Kreis markierten Datenpunkte), so lassen sich qualitativ dieselben Ergebnisse

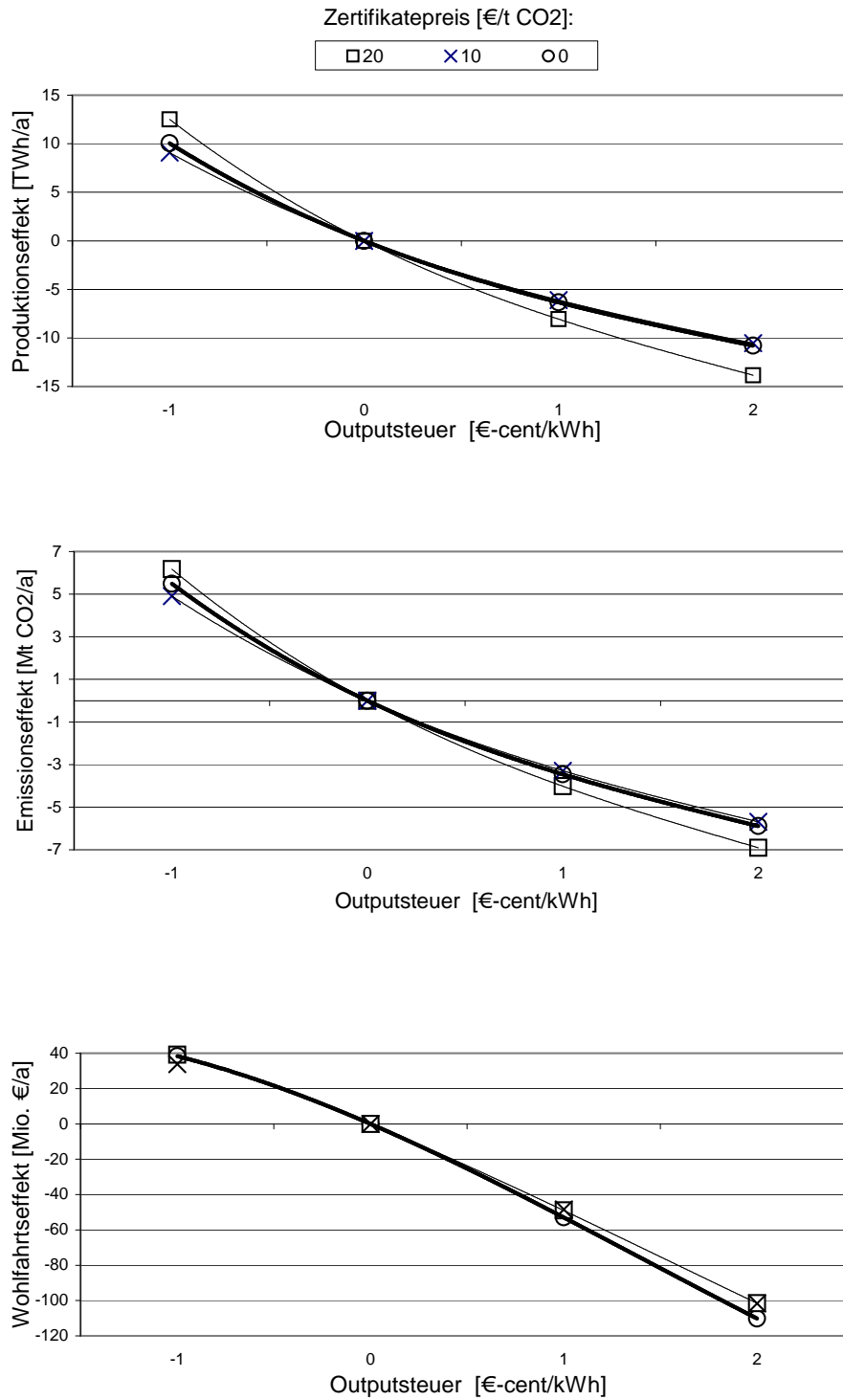


Abbildung 4.5: Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Outputbesteuerung des Haushaltssektors zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bei gleichzeitiger Subventionierung der übrigen Sektoren mit 1 Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatspreisen von 0 , 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂.

in Bezug auf die Wirkung der unterschiedlichen Besteuerung zwischen -1 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde festhalten: Eine Besteuerung zwischen 0 und 2 Eurocent pro Kilowattstunde bewirkt einen Rückgang von Produktion, Emission und Wohlfahrt, während eine Subvention in Höhe von einem Eurocent pro Kilowattstunde diese Größen anwachsen lässt.

Die Auswirkung der Erhöhung des Emissionszertifikatepreises auf Werte von 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2 auf die Produktions- Emissions und Wohlfahrtseffekte der Besteuerung des Haushaltssektors sind, im Gegensatz zur einheitlichen Besteuerung, nicht eindeutig, wie die Grafiken der Abbildung 4.5 illustrieren. Betrachten wir die Wirkung der Outputbesteuerung auf die Produktion und die Emissionen, so zeigt sich, dass eine Erhöhung des Emissionszertifikatepreises von 0 auf 10 Euro pro Tonne CO_2 diese Größen praktisch unverändert lässt. Wird der Emissionszertifikatepreis hingegen auf 20 Euro pro Tonne CO_2 erhöht, erhalten wir einen verstärkten Rückgang der Produktion und der Emission durch die Besteuerung und eine Erhöhung der positiven Effekte bei Subventionierung.

In Hinblick auf die Wohlfahrt ist die Situation differenzierter. Zur Bewertung muss hier zwischen Subvention und Besteuerung unterschieden werden. Der Effekt der Erhöhung des Emissionszertifikatepreises auf Werte von 10 und 20 Euro pro Tonne CO_2 auf die Wohlfahrtswirkung der Emissionsbesteuerung ist in beiden Fällen negativ und darüber hinaus quantitativ von etwa gleicher Höhe. Die Wohlfahrtswirkung der Subvention in Höhe von 1 Eurocent pro Kilowattstunde verringert sich bei Erhöhung des Emissionszertifikatepreises auf 10 Euro pro Tonne CO_2 und erhöht sich wieder in etwa auf das Niveau bei einem Emissionszertifikatepreis von 0 Euro pro Tonne CO_2 bei Emissionszertifikatepreisen von 20 Euro pro Tonne CO_2 entsprechend der unteren Grafik der Abbildung 4.5. Zusammenfassend lassen sich somit keine eindeutigen Aussagen über die Effekte der Emissionszertifikatepreise auf die Wirkung der differenzierten Besteuerung treffen.

4.4 Die Einspeisevergütung

Die Gewinngleichungen der konventionellen Energieproduzenten enthalten auch hier dieselben Argumente, die für die theoretische Analyse¹⁰ benötigt werden. Die nun asymmetrischen Firmen sind jedoch durch die installierten Produktionskapazitäten q_{lim}^i in ihrem Angebot beschränkt und verhalten sich ab einem bestimmten Marktanteil als Oligopolisten und andernfalls als Preisnehmer.

Das restringierte Optimierungsproblem der Firmen lässt sich wie folgt formulieren:

$$\begin{aligned} L^i(q^i, q^{-i}, e^i, A) = & P(X)q^i - C(q^i) + (P(X) - \zeta) \frac{Aq^i}{Q} \\ & - \sigma E^i(q^i) - \kappa^i(q^i - q_{\text{lim}}^i), \quad i = 1 \dots k. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Die zugehörigen Kuhn-Tucker-Bedingungen der Erzeuger erhalten wir durch Differenzierung nach dem Output q^i und nach dem Lagrangemultiplikator κ^i . Dies liefert, wenn zur Vereinfachung der Darstellung für die inverse Nachfrage P anstelle von $P(X)$ geschrieben wird:

$$\begin{aligned} P + (P - \zeta) \frac{A}{Q} - l^i \left((P - \zeta) \frac{A}{Q} + \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i & \leq \kappa^i + C_q^i(q^i) + \sigma E_q^i(q^i), \\ q^i \left(P + (P - \zeta) \frac{A}{Q} - l^i \left((P - \zeta) \frac{A}{Q} + \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i - \kappa^i - C_q^i(q^i) - \sigma E_q^i(q^i) \right) & = 0 \end{aligned}$$

und

$$q^i \geq 0, q_{\text{lim}}^i - q^i \geq 0, \kappa^i \geq 0, \kappa^i(q_{\text{lim}}^i - q^i) = 0, \quad i = 1 \dots k. \quad (4.15)$$

Hier bezeichnet κ^i , wie im vorigen Abschnitt, den Schattenpreis der Restriktion der Produktionskapazität von Erzeuger i . Die übrigen Variablen entsprechen denen des theoretischen Modells.

Der Sektor der Windstromproduktion wird über die aggregierte Angebotsfunktion im Modell dargestellt, die sich bei unterstelltem preisnehmendem Verhalten der Produzenten aus der Grenzkostenfunktion (4.4) als

$$A(\zeta) = \frac{\ln(\zeta/3)}{0,0333} \quad (4.16)$$

ergibt.

¹⁰Vgl. Kapitel 3, Abschnitt 5.

4.4.1 Die Einspeisevergütung bei Emissionshandel

Vor dem Hintergrund der theoretischen Untersuchung der Einspeisevergütung, welche bei Vorliegen eines symmetrischen Oligopols der konventionellen Oligopolisten einen optimalen Einspeisevergütungstarif unterhalb des Marktpreises postuliert, stellt sich die Frage, wie hoch der optimale Tarif ausfällt, wenn das oben beschriebene Simulationsmodell herangezogen wird und wie der Emissionshandel auf die optimale Vergütung wirkt.

Unterstellen wir zunächst einen Emissionszertifikatepreis von Null, erhalten wir entsprechend der Abbildung 4.6 eindeutig positive Produktionseffekte und eindeutig negative Emissions- und Wohlfahrtseffekte für sämtliche Einspeisevergütungstarife zwischen 3 und 5 Eurocent pro Kilowattstunde. Durch den Einfluss höherer Emissionszertifikatepreise wird die Wirkung der Einspeisevergütung hingegen uneindeutig.

So erhalten wir durch einen Vergleich der Wirkungen eines Einspeisevergütungstarifes von 6 Eurocent pro Kilowattstunde bei einem Emissionszertifikatepreis von Null mit der entsprechenden Wirkung bei Emissionszertifikatepreisen von 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂ uneindeutige Ergebnisse. Während der positive Produktionseffekt bei einem Emissionszertifikatepreis von 20 Euro pro Tonne CO₂ gegenüber dem Referenzszenario um knapp eine Terrawattstunde auf über zwei Terrawattstunden steigt, sinkt dieser Effekt durch einen Emissionszertifikatepreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ deutlich und wird sogar negativ.

Der für die untersuchten Emissionszertifikatepreise eindeutig negative Emissions-effekt eines Einspeisevergütungstarifes von 6 Eurocent pro Kilowattstunde wird dagegen durch die Erhöhung des Emissionszertifikatepreises auf 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂ verstärkt. Bei 10 Euro pro Tonne CO₂ ist der Effekt quantitativ jedoch größer als bei 20 Euro pro Tonne CO₂ und beträgt mehr als 9 Millionen Tonnen CO₂, wie sich aus der mittleren Grafik von Abbildung 4.6 entnehmen lässt. Letztlich wird der negative Wohlfahrtseffekt eines Tarifes in Höhe von 6 Eurocent pro Kilowattstunde durch den Emissionszertifikatepreis in uneindeutiger Richtung beeinflusst. In den Emissionszertifikatepreisszenarien Null und 10 Euro pro Tonne CO₂ beträgt der Wohlfahrtsverlust rund 55 Millionen Euro jährlich und bei einem Emissionszertifikatepreis von 20 Euro pro Tonne CO₂ knapp 49 Millionen Euro jährlich.

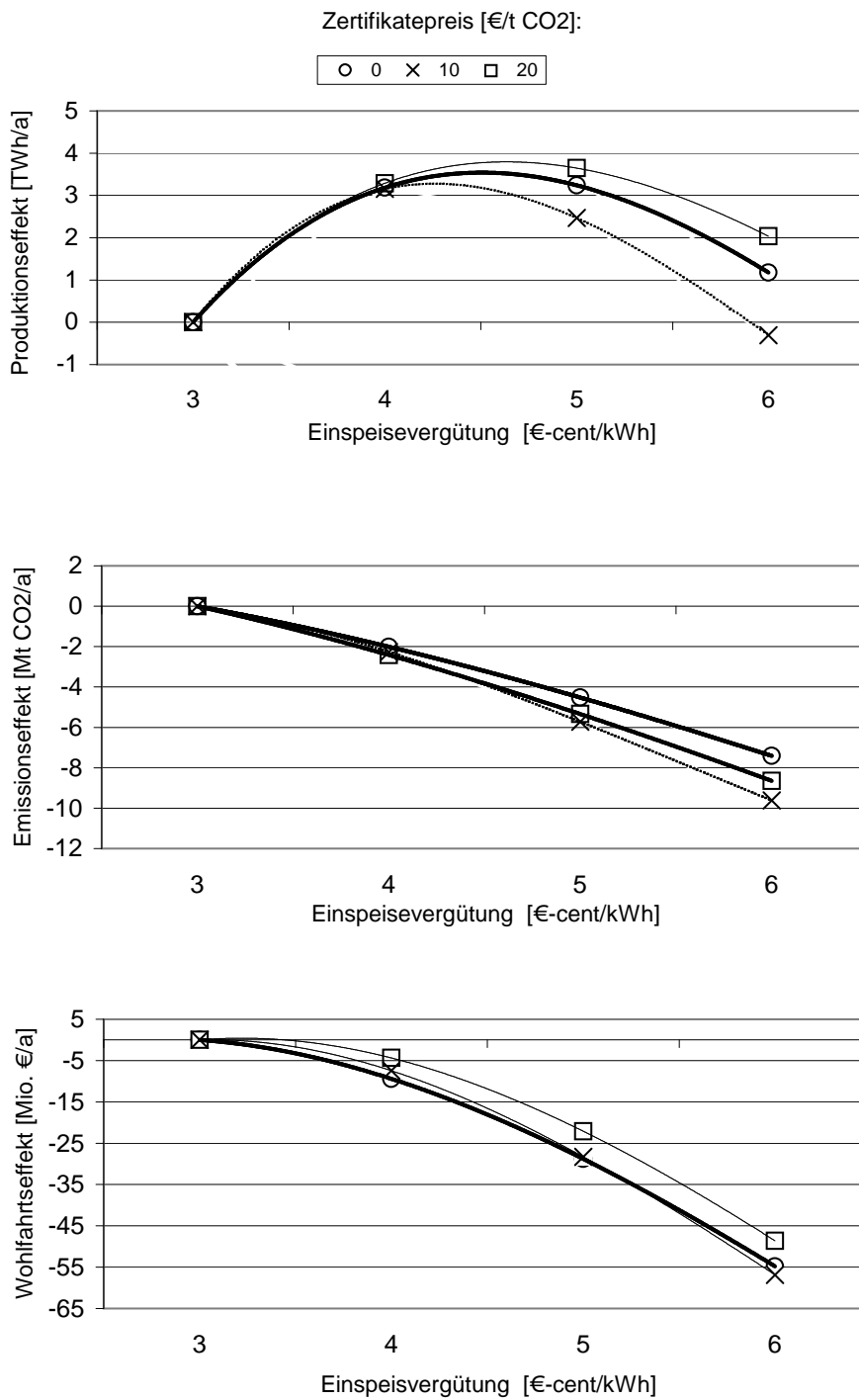


Abbildung 4.6: Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Einspeisevergütung zwischen 3 und 4,5 Eurocent pro Kilowattstunde gegenüber keiner Einspeisung bei Emissionszertifikatepreisen von 0, 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂.

Die Effekte geringerer Einspeisevergütungen sind wesentlich unklarer. Daher wird die Wirkung von Tarifen zwischen 3 und 4,5 Eurocent pro Kilowattstunde mit Hilfe der folgenden Abbildung 4.7 für die verschiedenen Emissionszertifikatepreisszenarien gesondert analysiert. Betrachten wir den Produktionseffekt der abgebildeten Tarife, so lassen sich beim Vergleich der Emissionszertifikatepreisszenarien 0 und 20 Euro pro Tonne CO₂ kaum Unterschiede feststellen. Im Vergleich zu diesen Szenarien steigt der Produktionseffekt bei einem Emissionszertifikatepreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ bei Einspeisevergütungstarifen bis zu rund 4 Eurocent pro Kilowattstunde und sinkt bei höheren Tarifen.

Im Gegensatz zu den Produktionseffekten werden die negativen Emissionseffekte der betrachteten Einspeisevergütungstarife durch eine Änderung des Emissionszertifikatepreises von Null auf 20 Euro pro Tonne CO₂ deutlich beeinflusst - das heißt auf knapp 4 Millionen Tonnen CO₂ Emissionsreduktion vergrößert. Die Wirkung der Einspeisevergütung auf die Emission bei einer Änderung des Emissionszertifikatepreises von Null auf 10 Euro pro Tonne CO₂ ist dagegen abhängig von der Höhe des Tarifes. Bei Tarifen oberhalb von 3,7 Eurocent pro Kilowattstunde wird der Emissionseffekt in diesem Fall durch die höheren Emissionszertifikatepreise verstärkt und unterhalb dieser Grenze vermindert.

Die negativen Wohlfahrtseffekte von Einspeisevergütungen in dem Bereich zwischen 3 und 4,5 Eurocent pro Kilowattstunde werden durch höhere Emissionszertifikatepreise geringer und bei Emissionszertifikatepreisen von 20 Euro pro Tonne CO₂ bei Einspeisevergütungen zwischen 3 und 3,5 Eurocent pro Kilowattstunde unerheblich oder sogar positiv.

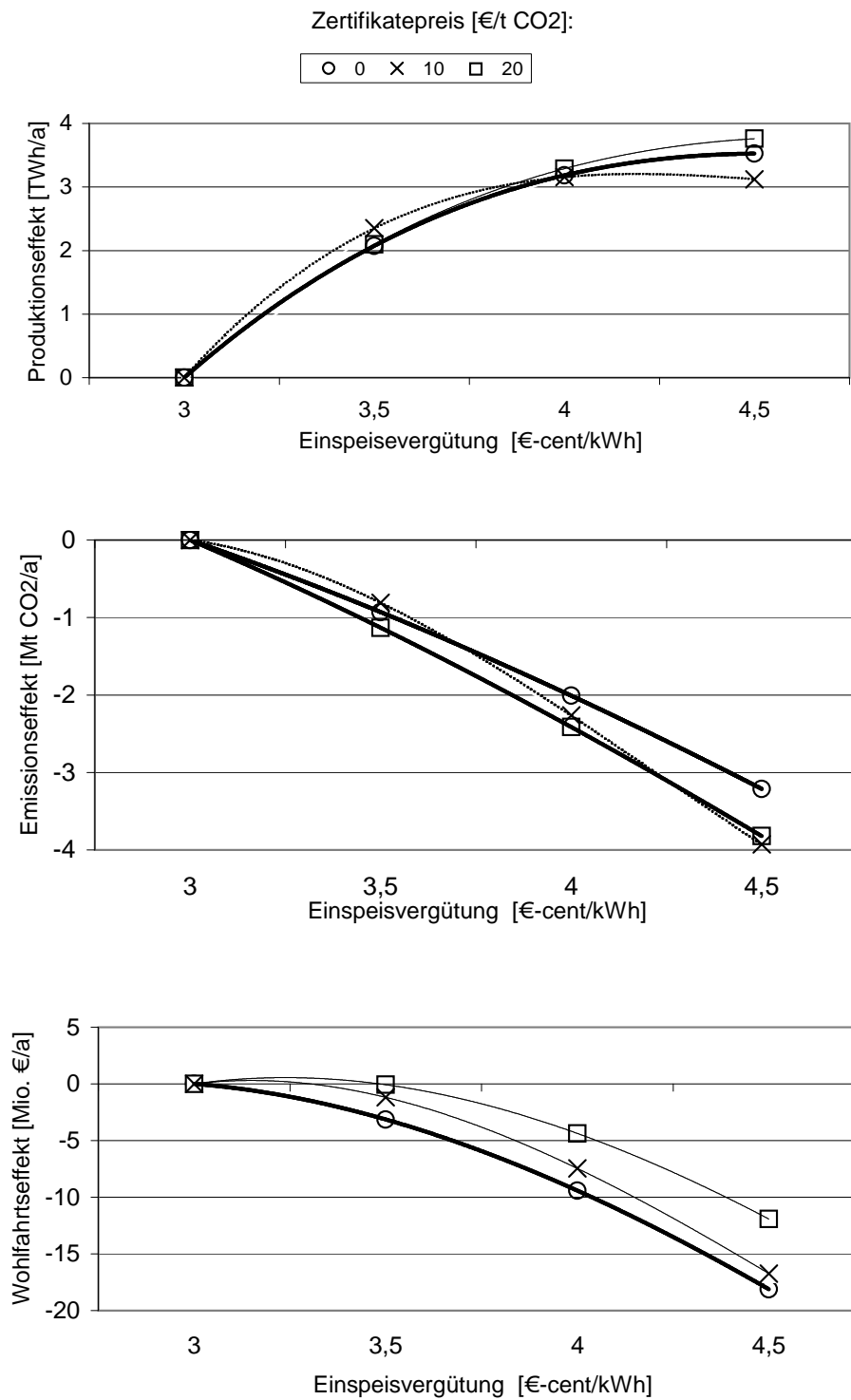


Abbildung 4.7: Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) der Einspeisvergütung zwischen 3 und 4,5 Eurocent pro Kilowattstunde gegenüber keiner Einspeisung bei Emissionszertifikatspreisen von 0, 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂.

4.5 Der KWK-Bonus

Bei der Implementierung des quantitativen Modells für die Untersuchung des KWK-Bonus ist - wie in den vorangegangenen Abschnitten - die Asymmetrie der Spieler mit deren oligopolistischen oder preisnehmenden Verhalten zu berücksichtigen. Es wird davon ausgegangen, dass den Unternehmen drei Technologien zur Verfügung stehen. Dies sind die einfache ungekoppelte Technologie für die Stromerzeugung, die ungekoppelte Wärmeerzeugung sowie die KWK-Technologie. Die Technologien werden bis auf die lineare Kostenrepräsentation der ungekoppelten Wärmeerzeugung durch konvexe Grenzkosten abgebildet.

Die KWK-Technologie ist wie im theoretischen Fall auch hier dadurch gekennzeichnet, dass die Outputgüter Wärme und Strom in substitutiver Produktionsbeziehung zueinander stehen. Im Modell wird diese Beziehung dadurch abgebildet, dass ein Primärprodukt z^i - dies entspricht in der Praxis dem Frischdampf - über eine Transformationsfunktion $z^i = o^i - a^i(1 + r^i(z^i, a^i))$ in eine Kombination aus KWK-Strom a^i und in den KWK-Anlagen erzeugtem Kondensationsstrom o^i umgewandelt wird. Aus der produzierten Menge KWK-Strom ergibt sich über den firmenindividuellen Wärmeanteil¹¹ ι^i die resultierende Wärmeproduktion $\iota^i a^i$. Entsprechend der theoretischen Analyse wird unterstellt, dass die gegebene Wärmenachfrage \bar{h}^i von den Unternehmen bereitgestellt wird. Des weiteren gelten für die Unternehmen Nichtnegativitätsrestriktionen, die durch die begrenzte Produktionskapazität von konventionellen und KWK-Anlagen entstehen¹²: Die Differenz von installierter Produktionskapazität und Produktion kann nicht negativ sein. Insgesamt erhalten wir somit zwei Restriktionen die mit Gleichheit zu erfüllen sind und zwei Ungleichheitsrestriktionen.

Zur Vereinfachung der formalen Darstellung des Problems wird - wie bei der theoretischen Analyse - der durch den Emissionsmarkt entstehende Kostenanteil mit den direkten Produktionskosten zu einer Funktion zusammengefasst: $CE(q), CE(z), ce^v$.

¹¹Dieser Wärmeanteil gibt das Verhältnis von installierter elektrischer Leistung zu installierter Wärmeleistung in den KWK-Anlagen eines Akteurs an.

¹²Diese Restriktion wird für die ungekoppelte Wärmeproduktion nicht vorgenommen, da diese Anlagen grundsätzlich eine Kapazität besitzen, die für die Produktion von der gegebenen Wärmemenge \bar{h}^i hinreichend ist.

Das Problem der Unternehmen lässt sich dann formulieren als:

$$\begin{aligned}
L^i(q^i, q^{-i}, a^i, a^{-i}, o^i, v^i, z^i) = & P[X]x^i + \phi a^i - \phi A v^i + p[\bar{h}^i](a^i l^i + v^i) \\
& - CE(q^i) - CE^i(z^i) - ce^v v^i \\
& + \kappa^i(q_{\text{lim}}^i - q^i) + \delta^i(z_{\text{lim}}^i - z^i) \\
& + \rho^i(\bar{h}^i - a^i l^i - v^i) \\
& + \lambda^i(z^i - o^i - a^i(1 + r^i(z^i, a^i))), \\
& i = 1 \dots k.
\end{aligned} \tag{4.17}$$

Die aus diesem Problem resultierenden Kuhn-Tucker-Bedingungen erhalten wir durch Ableiten nach den endogenen Variablen der Unternehmen q^i, o^i, a^i und v^i sowie nach den Lagrangemultiplikatoren $\kappa^i, \delta^i, \rho^i$ und λ^i . Die Kuhn-Tucker-Bedingungen in Bezug auf den Output der ungekoppelten Stromproduktion in konventionellen Anlagen q^i lauten:

$$P - \phi \frac{A}{X} + l^i \left(\phi \frac{A}{X} - \frac{P}{\varepsilon} \right) v^i \leq CE_q^i(q^i) + \kappa^i$$

und

$$\begin{aligned}
q^i \left(P - \phi \frac{A}{X} + l^i \left(\phi \frac{A}{X} - \frac{P}{\varepsilon} \right) v^i - CE_q^i(q^i) - \kappa^i \right) = 0, \\
i = 1 \dots k.
\end{aligned} \tag{4.18}$$

Für die Kuhn-Tucker Bedingungen in Bezug auf die ungekoppelte Wärmeproduktion v^i erhalten wir:

$$p \leq ce^v + \rho^i$$

und

$$\begin{aligned}
v^i (p - ce^v - \rho^i) = 0, \\
i = 1 \dots k.
\end{aligned} \tag{4.19}$$

Die optimale Produktion von KWK-Strom und ungekoppeltem Strom in KWK-Anlagen wird über die Optimierung durch drei Variablen erreicht: Das Aktivitätsniveau der KWK-Anlagen z^i und die jeweiligen Strommengen o^i und a^i . Die Kuhn-Tucker-Bedingungen in Bezug auf das Aktivitätsniveau z^i ergeben:

$$CE_z^i(z^i) \leq \lambda^i \left(1 - \frac{\partial r}{\partial z} a^i \right) - \delta^i$$

und

$$z^i \left(CE_z^i(z^i) - \lambda^i \left(1 - \frac{\partial r}{\partial z} a^i \right) + \delta^i \right) = 0,$$

$$i = 1 \dots k. \quad (4.20)$$

Als Kuhn-Tucker-Bedingungen in Bezug auf die ungekoppelte Produktion in KWK-Anlagen o^i erhalten wir:

$$P - \phi \frac{A}{X} + l^i \left(\phi \frac{A}{X} - \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i \leq \lambda^i$$

und

$$\begin{aligned} o^i \left(P - \phi \frac{A}{X} + l^i \left(\phi \frac{A}{X} - \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i - \lambda^i \right) &= 0, \\ i &= 1 \dots k \end{aligned} \quad (4.21)$$

sowie für die Kuhn-Tucker Bedingungen in Bezug auf die KWK-Stromproduktion a^i :

$$P + \phi \frac{Q}{X} - l^i \left(\phi \frac{Q}{X} + \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i + (p - \rho^i) \iota^i \leq \lambda^i \left(1 + r^i(z^i, a^i) + \frac{\partial r}{\partial a} a^i \right)$$

und

$$\begin{aligned} a^i \left(P + \phi \frac{Q}{X} - l^i \left(\phi \frac{Q}{X} + \frac{P}{\varepsilon} \right) \vartheta^i + (p - \rho^i) \iota^i - \lambda^i \left(1 + r^i(z^i, a^i) + \frac{\partial r}{\partial a} a^i \right) \right) &= 0, \\ i &= 1 \dots k. \end{aligned} \quad (4.22)$$

Die Nichtnegativitätsrestriktionen der Produktionsmengen

$$q^i \geq 0, v^i \geq 0, z^i \geq 0, o^i \geq 0, a^i \geq 0, \quad i = 1 \dots k, \quad (4.23)$$

die Kuhn-Tucker-Bedingungen in Bezug auf die Ungleichheitsrestriktionen und die entsprechenden Lagrangemultiplikatoren:

$$q_{\text{lim}}^i - q^i \geq 0, \kappa^i \geq 0, \kappa^i (q_{\text{lim}}^i - q^i) = 0, \quad i = 1 \dots k, \quad (4.24)$$

$$z_{\text{lim}}^i - z^i \geq 0, \delta^i \geq 0, \delta^i (z_{\text{lim}}^i - z^i) = 0, \quad i = 1 \dots k \quad (4.25)$$

sowie die Ableitung der Lagrangefunktion nach den Lagrangemultiplikatoren der bindenden Restriktionen

$$\bar{h}^i = a^i \iota^i + v^i, \quad i = 1 \dots k, \quad (4.26)$$

$$z^i = o^i + a^i (1 + r^i(z^i, a^i)), \quad i = 1 \dots k \quad (4.27)$$

vervollständigen das System.

Letztlich bedarf es einer Spezifikation der Stromverlustfunktion $r^i(z^i, a^i)$. Explizit wird für die Stromverlustfunktion die Form $r^i(z^i, a^i) = 1/3 \iota^i \left(\frac{a^i}{z^i} \right)^2$ angenommen,

sodass der maximale Stromverlust der Wärmeauskopplung 30 Prozent beträgt¹³. Da diese Funktion für ein Aktivitätsniveau der KWK-Anlagen von Null nicht definiert ist, wird zur Berechnung der Gleichgewichte angenommen, dass das Aktivitätsniveau der KWK-Anlagen strikt größer Null ist. Dies stellt für realistische Nachfragewerte kein Problem dar, denn in diesem Fall liegen für alle Unternehmen sowie für das Aggregat der kleineren Unternehmen die Grenzkosten der ersten in KWK-Anlagen produzierten Einheit unterhalb der Grenzkosten der ungekoppelten Produktion im Gleichgewicht.

4.5.1 Der KWK-Bonus bei Emissionshandel

Durch die theoretische Untersuchung des KWK-Bonus hat sich gezeigt, dass bei Einführung des Emissionshandel und symmetrischen Unternehmen der optimale KWK-Bonus nur dann größer als Null sein kann, wenn der komparativ-statische Emissionseffekt des Bonus positiv ist. Durch die Simulation mit Hilfe des berechenbaren Gleichgewichtsmodells wird daher untersucht, ob dieser Zusammenhang bei Verwendung realer Daten und bei asymmetrischen Firmen bestätigt werden kann und wie die Wirkung des Instrumentes in seiner gegenwärtigen Ausprägung durch unterschiedliche Emissionszertifikatepreise beeinflusst wird.

In Abbildung 4.8 sind die Wirkungen eines KWK-Bonus zwischen Null und 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde auf die gesamte Stromproduktion, die Emissionen und die Wohlfahrt bei den Emissionszertifikatepreisszenarien 0, 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂ dargestellt. In Bezug auf die Produktion ergibt sich, dass in der Simulation der Effekt eines Bonus je nach Höhe des unterstellten Emissionszertifikatepreises sowohl negativ als auch positiv sein kann. Zwar ist der Produktionseffekt eines KWK-Bonus zwischen Null und 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde für Emissionszertifikatepreise von Null und 20 Euro pro Tonne CO₂ immer negativ, doch ist im mittleren Emissionszertifikatepreisszenario - 10 Euro pro Tonne CO₂ - der Produktionseffekt grundsätzlich positiv. Die ökonomische Begründung für die Abhängigkeit des Vorzeichens des Produktionseffektes von den Emissionszertifikatepreisen ist in der Asymmetrie zu suchen und wird weiter unten mit Hilfe der Abbildung 4.9 erläutert. Im Gegensatz dazu ist der hier nicht abgebildete Effekt auf die in KWK

¹³Diese Stromverlustfunktion entspricht weitgehend der oberen Grenze eines sogenannten Kennfeldes einer KWK-Anlage, wie es sich beispielsweise bei Blesl (2006) findet.

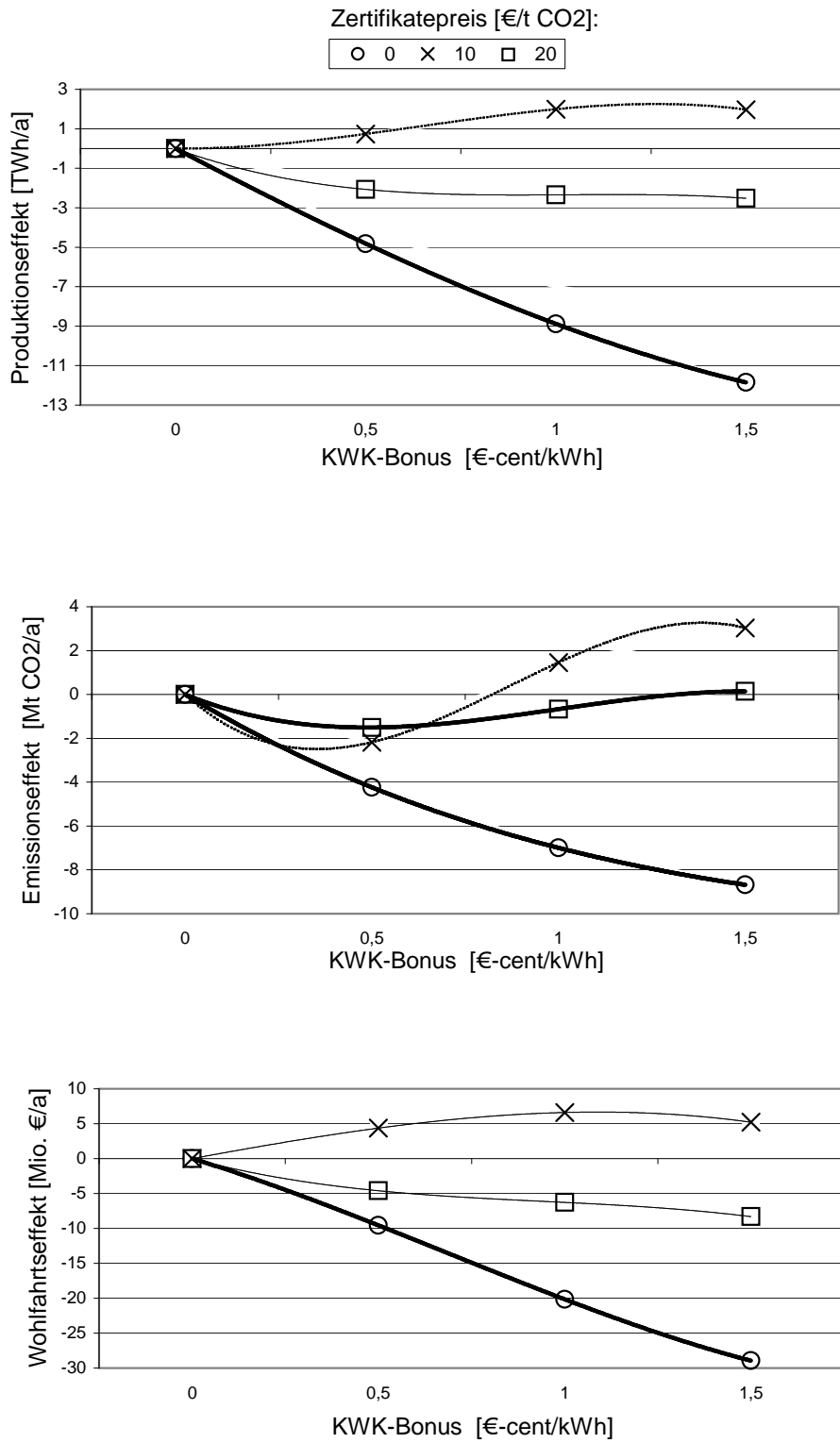


Abbildung 4.8: Produktions-, Emissions- und Wohlfahrtseffekt (oben, mitte, unten) des KWK-Bonus zwischen 0, 5 und 1, 5 Eurocent pro Kilowattstunde bei Emissionszertifikatepreisen von 0, 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂.

produzierte Strommenge in allen Fällen positiv und sinkt bei höheren Emissionszertifikatpreisen.

Der Emissionseffekt des KWK-Bonus ist wie der Produktionseffekt ebenfalls von der Höhe des unterstellten Emissionszertifikatpreises abhängig. Für das Vorzeichen der Änderung der gesamten Emissionen ist nun jedoch auch die Höhe des KWK-Bonus relevant. Für Bonussätze unterhalb von etwa 0,75 Eurocent/Kilowattstunde erhalten wir eine Reduktion der Gesamtemission bei allen Emissionszertifikatpreisszenarien entsprechend der mittleren Grafik von Abbildung 4.8. Aus Bonussätzen von 1 und 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde und einem Emissionszertifikatpreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ resultieren Emissionssteigerungen zwischen 1,5 und 3 Millionen Tonnen jährlich. Bei einem Emissionszertifikatpreis von 20 Euro pro Tonne CO₂ ist in diesem Fall der Emissionseffekt wiederum uneindeutig.

Die Wohlfahrtseffekte der KWK-Bonussätze in dem betrachteten Bereich von 0,5 bis 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde in den drei Emissionszertifikatpreisszenarien sind ebenfalls nicht eindeutig bestimmt und qualitativ mit den Produktionseffekten identisch. Aus der unteren Grafik von Abbildung 4.8 lässt sich entnehmen, dass bei Emissionszertifikatpreisen von Null und 20 Euro pro Tonne CO₂ die Wohlfahrt durch die Regulierung durch alle der hier betrachteten Bonussätze negativ beeinflusst wird, während bei einem Emissionszertifikatpreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ in jedem Fall Wohlfahrtsgewinne entstehen. Diese insgesamt uneinheitlichen Effekte lassen sich mit der asymmetrischen Marktstruktur erklären. Durch die Abbildung 4.9, welche die Produktionsänderung der Firmen durch einen Bonus von 1 Eurocent pro Kilowattstunde bei unterschiedlichen Emissionszertifikatpreisen zeigt, ist ersichtlich, dass bei Emissionszertifikatpreisen von 10 und 20 Euro pro Tonne CO₂ die großen Akteure RWE und Eon ihre Produktion aufgrund des Bonus deutlich ausweiten, während die kleineren Akteure EnBW und Vattenfall sowie die als Rest aggregierten Stadtwerke ihre Gesamtproduktion reduzieren. In der Summe sind daher die Produktionseffekte bei positiven Emissionszertifikatpreisen uneindeutig, das heißt bei Emissionszertifikatpreisen von 10 Euro pro Tonne CO₂ positiv und bei Emissionszertifikatpreisen von 20 Euro pro Tonne CO₂ negativ.

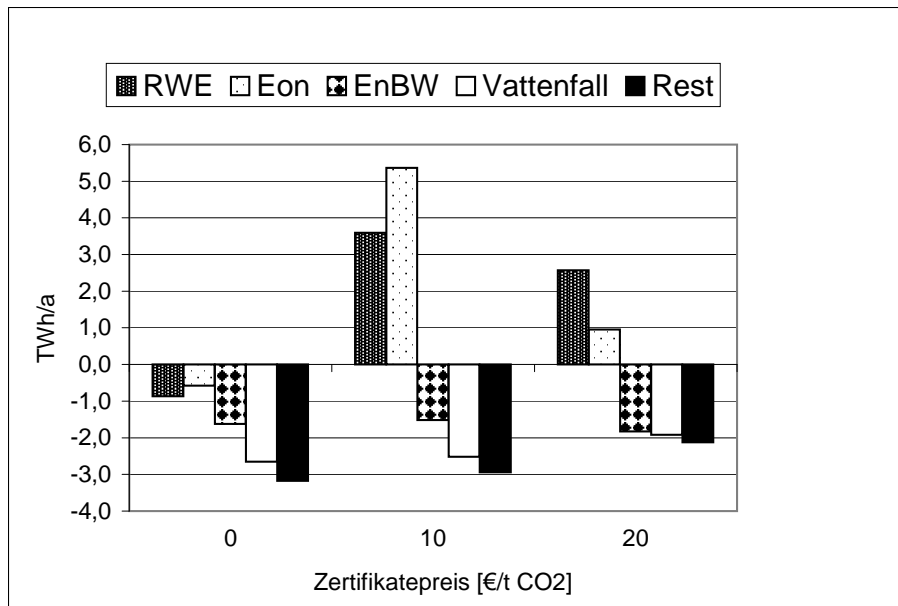


Abbildung 4.9: Effekt eines KWK-Bonus von einem Eurocent pro Kilowattstunde auf die Produktion der Firmen bei Emissionszertifikatspreisen zwischen 0 und 20 Euro pro Tonne CO₂.

4.6 Zusammenfassung der quantitativen Ergebnisse

Durch die quantitative Untersuchung lassen sich die Wirkungen der Regulierungen auf die Produktion, die Emission und letztlich auch die Wohlfahrt abschätzen sowie die Effekte des Emissionshandels bestimmen. Unterstellen wir, dass die Ökosteuer als einheitliche Outputsteuer in Höhe von 2 Eurocent pro Kilowattstunde ausgestaltet ist, so verringert sie die Gesamtproduktion um etwa 100 Terrawattstunden, die Emission um rund 45 Millionen Tonnen CO₂ und die Wohlfahrt um rund 400 Millionen Euro jährlich, wenn ein Zertifikatemarkt Emissionspreise von Null bewirkt. Bei einem Emissionszertifikatspreis von 20 Euro pro Tonne CO₂ werden die Effekte demgegenüber auf rund 50 Terrawattstunden Produktions-, 28 Millionen Tonnen Emissions- und etwa 300 Millionen Euro Wohlfahrtsreduktion verringert.

Betrachten wir die Situation bei Differenzierung der Outputsteuer zwischen zwei Märkten in der Form, dass der Markt mit der elastischeren Nachfrage mit einem Eurocent pro Kilowattstunde subventioniert und der zweite Markt mit der weniger

elastischen Nachfrage besteuert wird, erhalten wir folgendes Ergebnis: Eine Steuer in Höhe von 2 Eurocent pro Kilowattstunde bewirkt bei Emissionszertifikatepreisen von Null Euro pro Tonne CO₂ einen Produktionsrückgang von 10 Terrawattstunden, einen Emissionsrückgang von gut 5 Millionen Tonnen und einen Rückgang der Wohlfahrt von rund 110 Millionen Euro jährlich.

Beträgt der Emissionszertifikatepreis 20 Euro pro Tonne CO₂, verändern sich die Effekte in uneinheitlicher Art: Der Produktionsrückgang der sektoralen Steuer steigt auf 13 Terrawattstunden, der Emissionseffekt auf 7 Millionen Tonnen und der Wohlfahrtseffekt sinkt geringfügig auf 110 Millionen Euro jährlich. Die Möglichkeit, dass ein positiver Steuersatz auf dem Markt mit der weniger elastischen Nachfrage optimal sein kann, lässt sich für realistische Parameterwerte somit nicht bestätigen.

Die Untersuchung der Einspeisevergütung für erneuerbare Energien, die zwischen 3 und 4,5 Eurocent in etwa dem gleichgewichtigen Marktpreis entspricht, zeigt, unabhängig von dem Emissionszertifikatepreis, einen positiven Effekt auf die Gesamtproduktion und einen negativen Effekt auf die Emissionen. Insgesamt ist der Wohlfahrtseffekt durch Einspeisevergütungstarife zwischen 3 und 4,5 Eurocent pro Kilowattstunde abhängig von den Emissionszertifikatepreisen. Je höher der Emissionszertifikatepreis, desto geringer ist der Wohlfahrtsverlust. Bei hohen Emissionszertifikatepreisen und geringen Tarifen kann unter Umständen ein Wohlfahrtsgewinn entstehen. Der optimale Einspeisevergütungstarif ist in allen Fällen jedoch weit geringer als der gegenwärtig für Windkraft gewährte Tarif von rund 9 Eurocent pro Kilowattstunde.

Letztlich zeigt die Simulation eines KWK-Bonus zwischen 0 und 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde, dass dieser bei Emissionszertifikatepreisen von 0 Euro pro Tonne CO₂ zu einem Rückgang der drei Größen Produktion, Emission und Wohlfahrt führt. Bei einem Emissionszertifikatepreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ werden die Effekte der höheren Bonussätze - von 1 bis 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde - umgekehrt, sodass sämtliche relevanten Größen erhöht werden. Die Untersuchung eines KWK-Bonus, der mit 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde etwa dem für das Jahr 2006 vorgesehenen Satz entspricht, zeigt für einen in etwa dem aktuellen Emissionszertifikatepreis entsprechenden Emissionspreis von 20 Euro pro Tonne CO₂ folgende Ergebnisse: Durch den aktuellen Bonus sinkt die Gesamtproduktion um mehr als 2,5 Terrawattstunden, die Wohlfahrt um rund 6 Millionen Euro jährlich, und die Gesamtemissionen bleiben unbeeinflusst. Diese Ergebnisse sind maßgeblich von der

Höhe der Emissionszertifikatepreise abhängig und müssen daher kritisch bewertet werden.

4.7 Anhang: Konstruktion der Grenzkostenkurven

In diesem Abschnitt wird die Konstruktion von Grenzkostenkurven aus den Kraftwerksdaten beschrieben. Die in dem Modell abgebildeten Kraftwerkstechnologien weisen entsprechend der Tabelle 4.1 eine klare Rangfolge auf, wenn sie nach den variablen Kosten geordnet werden, die sich kurzfristig als Produkt aus Energieträgerpreis und Wirkungsgrad ergeben. Unter Berücksichtigung der installierten Leistungen der jeweiligen Technologie und deren maximalen jährlichen Verfügbarkeiten ergibt sich hieraus die sogenannte Merit-Order-Kurve, wie sie durch die Abbildung 4.10 beispielhaft dargestellt wird. Die Merit-Order-Kurve entspricht bei preisnehmendem Verhalten der Anbieter einer hypothetischen kurzfristigen Angebotsfunktion, die sich ergeben würde, wenn das Problem der Gleichzeitigkeit von Stromnachfrage und Stromangebot bei zeitlicher Schwankung der Stromnachfrage nicht auftreten würde¹⁴. Regelmäßig kommt es jedoch zum Einsatz von Spitzenlastkraftwerken mit relativ hohen variablen Kosten zur Abdeckung von zeitlichen Lastspitzen, da diese Spitzenlastkraftwerke schnell und mit relativ geringem An- und Abfahraufwand zur Abdeckung zum Teil unprognostizierbarer Laständerungen eingesetzt werden können. Zu den in Deutschland eingesetzten Spitzenlastkraftwerken zählen vor allem die Gasturbinenkraftwerke¹⁵. Bei den erforderlichen An- und Abfahrvorgängen entstehen zusätzliche Kosten und Emissionen, da die Wirkungsgrade der Anlagen bei Teillast und beim An- und Abfahren geringer als bei Volllast sind. Diese Kostenunterschiede spiegeln sich in den tageszeitabhängigen Preisen an den Strombörsen wider. Die Optimierung des Einsatzes von Spitzen- und Grundlastkraftwerken lässt sich durch zum Teil zeitlich sehr hochaufgelöste Kraftwerkeinsatzplanungsmodelle erreichen, welche für jeden Zeitschritt die optimale Fahrweise der Kraftwerke bestim-

¹⁴Die in allen Stromsystemen zu beobachtenden täglichen, wöchentlichen und saisonalen Schwankungen der Netzlast bewirken jedoch eine Durchmischung der tatsächlich eingesetzten Technologien.

¹⁵Eine Alternative hierzu stellt der Einsatz von Pumpspeicherwasserkraftwerken dar, die aufgrund der in Deutschland wenig geeigneten geografischen Verhältnisse nur einen Bruchteil der gesamten installierten Leistung ausmachen und somit nur einen sehr geringen Anteil der Spitzenlast abdecken können.

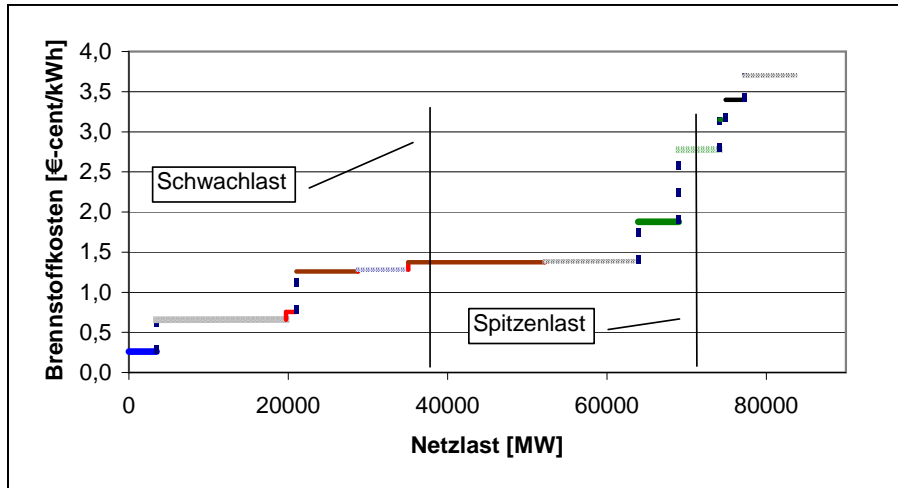


Abbildung 4.10: Exemplarische Merit-Order-Kurve des Deutschen Kraftwerkparks.

men können¹⁶. Im Gegensatz zu diesen zeitlich hoch aufgelösten Modellen berechnet das hier benutzte Modell die aus Sicht der Unternehmen optimale jährlich produzierte Arbeit und richtet sich auf Jahresgrößen wie jährliche Durchschnittspreise und Emissionen.

Mit der Zielstellung trotz dieses eher mittelfristigen Ansatzes der oben beschriebenen tatsächlichen Durchmischung der Kraftwerkstechnologien gerecht zu werden, wurde ein Algorithmus zur Herleitung konvexer Grenzkosten entwickelt. Ausgangsüberlegung hierzu ist, dass sich die von einem Unternehmen in einem Jahr gedeckte Stromnachfrage in kostengünstigere Grundlastproduktion und kostenintensivere Spitzenlastproduktion derart aufteilen lässt, dass die erste angebotene Einheit die kostengünstigste und die letzte angebotene Einheit die kostenintensivste Einheit darstellt. Explizit wird angenommen, dass die kostengünstigste nachgefragte und produzierte Einheit mit einem Anlagenmix produziert wird, der die installierte Grundlastkapazität vollständig ausnutzt und zu dem geringsten Anteil in Spitzenlastkraftwerken produziert wird¹⁷. Entsprechend wird die letzte produzierte und abgesetzte Einheit zu den höchsten Kosten, also mit dem geringsten Anteil von Grundlastkraftwerken produziert. Die insgesamt maximal produzierbare Strommenge ist

¹⁶Aus diesen Modellen ergibt sich dann endogen, welche Kraftwerke als Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerke betrieben werden.

¹⁷Es wird davon ausgegangen, dass dieser Spitzenlastanteil immer größer Null ist, denn selbst ein Verbraucher - wie beispielsweise ein Aluminiumproduzent - der über das gesamte Jahr eine nahezu konstante Leistung benötigt, erhält zu einem Teil Strom der in Spitzenlastzeiten produziert wird.

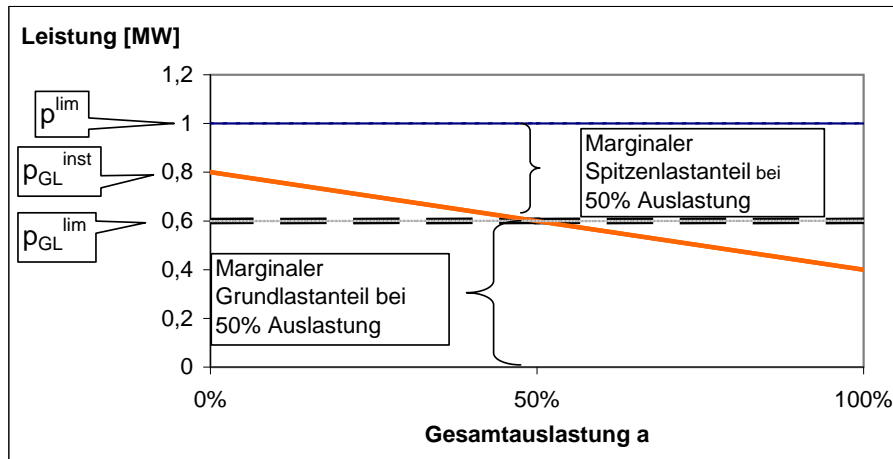


Abbildung 4.11: Einsatz der Grund- und Spitzenlastkraftwerke zur Herleitung von Grenzkostenkurven.

zudem durch die installierte Anlagenleistung und deren maximaler Verfügbarkeit begrenzt.

Die Abbildung 4.11 verdeutlicht die Herleitung der auf diesen Überlegungen beruhenden Grenzkostenkonstruktion. Die obere Grenze der Last wird als die maximale jahresdurchschnittliche Leistung p^{lim} bezeichnet und diese wird hier mit einem Megawatt angenommen. Die gestrichelte Linie gibt die maximale jahresdurchschnittliche Leistung der Grundlastkraftwerke p_{GL}^{lim} an. Einerseits werden in dem Beispiel bei vollständiger Auslastung sechzig Prozent der Gesamtproduktion in Grundlastkraftwerken und die verbleibenden vierzig Prozent in Spitzenlastkraftwerken produziert. Andererseits wird die erste Einheit zu achtzig Prozent in Grundlastkraftwerken produziert, da die Kraftwerke so in Grundlast- und Spitzenlastkraftwerke zugeordnet wurden, dass das Verhältnis aus installierter Grundlastkraftwerkeleistung p_{GL}^{inst} und maximaler jahresdurchschnittlicher Leistung p^{lim} 0,8 beträgt. Durch diese Einteilung lässt sich sicherstellen, dass ein gewisser Spitzenlastanteil - hier 20 Prozent - nicht unterschritten wird. Bei jeder höheren Gesamtauslastung a ist der Anteil der Grundlastkraftwerke im Strommix geringer. Diese Beziehung wird durch die dicke, fallende Linie wiedergegeben, die den marginalen Anteil der Grundlastkraftwerke an der Produktion darstellt.

Nach der Aufteilung der Technologien in Grund- und spitzenlastkraftwerke errechnet sich der Grund- und Spitzenlastkraftwerkseinsatz in Abhängigkeit von der Gesamtauslastung a wie folgt:

- Gundlasteinsatz

$$p_{GL}(a) = p_{GL}^{inst} - 2a(p_{GL}^{inst} - p_{GL}^{lim})$$

- Spitzenlasteinsatz

$$p_{SL}(a) = p^{lim} - p_{GL}(a).$$

Wird der oben beschriebene Einsatz der Aggregate unterstellt, erhalten wir Grenzkostenkurven in Abhängigkeit von der Auslastung und von den konstanten variablen Kosten sowohl der Grundlastkraftwerke \overline{C}_{GL} als auch der Spitzenlastkraftwerke \overline{C}_{SL} :

$$C(a) = p_{GL}(a)\overline{C}_{GL} + p_{SL}(a)\overline{C}_{SL} \quad (4.28)$$

und diese lassen sich sehr gut mittels einer Exponentialfunktion abbilden.

Kapitel 5

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Auf dem deutschen Energiemarkt werden gegenwärtig eine Reihe von klimapolitisch motivierten Politikmaßnahmen angewendet, von denen die sogenannte Ökosteuern, die Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien und der Bonus für in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugtem Strom die Bedeutendsten darstellen. Seit Frühjahr 2005 kommt der europaweite Emissionshandel zu diesen herkömmlichen Instrumenten hinzu. Somit wurde in erheblichem Umfang eine Mehrfachregulierung geschaffen, deren Wirkungen auf dem durch einige wenige marktmächtige Unternehmen geprägten Energiemarkt gerade durch die Einführung eines Emissionshandels fragwürdig werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde daher die Wirkung des Emissionshandels auf die herkömmlichen Instrumente mit Hilfe sowohl theoretischer als auch berechenbarer Gleichgewichtsmodelle des Energiemarktes unter Marktmacht analysiert. Durch die theoretische Analyse kann gezeigt werden, dass bei Berücksichtigung von Marktmacht durch die Einführung eines bindenden Emissionshandels die optimalen differenzierten Outputsteuern und der optimale KWK-Bonus, wenn diese vor dem Handel mit Emissionen positiv waren nun negativ sind und die Einspeisevergütung, wenn diese vor dem Handel mit Emissionen oberhalb des Marktpreises lag, nun geringer als der Marktpreis ist. Dies wird aus der Tabelle 3.1 beim Vergleich der Ergebnisse aus Spalte B mit denen der Spalte A deutlich, wenn in Spalte B eine

Emissionsteuer von Null unterstellt wird¹.

Bei Emissionshandel können andererseits nur dann der optimale differenzierte Steuersatz und der optimale KWK-Bonus positiv sein, wenn vor der Einführung des Emissionshandels der optimale differenzierte Steuersatz und der optimale KWK-Bonus negativ gewesen wären. Dies ist dann der Fall, wenn der komparativ-statische Emissionseffekt der Outputbesteuerung des besteuerten Marktes wesentlich kleiner als der komparativ-statische Emissionseffekt der Outputsubvention des verbleibenden Marktes ist und der KWK-Bonus einen positiven komparativ-statischen Emissionseffekt hat. Insgesamt können eine positive Besteuerung eines Teilmarktes und ein positiver KWK-Bonus bei Emissionshandel nur dann gerechtfertigt sein, wenn es zu komparativ-statischen Emissionserhöhungen oder relativ geringen Emissionsreduktionen durch diese Instrumente kommt. Dies ist für die einfache Outputsteuer und die Einspeisevergütung nicht der Fall, sodass die optimale einfache Outputsteuer nun eindeutig negativ ist und die optimale Einspeisevergütung eindeutig geringer als der Marktpreis ist.

Die ökonomische Intuition für diese Ergebnisse ist, dass die Instrumente bestenfalls zur Verbesserung des Marktergebnisses auf dem Outputmarkt genutzt werden können, da die im Sektor der deutschen Energiewirtschaft durch die herkömmlichen Instrumente bewirkten Emissionsreduktionen durch Emissionserhöhungen in den übrigen Emissionshandelssektoren und in den Europäischen Partnerländern kompensiert werden. Die Summe der Emissionen kann somit bei unveränderter Zertifikateausstattung nicht durch die Instrumente verändert werden, sodass deren schadenvermeidende Wirkung entfällt.

Für die Nutzung der Instrumente zur Marktpolitik bestehen bei Vorliegen eines Emissionshandels zwei Gründe. Erstens ist der Output durch die marktmächtigen Unternehmen geringer als im wohlfahrtstheoretischen Marktoptimum und zweitens führt der Emissionshandel zu einer Reduktion des Outputs, die umso höher ausfällt, desto größer das Produkt von Emissionszertifikatpreis und Grenzemission ist. Aufgrund dieses negativen Outputeffektes des Emissionshandels fällt die Subvention des Outputs durch eine negative Outputsteuer oder die Begünstigung der KWK-Produktion durch einen KWK-Bonus optimalerweise umso höher aus je höher die mit der Produktion in den begünstigten Anlagen verbundenen Emissionen sind, denn der soziale Planer versucht, die Wirkung des Emissionshandels auf den Output zu

¹Eine Emissionssteuer von Null entspricht der Situation vor Einführung des Emissionshandels.

beheben.

Die Ergebnisse der theoretischen Analyse in Bezug auf die Varianten der Outputsteuer und in Bezug auf die Einspeisevergütung werden durch die Analyse mittels des berechenbaren Gleichgewichtsmodells weitgehend unterstützt. In keinem Fall führen diese beiden Regulierungsinstrumente in ihrer gegenwärtigen Ausprägung bei Emissionszertifikatpreisen zwischen 0 und 20 Euro pro Tonne CO₂ zu Wohlfahrtsgewinnen. Im Gegenteil legt - wie auch die theoretische Analyse - die Analyse mit den Varianten des berechenbaren Gleichgewichtsmodells nahe, dass die Outputsteuer in eine Subvention umzuwandeln ist und die Einspeisevergütung unterhalb des Marktpreises liegen muss, um die Wohlfahrt zu erhöhen.

Auch mit Hinblick auf die Förderung der Produktion in KWK-Anlagen durch den KWK-Bonus werden die theoretischen Ergebnisse unterstützt. Für Emissionszertifikatpreise von 0 und 20 Euro pro Tonne CO₂ werden die Emissionen durch den KWK-Bonus verringert und der optimale Bonus ist nicht größer Null. Bei einem Emissionszertifikatpreis von 10 Euro pro Tonne CO₂ liegt der in dem untersuchten Bereich optimale Bonussatz bei einem Eurocent pro Kilowattstunde und in diesem Fall werden die Gesamtemissionen erhöht. Für einen KWK-Bonus, der mit 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde ungefähr dem gegenwärtigen Bonus entspricht, erhalten wir ebenfalls erhöhte Gesamtemissionen sowie einen positiven Wohlfahrtseffekt, wenn der Emissionszertifikatpreis bei 10 Euro pro Tonne CO₂ liegt. Für die übrigen Emissionszertifikatpreisszenarien von 0 und 20 Euro pro Tonne CO₂ ist hingegen die Wirkung des Bonus in der aktuellen Höhe von 1,5 Eurocent pro Kilowattstunde auf die Emissionen negativ oder unerheblich und auf die Wohlfahrt negativ. Folglich ist die Wirkung des gegenwärtigen Bonus auf die Wohlfahrt stark von den Emissionszertifikatpreisen abhängig und somit unbestimmt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die herkömmlichen Instrumente Ökosteuer, Einspeisevergütung für Erneuerbare Energien und Bonus für in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom sich aufgrund der theoretischen und quantitativen Analysen in der gegenwärtigen Ausprägung bei Emissionshandel nicht rechtfertigen lassen: Entweder bewirken die Instrumente eine Erhöhung der Emissionen des deutschen Energiesektors oder eine Senkung der im Energiesektor erwirtschafteten Wohlfahrt.

Literaturverzeichnis

- [1] BARNETT, A. H. (1980). *The Pigouvian Tax Rule under Monopoly*, American Economic Review, Vol. 70, 1037-1041.
- [2] BETZ, R.A. (2003). *Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffektes: Transaktionskosten - am Beispiel Deutschland*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- [3] BLESSL, M., FAHL, U., VOSS, A. (2006). *Untersuchung der Wirkung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes*, Gutachten des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart, 17-18, Stuttgart.
- [4] BUCHANAN, J. M. (1969). *External Diseconomies, Corrective Taxes, and Market Structure*, American Economic Review, Vol. 59, 174-177.
- [5] BUNDESGESETZBLATT (1998). *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG)*, BGBl 1, 305, Bonn.
- [6] BUNDESGESETZBLATT (1998). *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung*, BGBl 1, 730, Bonn.
- [7] BUNDESGESETZBLATT (2000). *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)*, BGBl 1, 305, Bonn.
- [8] BUNDESGESETZBLATT (2002). *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Gesetz)*, BGBl 1, 2407, Bonn.
- [9] BUNDESGESETZBLATT (2002). *Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform*, BGBl 1, 4602, Bonn.

- [10] BUNDESGESETZBLATT (2004). *Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen (TEHG)*, BGBl 1, 1578, Bonn.
- [11] BUNDESGESETZBLATT (2004). *Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2005 bis 2007 (ZUG)*, BGBl 1, 2211, Bonn.
- [12] BUNDESGESETZBLATT (2005). *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG)*, BGBl 1, 1970, Bonn.
- [13] CHIANG, A. (1984). *Fundamental Methods of Mathematical Economics, 3rd Edition*, McGraw-Hill, Singapore.
- [14] DEUTSCHE EMISSIONSHANDELSSTELLE (2005). *BENCHMARKS / Definition und Bewertung von Emissionswerten für Strom, Warmwasser und Prozessdampf entsprechend der besten verfügbaren Techniken (BVT) im Zuteilungsverfahren für die Handelsperiode 2005-2007*, Umweltbundesamt, Berlin.
- [15] EBERT, U. (1992). *Pigouvian Taxes and Market Structure: The Case of Oligopoly and Different Abatement Technologies*, Finanzarchiv, Vol. 49, 154-166.
- [16] ELLERSDORFER, I. ET AL (2001). *Wettbewerb und Energieversorgungsstrukturen der Zukunft*, Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Vol. 81.
- [17] ELLERSDORFER, I., BLESSL, M., TRABER, T., FAHL, U., UND KESSLER, A. (2003). *Marktposition deutscher EVU im liberalisierten europäischen Elektrizitätsmarkt*, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 12, 788-793.
- [18] EU-KOMMISSION (2004). *DG TREN DRAFT WORKING PAPER - Third benchmarking report on the implementation of the internal electricity and gas market*, COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Brüssel.
- [19] FERRIS, M. C., MUNSON, T. S. (2006). *PATH 4.6* in: GAMS - The Solver Manuals, GAMS Development Corporation, 337-374, Norderstedt.
- [20] HALVORSEN, B., LARSEN, B.M. (2001). *The flexibility of household electricity demand over time*, Resource and Energy Economics, Vol. 23, 118.

- [21] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). A. C. (2001). *Third Assessment Report - Climate Change 2001*, Technical Summary, Cambridge.
- [22] MADDALA, G.S., ET AL. (1997). *Estimation of short- and long-run elasticities of energy demand from panel data using shrinkage estimators*, Journal of Business and Economic Statistics, Vol. 15, 90-100.
- [23] KEMFERT, C., TOL, R. (2000). *The Liberalisation of the German Electricity Market - Modelling an Oligopolistic Structure by a Computational Game Theoretic Modelling Tool*, Oldenburg working paper, V-208-00 .
- [24] LEVIN, D. (1985). *Taxation within Cournot Oligopoly*, Journal of Public Economics, Vol. 27, 281-290.
- [25] PEARCE, D. W. ET AL. (1996). *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions / Contribution to Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 1037-1041.
- [26] PIGOU, A. C. (1932). *The Economics of Welfare*, Macmillan, London.
- [27] SHAPIRO, C. (1989). *Theories of Oligopoly Behavior*, in R. Schmalensee and R.D. Willig, ed., *Handbook of Industrial Organization*, Vol. I, Elsevier Science Publishers B.V., 329-414, North-Holland.
- [28] TOL, R. S. J. (2005). *The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties*, Energy Policy, Vol. 33, 2064-2074.
- [29] VARIAN, H. R. (1992). *Microeconomic Analysis, 3rd Edition*, Norton and Company, New York.
- [30] VERBAND DER NETZBETREIBER VDN E. V. BEIM VDEW (2005 a). *EEG-Mittelfristprognose Entwicklungen 2000 - 2011*, Berlin.
- [31] VERBAND DER NETZBETREIBER VDN E. V. BEIM VDEW (2005 b). *Entwicklung bei KWK 2002 - 2011 aktualisiert nach Datenerhebungen durch VDN*, Berlin.

- [32] WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (2004). *Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats zur Förderung erneuerbarer Energien*, Köln.
- [33] WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (2006). *Sondergutachten: Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer*, Berlin.