

Subventionierung von erneuerbarer Energie

Eine industrieökonomische Analyse des strategischen Wettbewerbs
in der Erneuerbaren-Energieindustrie bei unterschiedlichen
staatlichen Regulierungen

Markus Schaller

Inaugural Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften an der Fakultät für Wirtschafts -
und Sozialwissenschaften der Universität Heidelberg

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die moralische und intellektuelle Unterstützung einiger Personen nicht zu Stande gekommen. Hier in diesem Vorwort werde ich nun die Gelegenheit nutzen, diesen Personen meinen ganz besonderen Dank auszudrücken.

An erster Stelle möchte ich natürlich meine Doktormutter Prof. Dr. Eva Terberger erwähnen. Ihr bin ich in ganz besonderer Weise zu Dank verpflichtet. Ich danke ihr für das große Engagement, das sie bei der Betreuung meiner Arbeit gezeigt hat. Ich danke ihr für die zahlreichen offenen Diskussionen die sie mit mir geführt hat und auch für die große Geduld, die sie mir entgegen brachte, wenn ich mal wieder völlig anderer Meinung war als sie.

Mit sehr viel Fingerspitzengefühl ermutigte sie mich immer dann, wenn mich bei meinem Tun die Selbstzweifel überkamen. In den drei Jahren unserer Zusammenarbeit herrschte immer eine sehr entspannte und kollegiale Arbeitsatmosphäre zwischen uns. Gleichzeitig fand sie immer sehr ehrliche und deutliche Worte, wenn ich mich ihrer Meinung nach auf dem wissenschaftlichen Holzweg befand. Auch für diese Ehrlichkeit möchte ich mich bedanken.

Auch möchte ich Prof. Dr. Hans Gersbach in meiner Danksagung besonders hervorheben. Er gab mir vor fünf Jahren die Gelegenheit als wissenschaftliche Hilfskraft meine Fähigkeiten unter Beweis zu stellen und auszubauen. Unermüdlich fördert dieser Mann sowohl die fachliche als auch die persönliche Entwicklung junger wissenschaftlicher Talente. Ohne ihn hätte ich nie das Rüstzeug

erworben, das für die Schaffung einer wissenschaftlichen Arbeit unerlässlich ist. Auch war er es, der mich nach meinem Studium zur Promotion ermuntert hatte. Zudem begleitete er meine Arbeit mit großem Interesse und gab mir immer wieder wichtige Hinweise. Mit all dem hat er zu einem ganz erheblichen Teil einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

Außerdem gilt mein Dank natürlich meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Klaus Conrad. Ich fühle mich geehrt, dass er sich spontan dazu bereit erklärt hat, die Rolle des Zweitgutachters zu übernehmen. Es erfüllt mich mit Stolz, dass meine Arbeit ihm als so interessant erschien, dass er sich trotz eines sehr strapazierten Terminkalenders die Zeit genommen hat, die Arbeit zu begutachten.

Zudem sollen an dieser Stelle meine Kollegen und Kolleginnen Grischa Perrino, Maik Schneider, Benjamin Lünenbürger, Frederike Hofmeister, Svenja Espenhorst Christian Träger und Dr. Stefan Baumgärtner des Forschungszentrums Umwelt sowie meine ehemalige Kollegin und ehemaligen Kollegen Annette Kern, Dr. Ralph Winkler, Dr. Martin Quaas, Dr. Ulf Moosleiner, Dr. Jörg Breitscheidel und Dr. Olaf Hölzer vom Interdisziplinären Institut für Umweltökonomie gewürdigt werden. In langen und zahlreichen Diskussionen gaben mir all diese Leute gewinnbringende Anregungen und Hinweise, die ich dankbar entgegennahm.

Auch möchte ich in diesem Zusammenhang dem ehemaligen Institutsleiter des Interdisziplinären Instituts für Umweltökonomie - Prof. Dr. Malte Faber - danken. Er gestattete mir Zugang zu seinem reichhaltigen Wissens- und Erfahrungsschatz und nahm damit wesentlichen Einfluss auf meine Arbeit.

Ferner gilt mein Dank den Teilnehmern und Teilnehmerinnen des Doktorandenseminars des Alfred-Weber-Instituts. Ganz besonders möchte ich hier Prof. Dr. Jörg Oechsler hervorheben. Seine Beiträge zu meinem Vortrag im Doktorandenseminar öffneten mir die Augen für einige ökonomische Zusammenhänge, die nun in der Endfassung meiner Dissertation eine bedeutende Rolle spielen. Seine wertvollen Anregungen erhöhten die Qualität meiner wissenschaftlichen Arbeit ganz erheblich.

Mein ganz besonderer Dank aber gilt meinen Eltern Roswitha und Hans-Günter Schaller. Beharrlich und mit Nachdruck vermittelten sie mir durch ihre Erziehung die Werte Ordnung, Fleiß und Disziplin und legten damit erst den Grundstein für die vorliegende Dissertation. Damit haben auch sie einen grundlegenden Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

Inhaltsverzeichnis

I	Subventionierung von Demonstrationsprojekten	17
1	Einführung und Fragestellung	21
2	Der Wert eines Demonstrationsprojektes	29
2.1	Große und kleine Innovationen als Folge von Demonstrationsprojekten	29
2.2	Realoption als Wertbestandteil des Demonstrationsprojektes	33
2.2.1	Wertbestandteile des Demonstrationsprojektes aus finanztheoretischer Sicht	33
2.2.2	Optionswert des Demonstrationsprojektes	37
2.2.3	Komparativ statische Analyse des Optionswertes	40
2.3	Consumer-Surplus als Wertbestandteil des Demonstrationsprojektes	45
2.3.1	Gegenwartswert des Consumer-Surplus	46
2.3.2	Einzelwirtschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Optionswert	48
2.3.3	Die optimale Subvention in einem numerischen Beispiel	50
3	Informationsspillover	55
3.1	Analyse der Wettbewerbssituation	57
3.2	Aufteilung von Innovationsgewinn und Optionswert	65
3.2.1	Aufteilung bei kleiner Innovation	66
3.2.2	Aufteilung bei großer Innovation	69

3.2.3	Implikationen für politische Entscheidungen	71
3.3	Das Innovationsspiel	72
3.3.1	Das Innovationsspiel im Fall der kleinen Innovation	74
3.3.2	Das Innovationsspiel im Fall der großen Innovation	78
3.4	Gezielte Subventionierung eines Demonstrationsprojektes	81
3.5	Die Wirkung einer Pauschalsubvention	87
3.5.1	Einzelwirtschaftlich rentables Demonstrationsprojekt	88
3.5.2	Einzelwirtschaftlich unrentables Demonstrationsprojekt	89
4	Fazit und Ausblick	93

II Subventionen zur Unterstützung der Markteinführung

103

5	Einführung und Fragestellung	107
5.1	Formen der Subventionierung	108
5.2	Anwendungen in der Europäischen Union	112
5.3	Beurteilung bestehender Subventionsregime	119
5.3.1	Der Beitrag von Bräuer und Kühn	119
5.3.2	Der Beitrag von Voß et al	125
5.4	Kritische Diskussion der Beiträge	131
6	Analyse der Einspeisevergütung	139
6.1	Das Modell	140
6.2	Mitnahmeeffekte bei Gewährung einer Einspeisevergütung	141
6.3	Mitnahmeeffekte bei zusätzlicher Inputsubventionierung	145
6.4	Innovationsanreize im Einspeisemodell	148
6.4.1	Der marginale Innovationsanreiz	149
6.4.2	Der absolute Innovationsanreiz	151
6.4.3	Mengenausdehnung in Folge der Innovation	153

6.4.4	Innovationsanreiz bei Absenkung des Vergütungssatzes . . .	154
6.4.5	Innovationsanreize bei zusätzlicher Inputsubventionierung .	161
7	Mengenregulierende Subventionsregime unter vollständiger In-	
	formation	163
7.1	Menü-Auktionen und ihre Gleichgewichte	166
7.1.1	Das Kozept der wahrhaften Nash-Gleichgewichte	166
7.1.2	Das Team-Selection-Problem	171
7.1.3	Übertragung des Team-Selection-Problems auf die Menü-	
	Auktionen	174
7.2	Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte im Ausschreibungsmodell . .	175
7.3	Innovationsanreize im Ausschreibungsmodell	184
7.3.1	Innovationsanreize nach der Auktion	185
7.3.2	Innovationsanreize vor der Auktion	189
7.4	Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte im Quotenmodell	196
7.4.1	Die Wirkungen einer proportionalen Sanktion	197
7.4.2	Die Wirkung einer pauschalen Sanktion	204
7.5	Innovationsanreize im Quotenmodell bei Ausweitung der Menge .	206
7.5.1	Innovationsanreize im Duopol	207
7.5.2	Innovationsanreize bei vollkommener Konkurrenz	209
8	Das Quotenmodell unter unvollständiger Information	217
8.1	Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte bei uninformierten Produzenten	221
8.2	Gleichgewicht bei einem strategischen Produzenten	224
8.2.1	Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte bei harter Sanktion . .	224
8.2.2	Gleichgewicht bei moderater Sanktion	238
8.3	Grünstrompreis bei beliebig vielen strategischen Produzenten . . .	240
9	Fazit und Ausblick	245

Motivation

We must work with business and industry to find the right ways to reduce greenhouse gas emissions. We must promote technologies that make energy production and consumption more efficient.

—White House Conference on Climate Change, October 6, 1997


President of the United States

Die Energieversorgung ist entscheidend für Fortschritt, Entwicklung und wirtschaftlichen Wohlstand einer Volkswirtschaft. Gegenwärtig erfolgt die globale Energieerzeugung überwiegend durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Diese Art der Energieerzeugung ist mit zwei Problemen verbunden: Zum einen ist der globale Vorrat an fossilen Energieträgern erschöpfbar. Zum anderen entsteht bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern das Treibhausgas CO₂, das bei der Verursachung der globalen Erwärmung eine entscheidende Rolle einnimmt.

In den 70er Jahren wurde die Erschöpfbarkeit fossiler Energieträger infolge des Berichts des Club of Rome als das dringlichere Problem angesehen.¹ Die düsteren Szenarien des Club of Rome haben sich jedoch nicht realisiert, hingegen hat sich

¹Meadows(1972)

die globale Erwärmung als schwerwiegender erwiesen, als es zunächst vermutet wurde. Laut des Intergovernmental Panel on Climate Change wird die durchschnittliche Temperatur auf unserem Planeten in den nächsten 100 Jahren um 1 bis 3,6 Grad steigen, wenn keine Anstrengungen zur CO₂ Reduktion unternommen werden.² Solch eine Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur wird mit beträchtlichen wirtschaftlichen Schäden einhergehen. So wird sich beispielsweise die Wasserverdunstung beschleunigen, was wiederum die Gefahr von Dürren und die Wahrscheinlichkeit von Bränden erhöht. Auch wird durch ein Abschmelzen der Pole der Wasserspiegel erhöht, was zu einem Landverlust in Küstenregionen führen wird. Des Weiteren werden Katastrophenereignisse wie Stürme und Hurrikane wahrscheinlicher. Schließlich führt eine Erhöhung der Erdtemperatur zu einer stärkeren Verbreitung von Krankheiten wie z.B. Malaria und Cholera.

Drei Viertel der CO₂ Emissionen entstehen durch die Produktion und die Verbrennung von fossilen Energieträgern³. Aus dieser Tatsache ergeben sich zwei Möglichkeiten, mittels derer eine bedeutende CO₂ Reduktion herbeizuführen wäre. Zum einen könnte die Effizienz der bestehenden Technologien der Energieerzeugung verbessert werden, so dass eine geringere Menge an fossilen Brennstoffen und damit eine geringere Menge an CO₂ nötig wäre, um eine gegebene Menge Energie zu erzeugen. Zum anderen könnte die Energieerzeugung von der CO₂ Emission durch den Einsatz von Erneuerbaren Energien entkoppelt werden.

Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie sind gegenwärtig noch nicht wettbewerbsfähig. Ihr Einsatz verursacht einzelwirtschaftliche Kosten, die über den einzelwirtschaftlichen Erträgen liegen, während der Nutzen, der sich aus einer verminderten globalen Erwärmung durch eine Reduktion von Treibhausgasen ergibt, der gesamten Weltgemeinschaft zu gute kommt. Die Implementierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie ist aus dieser Perspektive also der klassische Fall eines positiven externen Effektes.

²Eizenstat (1998)

³siehe International Energy Agency (1997)

Dieser hier angesprochene positive externe Effekt ist ein Spiegelbild zum negativen externen Effekt, der durch die CO₂ Emission verursacht wird. Die Implementierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie kann unter dieser Perspektive auch als Vermeidung eines negativen externen Effektes angesehen werden. Über den staatlichen Handlungsbedarf aufgrund von negativen externen Effekten durch CO₂ Emissionen existiert in der Umweltökonomie eine Fülle von Literatur. In diesem Literaturzweig werden ausführlich umweltpolitische Instrumente zur Internalisierung von negativen externen Effekten wie z.B. der Emissionshandel oder die Emissionssteuer analysiert.⁴

In der hier vorliegenden Arbeit sollen die Aspekte der Internalisierung solcher negativer externen Effekte nicht weiter vertieft werden. Stattdessen soll untersucht werden, welche zusätzlichen Maßnahmen sinnvoll sind, um die noch junge Industrie der regenerativen Energieerzeugung zu fördern.

Einen Überblick weshalb Maßnahmen, die zusätzlich zur Internalisierung negativer externer Effekte implementiert werden, sinnvoll sein könnten, geben Cowan und Kline (1996). Sie betonen, dass Indizien vorliegen, die darauf schließen lassen, dass auf dem Energiemarkt ein technologischer Lock-in existiert. Das bedeutet, selbst wenn die erneuerbaren Energien langfristig wirtschaftlich leistungsfähiger als die traditionelle Energieerzeugung wären, der Markt sich nicht ohne einen regulierenden Eingriff für die Anwendung der erneuerbaren Energien bei der Stromgewinnung entscheiden würde.

Eine Ursache für den technologischen Lock-in sehen Cowan und Kline (1996) in den großen Infrastrukturinvestitionen, die in der Vergangenheit in der fossilen Stromerzeugung getätigt wurden und mit denen eine Absenkung der Grenzkosten einher ging. Diese Investitionen in Förderkapazitäten und Stromnetze sind zum großen Teil „sunk“, da dieses Kapital nur in der fossilen Energieerzeugung sinnvoll zur Anwendung kommt. Die erneuerbare Energie hat im Gegensatz zur tradi-

⁴einen Überblick zu externen Effekten in der Umweltökonomie und ihre Internalisierung durch geeignete Politikinstrumente geben Weimann (1995) oder Baumol/Oates (1994)

tionellen Energieerzeugung einen eher dezentralen Charakter, d.h. diese Energie wird in der Regel lokal erzeugt, und deshalb besteht keine Notwendigkeit für große Netzinfrastrukturen, mit denen man die Energie über weite Strecken transportieren kann.⁵ Bei einer Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien wären also vergangene Investitionen in Netzinfrastrukturen verloren. Diese Investitionskosten der traditionellen Energieerzeugung werden deshalb bei Wirtschaftlichkeitsvergleichen zwischen traditioneller und erneuerbarer Energie nicht herangezogen, da man sie auch bei einer Umstellung auf die erneuerbaren Energien tragen muss oder vielmehr bereits in der Vergangenheit getragen hat. Beachtung finden hingegen die Grenzkosten der traditionellen Energieerzeugung, die sehr tief liegen, wenn diese Infrastrukturinvestitionen erst einmal getätigt wurden.

Weitere Gründe des technologischen Lock-in ergeben sich aus der langjährigen Anwendung der fossilen Energieerzeugung. Diese traditionellen Technologien kommen bereits seit einem sehr langen Zeitraum zur Anwendung. Über diese Zeitspanne konnte man mit diesen Technologien zahlreiche Erfahrungen sammeln. Die Stromerzeuger konnten durch learning-by-doing-Effekte technische Verbesserungen herbeiführen. Außerdem wurden zum Teil hochqualifizierte Arbeitskräfte in der Anwendung dieser traditionellen Technologien ausgebildet. Auch wurden sehr detaillierte Informationen über die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit dieser Technologie gesammelt.

Die von Arrow (1962) angesprochenen Learning-by-doing Effekte können unter Umständen die Subventionierung von erneuerbaren Energien rechtfertigen. Erste Projekte mit dieser noch jungen Technologie werden zu Verbesserungen sowohl in der Produktion als auch in der Anwendung dieser Technologien führen. Die heutigen Produzenten dieser Technologie werden also einen positiven externen Effekt auf spätere Produzenten ausüben, da letzere von den Verbesserungen,

⁵siehe Economist

die durch die Pionierarbeit der heutigen Produzenten erzielt wurde, profitieren. Ebenso profitieren zukünftige Anwender dieser Technologie von den Verbesserungen, die durch frühe Anwender erzielt werden. Die heutigen Anwender und die heutigen Produzenten üben also auf diesem Weg einen positiven externen Effekt auf zukünftige Anwender und zukünftige Produzenten aus, der unter Umständen eine Subventionierung von erneuerbarer Energie rechtfertigt.

Jedoch werden wir auch diese Learning-by-doing-Effekte nicht weiter untersuchen. Im ersten Teil dieser Arbeit wollen wir uns mit der Förderung von erneuerbaren Energien aufgrund fehlender Informationen über die Leistungsfähigkeit dieser Technologien beschäftigen. Wir werden sehen, dass es sich bei diesen Informationen genau wie bei den Learning-by-doing-Effekten um einen positiven externen Effekt handelt, der von frühen Produzenten der Technologie auf spätere Produzenten ausgeübt wird. Nach dem wir uns im ersten Teil mit der ökonomischen Rechtfertigung der Förderung von erneuerbarer Energie beschäftigt haben, werden wir dann im zweiten Teil der Arbeit untersuchen, wie sich Subventionsregelungen zur Förderung von erneuerbaren Energien möglichst effizient ausgestalten lassen.

Teil I

Subventionierung von Demonstrationsprojekten

„In einer Welt voller Unsicherheit muß man eine Menge Dinge ausprobieren. Man kann nur hoffen, dass einige davon funktionieren.“

Douglass North, Wirtschaftshistoriker und Ökonom

Kapitel 1

Einführung und Fragestellung

Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Energien sind Unsicherheiten bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit unterworfen. Während die Technologien der konventionellen Energieversorgung durch ihre langjährige Verwendung erprobt und dabei zahlreiche Informationen über Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Technologien gesammelt werden konnten, existieren in Bezug auf die Technologien der erneuerbaren Energiegewinnung sehr viel weniger Informationen dieser Art. Dies schafft nach Meinung von Cowan und Kline (1996) eine erhebliche Markteintrittsbarriere für die Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energie.

Cowan und Kline (1996) behaupten außerdem, dass es klare Hinweise darauf gibt, dass zu wenig Bereitschaft von privater Seite besteht, diese Technologien zu testen, um auf diese Weise Informationen zu erhalten, die einem Markteintritt dienlich wären. Diese Beobachtung deckt sich mit den theoretischen Erkenntnissen von Cowan (1991). In Cowan (1991) wird gezeigt, dass in kompetitiven Märkten wenig bekannte Technologien unter gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsspekten in einem zu geringen Maß getestet werden.

Die Idee hinter diesem Phänomen wurde auch in Arthur und Lane (1993) unter dem Stichwort „Information Contagion“ aufgegriffen. Sowohl Cowan als auch Arthur und Lane argumentieren, dass risikoaverse Konsumenten einer Technologie

mit bekannter Leistungsfähigkeit im Vergleich zu einer konkurrierenden Technologie mit unbekannter Leistungsfähigkeit den Vorzug geben. Erste Nutzer einer bis dato unbekanntem Technologie sammeln beim Umgang mit dieser Technologie wertvolle Erfahrungen und Informationen, die sie an spätere Nutzer weitergeben können. Aufgrund der Risikoaversion werden diese späteren Nutzer bei gleichen Präferenzen die Technologie nun höher einschätzen als die frühen Nutzer, einfach deshalb weil durch die frühen Nutzer die Unsicherheit über die Leistungsfähigkeit der Technologie gemindert wurde. Frühe Nutzer üben demnach einen positiven externen Effekt auf spätere Nutzer aus. Aus diesem positiven externen Effekt leiten sowohl Cowan als auch Arthur und Lane eine zu geringe Bereitschaft der Konsumenten ab, sich auf ein Experiment mit einer neuen Technologie mit nur wenig bekannter Leistungsfähigkeit einzulassen. Sie schließen daraus, dass eine Subventionierung von solchen Experimenten eine wohlfahrtserhöhende Wirkung haben muss.

Wir vertreten jedoch den Standpunkt, dass bei Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie solch ein positiver externer Effekt sich zumindest teilweise durch eine geeignete Gestaltung des Kaufvertrags internalisieren lässt. Bei einer geeigneten Vertragsgestaltung lässt sich nämlich das Risiko, das aufgrund der unsicheren Leistungsfähigkeit der Technologie besteht, vom Konsumenten auf den Produzenten übertragen. Besteht beispielsweise bei einer Technologie zur Erzeugung von erneuerbarer Energie Unsicherheit über die Lebensdauer, so kann der Produzent das Risiko übernehmen, indem er dem Konsumenten weitgehende Gewährleistungsfristen einräumt. Besteht Unsicherheit über die Wartungs- und Instandhaltungskosten, so kann der Produzent vertraglich versichern, die Wartung und Instandhaltung gegen eine pauschale Zahlung des Konsumenten zu übernehmen. Der Produzent profitiert im Gegensatz zum Konsumenten von den Erfahrungen und Informationen, die bei einem ersten Experiment mit einer neuen Technologie gesammelt werden. Liefert solch ein Experiment, oder ein Demonstrationsprojekt, ein positives Ergebnis, so kann der Produzent weitere Projekte

durchführen und hat für diese eine sehr viel sicherere Kalkulationsgrundlage als für das Demonstrationsprojekt. In Kapitel 2 werden wir den Wert, den solch eine Information für den Produzenten hat, genauer untersuchen.

Ferner wollen wir nach der Bewertung dieser Information untersuchen, ob bei oder vielmehr trotz der Risikoübernahme durch den Produzenten Gründe für eine Subventionierung eines Demonstrationsprojekt existieren. Solch ein Demonstrationsprojekt fassen wir hierbei als letzte Phase der Forschung und Entwicklung einer neuen Technologie auf. Die Gründe der Subventionierung liegen folglich in den positiven F&E-Externalitäten, über die Romer (1996) einen Überblick gibt.

Da wäre zum einen der Consumer-Surplus Effekt zu erwähnen. Dies ist ein positiver externer Effekt, der vom Produzenten auf den Konsumenten ausgeübt wird. Eine innovative Technologie senkt unter Umständen den Preis eines Produktes, in unserem Fall den Preis des elektrischen Stromes. Von dieser Preissenkung profitieren die Konsumenten. Demnach haben also unter Umständen auch sie etwas davon, wenn ein Produzent eine neue Technologie in einem Demonstrationsprojekt testet und sich dabei die Technologie als sehr leistungsfähig herausstellen sollte. Ebenfalls in Kapitel 2 werden wir untersuchen, unter welchen Umständen ein Consumer-Surplus bei der Durchführung eines Demonstrationsprojektes anfällt. Außerdem werden wir diesen Consumer-Surplus in einem numerischen Beispiel quantifizieren.

Die andere positive Externalität, die von Romer (1996) genannt wird, ist der sogenannte F&E-Effekt. Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprozesses kann der forschende und entwickelnde Unternehmer unter Umständen nicht für sich allein vereinnahmen. Von diesen Ergebnissen profitieren eventuell auch andere. So kann es in unserem Kontext beispielsweise vorkommen, dass ein Demonstrationsprojekt, in dem sich die Technologie eines Unternehmers als sehr leistungsfähig herausstellt, auch Rückschlüsse zulässt auf eine ähnliche Technologie, die sich in der Hand eines Konkurrenten befindet und bei der bis zur Durchführung des Demonstrationsprojektes ebenfalls eine Unsicherheit über die

Leistungsfähigkeit bestand. Wir werden in Kapitel 3 zeigen, dass, wenn solche Informationsspillover vorliegen, auch hier eine Subventionierung des Demonstrationsprojektes die Wohlfahrt erhöhen kann.

Die Frage, ob bei solchen Demonstrationsprojekten ein staatlicher Eingriff in Form einer Subvention gerechtfertigt ist, hat wirtschaftspolitische Relevanz. Programme zur Finanzierung von Demonstrationsprojekten für Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie werden in Europa bereits in mehreren Ländern durchgeführt und in einigen Ländern zumindest diskutiert. Es werden also bereits beträchtliche Summen an Steuergeldern für die Subventionierung solcher Projekte aufgewendet. Jedoch existieren wenige wissenschaftliche Arbeiten, die einer solchen Subventionierung eine Legitimation verleihen, geschweige denn Aussagen darüber treffen, wie der Subventionsmechanismus ausgestaltet sein sollte.

Das Irische Energie Zentrum plant beispielsweise, Investitionszuschüsse für Demonstrationsprojekte der Kraft-Wärme-Kopplung zu vergeben. Das Energie Zentrum betont, dass Demonstrationsprojekte vor allem dann wichtig sind, wenn die Marktdurchdringung einer Technologie gering ist und ein technischer Fortschritt den Markt für die Technologie erschließen wird ¹.

In den Niederlanden wurde am 01.04.1994 das „Decree subsidies energy programmes“ erlassen². Diese Richtlinie regelt Subventionszahlungen für Demonstrationsprojekte von Technologien zur Energieeinsparung sowie von Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energie. Die Subventionshöhe eines Demonstrationsprojektes beträgt nach dieser Richtlinie 40%, falls die Investitionskosten des Projektes weniger als 453.780 Euro betragen, und 25%, falls die Investitionskosten diese Grenze überschreiten.

In Dänemark wurde am 07.10.1992 das so genannte „Development and Demonstration Programme for Renewable Energy“ aufgelegt³. Im Rahmen dieses

¹siehe Irish Energy Centre (2001)

²siehe Europäische Union

³siehe Agores (2000)

Programmes werden Demonstrationsprojekte für Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Energie subventioniert. Förderungswürdige Technologien sind dezentrale Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Biogasanlagen, innovative Stroh- und Holzöfen sowie neuartige Windmühlen und Solaranlagen. Typischerweise wird ein Zuschuss zwischen 20% und 40% der Investitionskosten eines Demonstrationsprojektes vergeben. In manchen Fällen, wenn die Technologie sehr weit von der Marktreife entfernt ist, können die Subventionssätze auch bei 50% und darüber liegen. Im Jahr 1996 wurden in Dänemark 56 Mio DKK für die Subvention von Demonstrationsprojekten bereitgestellt.

Auch die Europäische Kommission macht Gelder für Demonstrationsprojekte für Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energie frei.⁴ Im Zuge des 4. Rahmenprogramms für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration wurden 153 Mio Euro für die Förderung von Investitionen in diese Technologien ausgegeben. Bevorzugt gefördert wurden hierbei Demonstrationsprojekte.

Das Nachfolgeprogramm, das 5. Rahmenprogramm für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration enthält ein spezielles Programm „Energie, Umwelt und nachhaltige Entwicklung“. Dieses Teilprogramm wurde mit einem Budget von 1043 Mio Euro ausgestattet. Die Förderung erneuerbarer Energieträger ist ein Schwerpunkt dieses Programms. Im Jahr 1999 waren für den Energieteil dieses Programms 208 Mio Euro vorgesehen, davon 60% für die Förderung von erneuerbaren Energieträgern, davon wiederum 75% für die Subventionierung von Demonstrationsprojekten. Damit stand im Jahre 1999 ein Betrag von 95 Mio Euro für Demonstrationsprojekte erneuerbarer Energieträger zur Verfügung. Nach Meinung der Kommission wird der Demonstrationsteil des 5. Rahmenprogramms die Risiken im Zusammenhang mit einer Veränderung des Umfangs der Nutzung erneuerbarer Energieträger verringern und ihre Durchsetzung auf dem Markt beschleunigen.

⁴siehe Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen

In der Bundesrepublik Deutschland erließ das Bundesministerium für Umwelt am 04. Februar 1997 die Richtlinie „zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen“. Auf der Grundlage dieser Richtlinie führte die Kreditanstalt für Wiederaufbau das „BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben“ ein. Im Rahmen dieses Programmes fördert die KfW Vorhaben mit Demonstrationscharakter im Umweltbereich, unter anderem auch Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie. Die Förderung besteht hier aus einer Fremdkapitalfinanzierung zu günstigen Sonderkonditionen oder in seltenen Fällen auch aus einem Investitionskostenzuschuss⁵.

Bei einer Subventionierung über verbilligte Kredite werden 70% der Investitionskosten in beliebiger Höhe finanziert. Der verbilligte Kredit wird zu dem am Tag der Zusage geltenden Programmzinssatz zugesagt. Dieser Zinssatz orientiert sich an der Entwicklung des Kapitalmarktes und wird vom Bundesministerium für Umwelt in der Regel um 5%-Punkte über 5 Jahre der Gesamtlaufzeit verbilligt. Bei Krediten mit bis zu 10 Jahren Laufzeit, bleibt der Zinssatz für die gesamte Kreditlaufzeit unverändert. Bei Krediten mit mehr als 10 Jahren Laufzeit, wird der Zinssatz nach Ablauf von 10 Jahren angepasst. Die maximale Kreditlaufzeit beträgt 30 Jahre bei höchstens 5 tilgungsfreien Anlaufjahren. Der Kredit wird von einer Hausbank durchgeführt, wobei diese den Nominalzinssatz in Abhängigkeit ihrer Einschätzung bezüglich der Bonität bzw. den Sicherheiten des Antragstellers um bis zu 0,5%-Punkte erhöhen kann.

Ein eventueller Investitionskostenzuschuss muss zuvor vom Antragsteller begründet werden. Dabei muss dieser verdeutlichen, warum eine Zinsverbilligung nicht ausreicht, um das Demonstrationsvorhaben durchzuführen. Der Investitionskostenzuschuss beträgt 30% der Investitionskosten des Demonstrationsprojektes.

⁵siehe Kreditanstalt für Wiederaufbau

In ihrem Merkblatt zu diesem Subventionsprogramm liefert die KfW eine Definition darüber, was sie unter einem Projekt mit Demonstrationscharakter versteht, was also ihrer Ansicht nach förderungswürdige Projekte sind. In diesem Merkblatt heißt es:

„Demonstrationscharakter hat ein Vorhaben dann, wenn die geplante Technik/Technologie großtechnisch noch nicht angewendet wird, bzw. wenn bekannte Techniken erstmals in einer neuen verfahrenstechnischen Anordnung zum Einsatz kommen sollen. Ferner sollen weitere, gleiche oder ähnliche Anlagen bei anderen Anwendern vorhanden oder zu erwarten sein, auf die die gewonnen Erkenntnisse mit dem Ergebnis vergleichbarer umweltentlastender Auswirkungen übertragen werden können.“

Dabei muss der modellhafte Neuheitswert einer Technologie, welche in einem subventionierten Projekt zur Anwendung kommt, in den Antragsformularen des Subventionsprogramms begründet werden. Das gleiche gilt für die Übertragbarkeit der durch das Demonstrationsprojekt gewonnenen Erkenntnisse auf gleiche oder ähnliche Anlagen. Auch hier ist im Antragsformular zu begründen, warum eine Übertragbarkeit zu erwarten ist. Hierfür kann den Antragsformularen eine Stellungnahme einer fachkundigen und amtlich zugelassenen Gutachterstelle oder Überwachungsorganisation beigelegt werden.

Die Subventionierung von Demonstrationsprojekten ist hier also ganz erheblich durch das motiviert, was wir in Kapitel 3 unter dem Stichwort Informations-spillover analysieren. Die besonderen Begründungen über die technische Übertragbarkeit, die im Antragsformular verlangt werden, zeigen jedoch, dass ein sogenannter Informationsspillover für den Subventionsgeber, in diesem Fall für die KfW, schwer festzustellen ist. Es herrscht hier eine asymmetrische Information zwischen Subventionsnehmer und Subventionsgeber. Der Subventionsnehmer weiß über seine Technologie besser Bescheid als der Subventionsgeber. Er kann deswegen auch die technische Übertragbarkeit besser abschätzen. Da er aber an

der Subvention interessiert ist, wird er nach außen immer den Standpunkt vertreten, dass die technischen Erkenntnisse, die durch sein Demonstrationsprojekt gewonnen werden, sehr gut auf zahlreiche andere Anlagen übertragen werden können. Auch ist zweifelhaft, ob eine amtliche Gutachterstelle mit ihrer Stellungnahme bezüglich der Übertragbarkeit zur Überbrückung der asymmetrischen Information beitragen kann. Auch die Gutachterstelle hat in aller Regel schlechtere Informationen bezüglich der Technologie als der Subventionsnehmer.

Durch die asymmetrische Information kann der Subventionsgeber das Ausmaß der Übertragbarkeit oder das Ausmaß des Informationsspillovers nicht beurteilen. Er weiß also nicht, wieviele andere Produzenten von der Information profitieren, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird. Außerdem kann der Subventionsgeber unter asymmetrischer Information nicht abschätzen, welche Technologien der Produzenten eine so hohe Ähnlichkeit aufweisen, dass deren Demonstrationsprojekte jeweils identische Informationen generieren.

Wenn sich nun zwei Produzenten beim Subventionsgeber um eine Subvention bewerben, so weiß dieser nicht, ob es vielleicht nicht genügen würde, nur einen der beiden Produzenten zu subventionieren, weil die Informationen, die durch ihre Demonstrationsprojekte generiert werden, jeweils die gleichen sind und von beiden Produzenten genutzt werden könnten. Der Subventionsgeber kann nun also die Subvention nicht mehr gezielt vergeben. Wenn er nun restriktiv bei der Subventionsvergabe vorgeht, um zu verhindern, dass Demonstrationsprojekte, welche die gleiche Information generieren, nicht mehrfach subventioniert werden, läuft er Gefahr, dass sinnvolle Demonstrationsprojekte nicht subventioniert und somit wertvolle Informationen nicht generiert werden. Ist der Subventionsgeber auf der anderen Seite in seiner Subventionsvergabeentscheidung zu großzügig, so kann es vorkommen, dass Demonstrationsprojekte mehrfach gefördert und somit Subventionsgelder verschwendet werden. Ebenfalls in Kapitel 3 zeigen wir, dass unter dieser Informationslage eine Pauschalsubvention die Wohlfahrt unter bestimmten Umständen erhöhen kann.

Kapitel 2

Der Wert eines Demonstrationsprojektes

2.1 Große und kleine Innovationen als Folge von Demonstrationsprojekten

Wir formalisieren den Wert eines Demonstrationsprojektes im Rahmen eines drei Zeitpunkt Modells. Zum Zeitpunkt $t=0$ muss sich ein Energieunternehmen entscheiden, ob es in ein Demonstrationsprojekt einer Technologie zur Erzeugung von regenerativer Energie investiert, das Sicherheit über die Leistungsfähigkeit der entsprechenden Technologie bringen wird. Wenn das Unternehmen in $t=0$ in das Demonstrationsprojekt investiert, so erkennt es in $t=1$ die Leistungsfähigkeit der Technologie. Ist die Leistungsfähigkeit hoch, so wird das Unternehmen in $t=1$ in großem Umfang in die Technologie investieren und aus dieser Investition in $t=2$ einen sicheren Cashflow realisieren. Stellt sich die Leistungsfähigkeit in $t=1$ als schlecht heraus, so unterlässt das Unternehmen alle weiteren Investitionen in diese Technologie. Es wird somit in $t=2$ kein Cashflow realisiert. Die Unsicherheit bezüglich der Leistungsfähigkeit wird also als Unsicherheit darüber aufgefasst, welcher von zwei Zuständen in der Zukunft eintreten wird.

Zum Zeitpunkt $t=0$ wird die Energie auf dem betrachteten Markt mit einer konventionellen Technologie erzeugt. Die Produktionskosten dieser Technologie sind bekannt und betragen C_{alt} pro Einheit produzierter Energie. Wir nehmen ferner an, dass auf dem Energiemarkt vollkommene Konkurrenz herrscht. Aus diesem Grund sind diese Produktionskosten gleich dem Preis, zu dem eine Energieeinheit angeboten wird.

Die Produktionskosten der neuen Technologie C_{neu} bestehen aus Kapitalkosten sowie einer Komponente, die einer Unsicherheit unterliegt. Es könnte sich hier beispielsweise um Wartungs- und Instandhaltungskosten handeln, über deren Höhe sich der Investor bei Tätigung der Investition nicht im Klaren ist. Falls wir eine Welt unterstellen, in der die negativen externen Effekte durch Umweltbelastungen mittels Emissionssteuern oder mittels Emissionszertifikaten vollständig internalisiert werden, so kann man sich die Unsicherheitskomponente auch als eine Unsicherheit über die Umweltwirkung der neuen Technologie vorstellen. In diesem Fall sind die Kosten, die der Investor durch Emissionssteuern oder für die Anschaffung von Emissionszertifikaten zu tragen hat, bei Durchfurhung der Investition zunächst unklar.

Entscheidet sich nun das Energieunternehmen für das Demonstrationsprojekt, so muss es in $t=0$ \mathbf{k} Einheiten Kapital investieren und bietet von $t=0$ bis $t=1$ eine Energieeinheit zum Preis von C_{alt} an. In $t=1$ ist das investierte Kapital vollständig abgeschrieben. Außerdem existiert auf dem Markt ein risikoloser Zinssatz \mathbf{r} . Die Kapitalkosten der neuen Technologie betragen also pro Energieeinheit $(\mathbf{1} + \mathbf{r}) \cdot \mathbf{k}$. Die unsichere Kostenkomponente determiniert die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der neuen Technologie. Nehmen diese Kosten den niedrigen Wert \mathbf{c}^+ an, so hat die neue Technologie eine hohe Leistungsfähigkeit. Bei niedriger Leistungsfähigkeit nehmen diese unsicheren Kosten den hohen Wert \mathbf{c}^- an.

In Abbildung 2.1 wird das Konsumentenverhalten auf dem Energiemarkt mittels einer Preis-Absatz-Funktion der Form $\mathbf{p} = \mathbf{a} - \mathbf{b}\mathbf{x}$ dargestellt, wobei \mathbf{p} für den Preis pro Energieeinheit steht. Außerdem steht die Variable C_{neu}^- für die

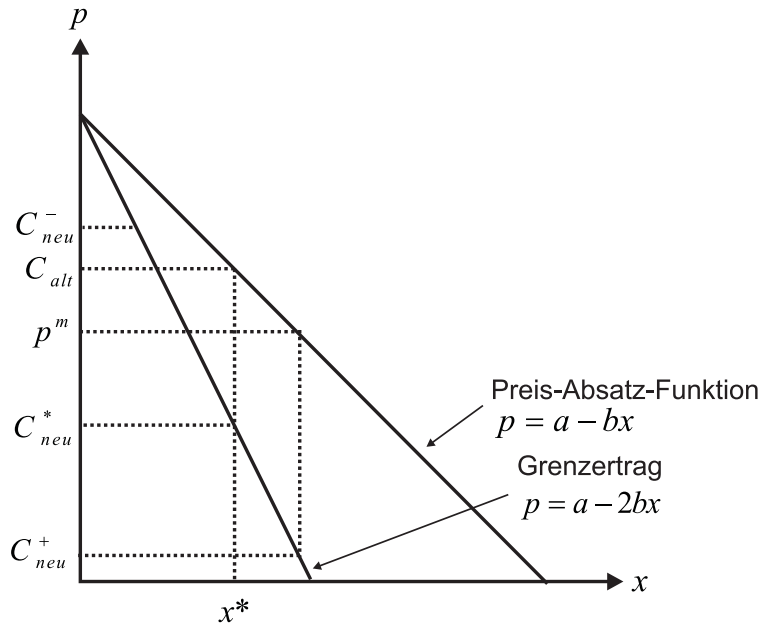


Abbildung 2.1: Preis-Absatz-Funktion und Produktionskosten des Energiemarktes

Produktionskosten der neuen Technologie bei schwacher Leistungsfähigkeit. Entsprechend steht C_{neu}^+ für die Produktionskosten der neuen Technologie bei guter Leistungsfähigkeit.

Die Produktionskosten bei schwacher Leistungsfähigkeit liegen über den Produktionskosten der alten Technologie und damit über dem Preis, welchen das Unternehmen auf dem Energiemarkt erzielen kann. Bei schwacher Leistungsfähigkeit wird das Unternehmen aus dem Demonstrationsprojekt also einen Verlust in Höhe von $C_{neu}^- - C_{alt}$ hinnehmen müssen.

Bei hoher Leistungsfähigkeit realisiert das Unternehmen aus dem Demonstrationsprojekt einen Gewinn in Höhe von $C_{alt} - C_{neu}^+$. Außerdem erhält es das Signal, dass weitere Investitionen in die Technologie gewinnbringend sein werden. Es wird deshalb die neue Technologie auf dem Markt in großem Umfang implementieren. Welche Energiemenge das Unternehmen zu welchem Preis nach erfolgreichem Demonstrationsprojekt anbietet, hängt entscheidend von der Höhe

der Produktionskosten C_{neu}^+ ab.

Sind diese Kosten größer als der in Abbildung 2.1 mit C_{neu}^* bezeichnete kritische Wert, so ist es für das Unternehmen nicht möglich, wie ein Monopolist gemäß der Regel Grenzkosten gleich Grenzertrag anzubieten. Würde die Unternehmung gemäß dieser Regel anbieten, so müsste sie den Preis höher als C_{alt} setzen. In diesem Fall könnte sie aber ihre Energiemenge nicht absetzen, da die Konkurrenten mit konventioneller Technologie, Energie im Markt zum Preis C_{alt} anbieten. Unter $C_{neu}^+ > C_{neu}^*$ wird die Unternehmung deswegen zu einem Preis anbieten der marginal kleiner ist als C_{alt} . Die Menge, welche die Unternehmung bei dieser Preissetzung absetzen kann, ist in Abbildung 2.1 mit x^* bezeichnet. Den Gewinn, den das Unternehmen dabei realisiert, beträgt $\Pi = \mathbf{x}^* \cdot (C_{alt} - C_{neu}^+)$. Unter $C_{neu}^+ > C_{neu}^*$ spricht man auch von einer **kleinen Innovation**.

Gilt hingegen $C_{neu}^+ < C_{neu}^*$, so spricht man von einer **großen Innovation**.¹ Dieser Fall wird in Abbildung 2.1 skizziert. Setzt das Unternehmen nun gemäß der Regel Grenzkosten gleich Grenzertrag den Monopolpreis p^m , so liegt dieser Preis immer noch tiefer als der Preis C_{alt} , zu dem die konventionellen Energieunternehmen anbieten. Die abgesetzte Menge x ist nun größer als x^* und der Gewinn beträgt $\Pi = \mathbf{x} \cdot (p^m - C_{neu}^+)$.

Den kritischen Wert C_{neu}^* kann man aus der Preis-Absatz-Funktion und der Grenzertragsfunktion in Abbildung 2.1 berechnen. Aus der Preis-Absatz-Funktion wissen wir, dass folgende Gleichung gilt:

$$C_{alt} = a - bx^* \tag{2.1}$$

Außerdem können wir der Grenzertragsfunktion den folgenden Zusammenhang entnehmen:

¹Hier greifen wir auf die Nomenklatura von Tirole (1995) zurück.

$$C_{neu}^* = a - 2bx^* \quad (2.2)$$

Lösen wir nun Gleichung (2.1) nach x^* auf und substituieren damit x^* in Gleichung (2.2) dann erhalten wir:

$$C_{neu}^* = 2C_{alt} - a \quad (2.3)$$

Die Kostensenkung, die mindestens notwendig ist, um eine große Innovation herbeizuführen, erhalten wir aus:

$$\Delta_{Kosten} = C_{alt} - C_{neu}^* \quad (2.4)$$

Setzen wir Gleichung (2.3) in (2.4), dann erhalten wir für die Kostensenkung, ab der eine große Innovation erreicht wird, den folgenden Term:

$$\Delta_{Kosten} = a - C_{alt} \quad (2.5)$$

2.2 Realloption als Wertbestandteil des Demonstrationsprojektes

2.2.1 Wertbestandteile des Demonstrationsprojektes aus finanztheoretischer Sicht

Der Wert des Demonstrationsprojektes kann aus finanztheoretischer Sicht in zwei Komponenten aufgliedert werden. Abbildung 2.2 zeigt die durch das Demonstrationsprojekt generierte, zustandsabhängige Zahlungsstruktur. Dabei steht H

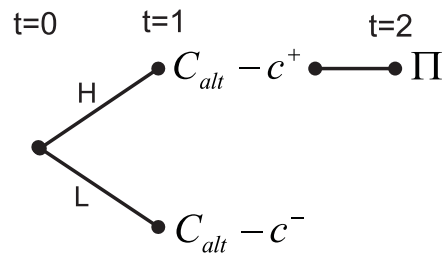


Abbildung 2.2: Durch Demonstrationsprojekt generierte, zustandsabhängige Zahlungsstruktur

für den Zustand, in dem die Technologie eine hohe Leistungsfähigkeit aufweist, während L den Zustand der schwachen Leistungsfähigkeit symbolisiert. Der zustandsabhängige Cashflow, der durch das Demonstrationsprojekt in $t=1$ generiert wird, ist eine der beiden Wertkomponenten des Demonstrationsprojektes. Diese Komponente ist die Bewertung der Technologie durch den Kapitalmarkt unter der in $t=0$ bestehenden Unsicherheit. Wir wollen annehmen, dass dieser Wert mit V exogen gegeben ist.

Die zweite Wertkomponente besteht aus dem Wert der Information, welche durch das Demonstrationsprojekt generiert wird. Dieser Wert entspricht dem Gegenwartswert im Zeitpunkt $t=0$ des Gewinns Π , welcher bei Markteinführung der Technologie zum Zeitpunkt $t=2$ anfällt. Bei der Bewertung dieses Gewinns muss die zum Zeitpunkt $t=0$ bestehende Unsicherheit berücksichtigt werden.

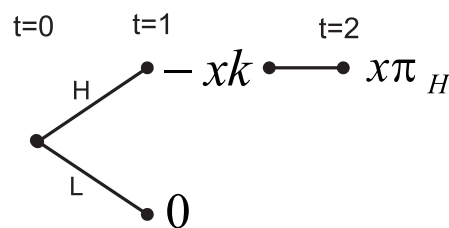


Abbildung 2.3: Determinierende Zahlungsstruktur des Gewinns Π

Abbildung 2.3 zeigt die zustandsabhängige Zahlungsstruktur, welche die Höhe

von Π determiniert. Dabei gilt $\pi_H := C_{alt} - c^+$ im Fall einer kleinen und $\pi_H := p^m - c^+$ im Fall einer großen Innovation. Die in Abbildung 2.3 dargestellte Zahlungsstruktur ist die gleiche Zahlungsstruktur wie die einer Calloption auf dem Finanzmarkt. Eine Calloption beinhaltet das Recht, ein Basisgut, z.B. eine Aktie, an einem bestimmten Ausübungstermin zu einem zuvor festgelegten Preis, dem sogenannten Basispreis, zu kaufen. Liegt zum Zeitpunkt des Ausübungstermins der Kurs der Aktie über dem Basispreis, so wird die Option ausgeübt und der Halter der Option realisiert einen Gewinn, welcher der Differenz zwischen aktuellem Kurs der Aktie und dem Basispreis entspricht. Liegt zum Zeitpunkt des Ausübungstermins der Kurs der Aktie unter dem Basispreis, so wird die Option nicht ausgeübt und der Optionshalter realisiert keinen Gewinn. Betrachten wir nun noch mal den Zahlungsstrom in Abbildung 2.3. Der Zustand H entspricht der Situation, in welcher der Aktienkurs über dem Basispreis liegt. Der Gegenwartswert zum Zeitpunkt $t = 1$ des zum Zeitpunkt $t = 2$ anfallenden Cashflows entspricht hierbei dem Aktienkurs. Das was in $t = 1$ bezahlt oder investiert werden muss, um den Cashflow in $t = 2$ zu erwerben, entspricht dem Basispreis.

Die Zahlungsstruktur in Abbildung 2.3 ist also die Zahlungsstruktur einer Calloption, mit Basispreis xk , auf den zum Ausübungstermin $t=1$ vorherrschenden Gegenwartswert des Cashflows, den die Technologie generieren kann. Definieren wir $\pi_L := C_{alt} - c^-$, so beträgt der Gegenwartswert des Cashflows $\frac{x\pi_L}{1+r}$ bei schwacher Leistungsfähigkeit und $\frac{x\pi_H}{1+r}$ bei guter Leistungsfähigkeit. Da der Gegenwartswert des Cashflows bei schwacher Leistungsfähigkeit geringer ist als der Basispreis, zu dem der Investor diesen Cashflow erwerben kann, wird die Option in diesem Fall nicht ausgeübt. Dies entspricht dem Fall einer Calloption auf dem Finanzmarkt, bei der sich zum Ausübungstermin der Kurs der ihr zugrunde liegenden Aktie unter dem Basispreis befindet.

Fällt bei einer Investition in reale Assets eine Zahlungsstruktur an, die äquivalent ist zur Zahlungsstruktur einer Finanzoption, so spricht man von einer Realoption. Das Konzept zur Bewertung solcher Realinvestitionen, die eine Re-

aloption beinhalten, ist die Realoptionstheorie. Der Vorteil der Bewertung einer Realinvestition mit dem Instrumentarium der Realoptionstheorie anstelle mit dem Instrumentarium der traditionellen Kapitalbudgetierungstheorie, liegt in der Berücksichtigung des strategischen Wertes der Realinvestition². Gemäß der traditionellen Kapitalbudgetierungstheorie müssten wir bei der Bewertung des Demonstrationsprojektes die zustandsabhängigen Cashflows, die dieses einzelne Projekt generiert, mit einem dem Risiko adäquaten Zinssatz diskontieren. Der Wert des Demonstrationsprojektes wäre also lediglich durch die in $t = 1$ anfallenden Cashflows, die mit V bewertet werden, gegeben. In der Realoptionstheorie werden nun jedoch auch die Möglichkeiten bewertet, die sich nach einem gelungenen Demonstrationsprojekt ergeben. Hier spricht man von einem strategischen Wert der Investition oder dem Wert der Flexibilität. Dieser Wert ist der Wert der Realoption, die das Investment in das Demonstrationsprojekt beinhaltet. Da nach einem gelungenen Demonstrationsprojekt der Investor die Möglichkeit hat, die Technologie in größerem Maßstab zu implementieren, spricht man bei der hier vorliegenden Realoption auch von einer Erweiterungsoption³.

Die Realoptionskomponente der Bewertung des Demonstrationsprojektes ist im Grunde nichts anderes als der Wert der Information, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird. Diese neue Betrachtungsweise, mit der wir uns hier dem Problem der Subventionierung von Demonstrationsprojekten nähern, unterscheidet sich grundlegend vom vorherrschenden Standpunkt der politischen Entscheidungsträger. Häufig wird nämlich von der Politik die Generierung von Informationen durch ein Demonstrationsprojekt als hinreichende Begründung für dessen Subventionierung gesehen. Mittels des Realoptionsansatzes können wir jedoch argumentieren, dass die durch das Demonstrationsprojekt generierte Information zum großen Teil dem Investor in Form eines Realoptionswertes zugute kommt und deshalb nicht generell eine Subvention rechtfertigt. Da dieser Realop-

²siehe Trigeorgis (1996)

³siehe Meise (1998)

tionswert für unser theoretisches Gebäude von zentraler Bedeutung ist, werden wir ihn nun in den folgenden zwei Unterabschnitten genauer betrachten.

2.2.2 Optionswert des Demonstrationsprojektes

Diskontieren wir den Cashflow $x\pi_H$ aus Abbildung 2.3 mit dem risikolosen Zinssatz r , so erhalten wir nach einfachen algebraischen Umformungen die wertmäßig äquivalente Zahlungsstruktur in Abbildung 2.4. Wir können nun ein Arrow-

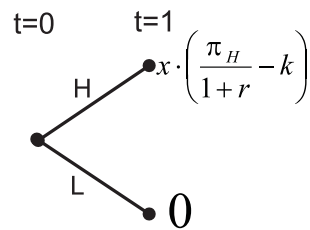


Abbildung 2.4: Wertmäßig äquivalente Zahlungsstruktur

Wertpapier aus der neuen Technologie und dem risikolosen Zinssatz bilden, welches in Zustand H und Zeitpunkt $t=1$ genau eine Kapitaleinheit ausbezahlt, und mit diesem Wertpapier die Zahlungsstruktur in Abbildung 2.4 bewerten.⁴

Sei \mathbf{n} eine Anzahl von Investitionsprojekten der neuen Technologie, die jeweils eine Einheit Energie liefern, und sei \mathbf{y} ein Kapitalbetrag, der zum risikolosen Zinssatz angelegt wird, so muss bei Bildung des Arrow-Wertpapiers gelten:

$$n \cdot (C_{alt} - c^+) + y \cdot (1 + r) = 1 \quad (2.6)$$

$$n \cdot (C_{alt} - c^-) + y \cdot (1 + r) = 0 \quad (2.7)$$

⁴Zur Bewertung von zustandsabhängigen Zahlungen mit Arrow-Wertpapieren siehe Eichberger/Harper (1997).

Lösen wir dieses Gleichungssystem nach y und n und beachten außerdem $\pi_L := C_{alt} - c^-$ so erhalten wir:

$$n = \frac{1}{c^- - c^+} \wedge y = -\frac{\pi_L}{(1+r)(c^- - c^+)} \quad (2.8)$$

Wir sehen, dass der Kapitalbetrag y für $\pi_L < 0$ positiv und für $\pi_L > 0$ negativ sein muss. Unter $\pi_L > 0$ wird also bei der Replikation des Arrow-Wertpapiers kein Kapital zum risikolosen Zinssatz angelegt, sondern es handelt sich bei y dann um einen Kredit. Wenn unterstellt wird, dass Kredit- und Anlagezins identisch sind, so impliziert dies die Annahme eines vollständigen Kapitalmarktes.

Die Variable π_L nimmt immer dann einen negativen Wert an, wenn zum Zeitpunkt $t = 1$ die unsichere Kostenkomponente des Demonstrationsprojektes den Erlös des Demonstrationsprojektes übersteigt. In diesem Fall ist der in $t = 1$ erzielte Cash-Flow negativ. Dies muss im Fall der schwachen Leistungsfähigkeit nicht notwendigerweise so sein. Es kann hier auch ein positiver Cash-Flow anfallen. Dieser muss dann jedoch geringer sein, als der Cash-Flow, den man erzielt, wenn man das Investitionskapital k zum risikolosen Zinssatz r anlegt. Der Gewinn aus dem Demonstrationsprojekt wäre dann nach Berücksichtigung der Kapitalkosten negativ.

Da jedes der n Investitionsprojekte vom Kapitalmarkt mit V bewertet wird erhalten wir die Bewertung V_H des Arrow-Wertpapiers durch folgende Gleichung:

$$V_H = V \cdot n + y \quad (2.9)$$

Setzen wir (2.8) in (2.9), so erhalten wir für den Wert des Arrow-Wertpapiers den folgenden Ausdruck:

$$V_H = \frac{(1+r)V - \pi_L}{(1+r)(c^- - c^+)} \quad (2.10)$$

Man erhält den Wert der Realloptionskomponente des Demonstrationsprojektes aus dem Produkt der Zahlung im Zustand H zum Zeitpunkt $t=1$ in Abbildung 2.4 und der Bewertung des Arrow-Wertpapiers in Gleichung (2.10). Nach einfachen algebraischen Umformungen erhält man dann für diesen Optionswert den folgenden Ausdruck:

$$V_{opt} = x \cdot \frac{[\pi_H - (1+r)k][(1+r)V - \pi_L]}{(1+r)^2(c^- - c^+)} \quad (2.11)$$

Dieser Optionswert ist unter plausiblen Annahmen immer positiv. Die Marktgröße x sowie der Nenner des Ausdrucks sind auf jeden Fall positiv. Es bleibt zu überprüfen, ob auch der Zähler des Ausdrucks positiv ist. Der Faktor $\pi_H - (1+r)k$ entspricht dem Gewinn pro Investitionsprojekt der neuen Technologie bei hoher Leistungsfähigkeit. Dieser Gewinn muss positiv sein, denn wäre dies nicht so, dann würde die neue Technologie selbst im bestmöglichen Fall keine Gewinne abwerfen. Ein Austesten der Technologie durch ein Demonstrationsprojekt wäre nicht sinnvoll und immer verlustreich. Betrachten wir noch den zweiten Faktor des Zählers. Der Term $(1+r)V$ ist der Forward Value des Demonstrationsprojektes zum Zeitpunkt $t=0$ bezogen auf den Zeitpunkt $t=1$, ohne Berücksichtigung der Realloptionskomponente. Dieser muss zwischen der guten und der schlechten Ausprägung des Cashflows liegen, der in $t=1$ anfällt, also zwischen π_H und π_L . Damit ist sichergestellt, dass auch der zweite Faktor und damit der gesamte Optionswert positiv ist.

Ein Investor wird nun in das Demonstrationsprojekt investieren, falls dessen Wert über seinen Investitionskosten liegt, falls also gilt:

$$k < V + V_{opt} \Leftrightarrow k - V < V_{opt}$$

Der linke Ausdruck der zweiten Ungleichung kann als Prämie interpretiert werden, die der Investor für die im Demonstrationsprojekt enthaltene Realoption bezahlen muss. Liegt diese Optionsprämie unter dem Optionswert V_{opt} , so

wird sich der Investor für eine Investition in das Demonstrationsprojekt entscheiden. Findet sich hingegen auf dem Kapitalmarkt kein Investor, der das Projekt finanzieren möchte, so bedeutet dies, dass der Markt den Optionswert geringer einschätzt als die zu zahlende Optionsprämie.

In solch einem Fall wäre es in Abwesenheit von positiven externen Effekten unsinnig, wenn ein Regulator mittels einer Subvention dafür sorgen würde, dass solch ein an sich wirtschaftlich unerwünschtes Projekt durchgeführt wird. Obwohl dieses Projekt eine Information über eine neue Technologie offenbart, sind die Kosten des Projektes höher als der Wert, den dieses Projekt zu generieren in der Lage ist. Der Wert der Information, der von uns als der Wert einer Realloption dargestellt wird, reicht also hier nicht aus, um die Investitionskosten des Projektes aufzuwiegen.

2.2.3 Komparativ statische Analyse des Optionswertes

In ihrer Wirkung auf den Optionswert leicht abzuschätzende Faktoren sind die Marktgröße x , die Investitionskosten k sowie der Wert V des zustandsabhängigen Cashflows. Aus Gleichung (2.11) erkennt man unmittelbar, dass der Optionswert mit der Marktgröße steigen muss. Ein solcher Zusammenhang ist auch ökonomisch sehr plausibel. Je größer der potentielle Markt für die Technologie ist, desto höher wird der Gewinn eines Investors sein, wenn sich der gute Zustand realisieren sollte. Nach unten bleibt der Verlust bei Realisation des schlechten Zustands auf die Investitionskosten des Demonstrationsprojekts beschränkt. Weiterhin erkennt man, dass der Optionswert fallen muss, wenn die Investitionskosten steigen. Da die Investitionskosten k den Basispreis der Realloption positiv beeinflussen, weil letzterer aus dem Produkt der Investitionskosten und der Marktgröße besteht, ist auch dieses Ergebnis ökonomisch plausibel. Es ist allgemein bekannt, dass der Wert einer Calloption fällt, wenn ihr Basispreis steigt.

Die Bewertung V des zustandsabhängigen Cashflows hängt von den jeweili-

gen Ausprägungen π_H und π_L dieses Cashflows sowie von den Präferenzen der Kapitalmarktteilnehmer ab. Nehmen wir an, dass V exogen, d.h. z.B. aufgrund einer Veränderung der Risiko-Ertrags-Präferenzen steigt. In diesem Fall erkennt man aus Gleichung (2.11), dass der Optionswert ebenfalls steigen muss.

Nun soll untersucht werden, wie sich eine Veränderung der Cashflows π_H und π_L auf den Optionswert auswirkt. Wir wollen dies zunächst für den Fall einer kleinen Innovation analysieren und dabei annehmen, dass der erzielbare Preis C_{alt} unverändert bleibt und die Veränderungen der Cashflows ausschließlich auf Veränderungen der unsicheren Unterhaltungskosten c^+ beziehungsweise c^- zurückzuführen sind. Für den Fall einer kleinen Innovation können wir für die Differenz der Unterhaltungskosten $c^- - c^+$, im Nenner von Gleichung (2.11), die Differenz der Cashflows $\pi_H - \pi_L$ einsetzen. Leiten wir nach dieser Modifikation die Gleichung (2.11) jeweils nach π_H beziehungsweise nach π_L ab, so erhalten wir folgende Ergebnisse:

$$\begin{aligned}\frac{\partial V_{opt}}{\partial \pi_H} &= x^* \cdot \frac{[(1+r)V - \pi_L][(1+r)k - \pi_L]}{(1+r)^2(\pi_H - \pi_L)^2} > 0 \\ \frac{\partial V_{opt}}{\partial \pi_L} &= -x^* \cdot \frac{[\pi_H - (1+r)k][\pi_H - (1+r)V]}{(1+r)^2(\pi_H - \pi_L)^2} < 0\end{aligned}$$

Eine Erhöhung des Cashflows π_H führt also ceteris paribus zu einem höheren Optionswert, während eine Erhöhung des Cashflows π_L den Optionswert ceteris paribus senkt. Es soll ausdrücklich angemerkt werden, dass durch die ceteris paribus Bedingung von einer Rückwirkung der Veränderung des zustandsabhängigen Cashflows auf die Bewertung V abstrahiert wird. In Wirklichkeit jedoch wird eine Erhöhung sowohl von π_H als auch von π_L tendenziell auch die Bewertung V erhöhen. Dies bedeutet, dass die Erhöhung des Optionswertes durch eine Anhebung von π_H verstärkt wird. Die Minderung des Optionswertes durch eine Erhöhung des Cashflows π_L hingegen wird abgeschwächt oder eventuell kompensiert bzw. überkompensiert. Über die Wirkung einer Veränderung von π_L auf

den Optionswert lässt sich also unter Berücksichtigung einer Wirkung auf die Cashflowbewertung V keine Aussage mehr treffen.

Im Falle einer großen Innovation können wir die Differenz der Unterhaltungskosten durch den Ausdruck $\pi_H - \pi_L + C_{alt} - p^m$ ersetzen. Aus den ersten Ableitungen des auf diese Weise modifizierten Optionswertes erhalten wir dann folgende Ergebnisse:

$$\frac{\partial V_{opt}}{\partial \pi_H} = x \cdot \frac{[(1+r)V - \pi_L][(1+r)k - \pi_L + C_{alt} - p^m]}{(1+r)^2(\pi_H - \pi_L + C_{alt} - p^m)^2} > 0$$

$$\frac{\partial V_{opt}}{\partial \pi_L} = -x \cdot \frac{[\pi_H - (1+r)k][\pi_H - (1+r)V + C_{alt} - p^m]}{(1+r)^2(\pi_H - \pi_L + C_{alt} - p^m)^2} < 0$$

Auch im Fall einer großen Innovation senkt *ceteris paribus* eine Erhöhung von π_L den Optionswert, während eine Erhöhung von π_H den Optionswert *ceteris paribus* steigen lässt. Durch die *ceteris paribus* Bedingung wird im Fall einer großen Innovation nicht nur die Rückwirkung auf die Bewertung V vernachlässigt, sondern auch die Rückwirkung auf die Marktgröße x und den Preis p^m bei einer Veränderung von π_H . Eine Erhöhung des Cashflows π_H aufgrund einer Absenkung der Unterhaltungskosten c^+ führt zu einem geringeren Monopolpreis p^m und lässt dadurch die Marktgröße x anwachsen. Der Gesamteffekt auf den Monopolgewinn Π und damit auf den Optionswert ist positiv. Der beschriebene Effekt verstärkt somit zusätzlich die Wirkung einer Veränderung von π_H auf den Optionswert.

Wie lassen sich diese Ergebnisse ökonomisch interpretieren? Sowohl eine Erhöhung des Cashflows π_H als auch eine Absenkung von π_L wird die Schwankung der Erträge bei einer Investition in die Technologie im Vergleich zum Ertrag aus der risikolosen Alternativenanlage erhöhen. Beides erhöht somit die Unsicherheit eines Investments in die Technologie. Da durch das Demonstrationsprojekt diese Unsicherheit aus der Welt geschafft wird, steigt mit dieser Unsicherheit auch der Wert der Information, die durch das Demonstrationsprojekt akquiriert wird. Auch dies ist ein Standardresultat der Finanzierungstheorie: Der Wert jeder Option steigt

mit der Volatilität des ihr zugrunde liegenden Assets.

Die komparativ statische Analyse einer Veränderung des Optionswertes bei einer Variation des Zinssatzes gestaltet sich etwas schwieriger. Definieren wir zunächst R als den Zinsfaktor der risikolosen Alternativenanlage:

$$R := 1 + r$$

Leiten wir den durch Gleichung (2.11) gegebenen Optionswert nach diesem Zinsfaktor ab, so erhalten wir:

$$\frac{\partial V_{opt}}{\partial R} = x \cdot \frac{2\pi_H\pi_L - R(V\pi_H + k\pi_L)}{R^3(c^- - c^+)}$$

Setzen wir diese Ableitung gleich null und lösen nach R auf so erhalten wir den Zinsfaktor R^* für den der Optionswert ein Extremum annimmt:

$$R^* = \frac{2\pi_H\pi_L}{V\pi_H + k\pi_L}$$

Zur Überprüfung, ob es sich bei vorliegendem Extremum um ein Minimum oder ein Maximum handelt, bilden wir die zweite Ableitung und setzen diese kleiner null:

$$\frac{\partial^2 V_{opt}}{\partial R^2} = \frac{2R(V\pi_H + k\pi_L) - 6\pi_H\pi_L}{R^4(c^- - c^+)} < 0$$

Lösen wir diese Ungleichung nach R auf so erhalten wir die folgende Bedingung, für die der Optionswert konkav in R sein muss:

$$R < \frac{3\pi_H\pi_L}{V\pi_H + k\pi_L}$$

Da gilt:

$$R^* = \frac{2\pi_H\pi_L}{V\pi_H + k\pi_L} < \frac{3\pi_H\pi_L}{V\pi_H + k\pi_L}$$

liegt R^* auf einem Intervall, auf dem der Optionswert in R konkav ist. Bei R^* handelt es sich folglich um ein Maximum.

Der Optionswert steigt also für alle $R < R^*$ mit zunehmendem Zins. Für alle $R > R^*$ fällt der Optionswert hingegen, wenn der Zins steigt. Ein Standardresultat der Investitions- und Finanzierungstheorie hingegen besagt, dass der Wert einer Option mit dem Zinssatz grundsätzlich steigen muss. Um dem abnormen Verhalten der Realoption des Demonstrationsprojektes auf den Grund zu gehen, wollen wir sie nun mit einer Finanzoption vergleichen.

Nehmen wir an, auf einem Kapitalmarkt wird eine Aktie gehandelt, welche zum Zeitpunkt $t=1$ entweder einen hohen Kurs K_H oder einen niedrigen Kurs K_L annimmt. Auf diese Aktie wird außerdem eine Finanzoption gehandelt. Der Inhaber dieser Finanzoption hat das Recht, x Aktien zum Zeitpunkt $t=1$ zu einem Basispreis B zu kaufen. Es soll außerdem $K_L < B < K_H$ gelten.

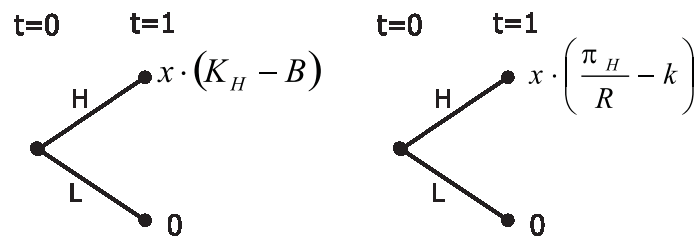


Abbildung 2.5: Vergleich zwischen einer Finanzoption und der Realoption des Demonstrationsprojektes

Abbildung 2.5 zeigt links den zustandsabhängigen Zahlungsstrom der Finanzoption und rechts daneben zum Vergleich den zustandsabhängigen Zahlungsstrom der Realoption des Demonstrationsprojektes. Man erkennt, dass der zustands-

abhängige Zahlungsstrom der Realoption, im Gegensatz zu dem der Finanzoption, kleiner wird, wenn der Zinsfaktor R steigt. Dies liegt daran, dass der Inhaber der Finanzoption sofort bei Eintritt des guten Zustands einen Zahlungsstrom realisiert. Der Inhaber der Realoption hingegen gewinnt bei Eintritt des guten Zustands einen zukünftigen Zahlungsstrom. Der Gegenwartswert dieses Zahlungsstroms sinkt mit zunehmendem Diskontfaktor. Überschreitet der Zinsfaktor R^* , ist die Wirkung der Diskontierung stärker als der werterhöhende Effekt auf die Realoption.

2.3 Consumer-Surplus als Wertbestandteil des Demonstrationsprojektes

Im Falle einer großen Innovation wird ein Investor bei einem gelungenen Demonstrationsprojekt nicht nur einen Monopolgewinn für sich realisieren, sondern er wird außerdem den bestehenden Preis auf dem Energiemarkt senken und somit die Wohlfahrt der Konsumenten erhöhen. Diese positive Externalität, die der Investor durch die Innovation auf die Konsumenten ausübt, wird in der Literatur als Consumer-Surplus-Effect bezeichnet.⁵ Wie wir sehen werden, kann dieser positive externe Effekt eine Subventionierung von Demonstrationsprojekten legitimieren.

Falls ein Demonstrationsprojekt eine kleine Innovation zur Folge hat, so wird kein Consumer-Surplus anfallen, da bei einer kleinen Innovation der Energiepreis nicht sinkt. In solch einem Fall übt der Investor keine positive Externalität auf die Konsumenten aus und somit ist auch eine Subventionierung der Demonstrationsprojekte zu mindest aufgrund des Consumer-Surplus-Effektes nicht legitimiert.

Dies stellt in der Realität ein Problem für den Subventionsgeber dar. Es ist schon für den Subventionsnehmer schwierig zu beurteilen, ob seine Technologie möglicherweise eine große Innovation sein wird. Für den Subventionsgeber hin-

⁵siehe Romer (1996)

gegen, der sehr viel weniger mit der Technologie vertraut ist, ist die Beurteilung der Technologie auf ihre Leistungsfähigkeit noch schwieriger.

2.3.1 Gegenwartswert des Consumer-Surplus

Die Fläche des schraffierten Dreiecks sowie die Fläche des doppelt schraffierten Rechtecks in Abbildung 2.6 stellen den Consumer-Surplus grafisch dar.

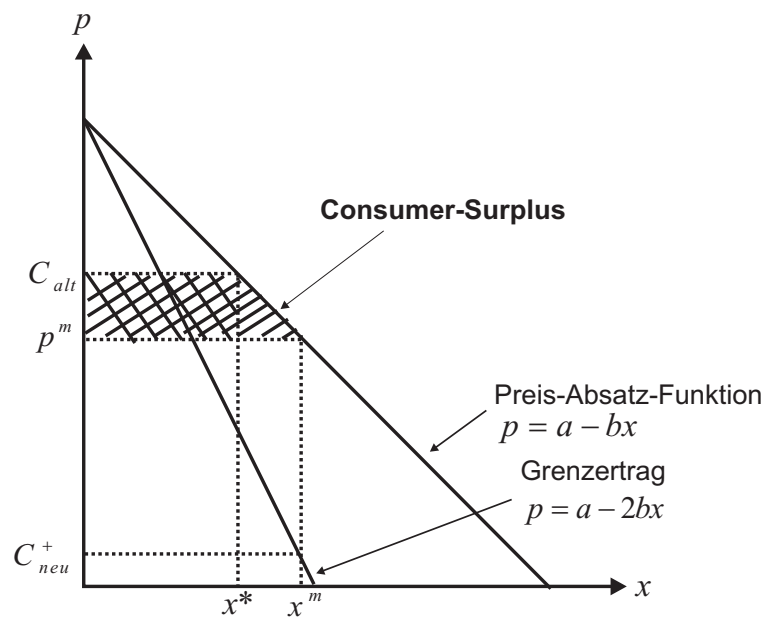


Abbildung 2.6: Grafische Darstellung des Consumer-Surplus

Der Consumer-Surplus ist also durch folgende Gleichung gegeben:

$$\begin{aligned}
 CS &= \frac{(C_{alt} - p^m)(x^m - x^*)}{2} + (C_{alt} - p^m)x^* \\
 &= \frac{(C_{alt} - p^m)(x^m + x^*)}{2}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Aus der Preis-Absatz-Funktion entnehmen wir:

$$p^m = a - bx^m \tag{2.13}$$

Außerdem wissen wir aufgrund der Grenzertragsfunktion, dass die Monopolmenge x^m durch folgende Gleichung gegeben ist:

$$x^m = \frac{a - C_{neu}^+}{2b}$$

Beachten wir die Definition $C_{neu}^+ := \mathbf{R} \cdot \mathbf{k} + c^+$, so erhalten wir die Monopolmenge aus folgender Gleichung:

$$x^m = \frac{a - R \cdot k - c^+}{2b} \quad (2.14)$$

Setzen wir Gleichung (2.14) in Gleichung (2.13) ein, so erhalten wir für den Monopolpreis den folgenden Wert:

$$p^m = \frac{a + R \cdot k + c^+}{2} \quad (2.15)$$

Schließlich wissen wir, dass aufgrund der Preis-Absatz-Funktion folgende Bedingung gelten muss:

$$x^* = \frac{a - C_{alt}}{b} \quad (2.16)$$

Setzen wir nun die Gleichungen (2.14), (2.15) und (2.16) in Gleichung (2.12) ein, so erhalten wir, nach einigen mathematischen Umformungen, für den Consumer-Surplus den folgenden Ausdruck:

$$CS = \frac{(2C_{alt} - a - Rk - c^+)(3a - 2C_{alt} - Rk - c^+)}{8b} \quad (2.17)$$

Gleichung (2.17) gibt den Wert des Consumer-Surplus zum Zeitpunkt $t = 2$, bei erfolgreichem Demonstrationsprojekt, also im Zustand H, an. Dieser Consumer-Surplus kann also ebenfalls als ein zustandsabhängiger Cashflow aufgefasst werden, der im Zustand H zum Zeitpunkt $t = 2$ anfällt. Den Gegenwartswert zum Zeitpunkt $t = 0$ dieses Consumer-Surplus wird ein privater Investor bei seiner Investitionsentscheidung nicht berücksichtigen. Für ihn ist lediglich der einzelwirtschaftliche Optionswert des Demonstrationsprojektes maßgebend. Dieser einzelwirtschaftliche Optionswert ist aufgrund des Consumer-Surplus geringer als der gesamtwirtschaftliche Optionswert des Demonstrationsprojektes, welcher wiederum für einen sozialen Planer maßgebend ist.

Diskontieren wir den Wert des Consumer-Surplus aus Gleichung (2.17) mit dem Zinsfaktor R , so erhalten wir den Wert des Consumer-Surplus zum Zeitpunkt $t = 1$ im Zustand H. Multiplizieren wir diesen Wert mit dem Wert V_H des Arrow-Wertpapiers in Gleichung (2.10), so erhalten wir den Wert des Consumer-Surplus zum Zeitpunkt $t = 0$, oder den Gegenwartswert des Consumer-Surplus. Beachten wir in Gleichung (2.10) außerdem die Definition $\pi_L := C_{alt} - c^-$, dann können wir den Gegenwartswert des Consumer-Surplus mit der folgenden Gleichung vollständig in exogenen Größen ausdrücken:

$$V_{CS} = \frac{(2C_{alt} - a - Rk - c^+) (3a - 2C_{alt} - Rk - c^+) \cdot (R \cdot V + c^- - C_{alt})}{8bR^2 (c^- - c^+)} \quad (2.18)$$

2.3.2 Einzelwirtschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Optionswert

Der gesamtwirtschaftliche Optionswert V_{opt}^{soz} des Demonstrationsprojektes ergibt sich aus der Summe des einzelwirtschaftlichen Optionswertes V_{opt} und des Gegenwartswertes des Consumer-Surplus V_{CS} . Vor der Bildung dieser Summe werden

wir nun V_{opt} aus Gleichung (2.11), genau wie V_{CS} in Gleichung (2.18) vollständig in exogenen Größen beschreiben. Dies vereinfacht anschließend die Darstellung von V_{opt}^{soz} . Außerdem wird dadurch der Vergleich zwischen einzelwirtschaftlichem und gesamtwirtschaftlichem Optionswert erleichtert.

Um V_{opt} in exogenen Größen zu beschreiben, substituieren wir die Monopolmenge x^m aus Gleichung (2.11) mit dem Ausdruck in Gleichung (2.14). Außerdem beachten wir die Definitionen $\pi_L := C_{alt} - c^-$ und $\pi_H := p^m - c^+$. Schließlich substituieren wir den Monopolpreis in der Definition von π_H mit dem Ausdruck aus Gleichung (2.13). Dadurch erhalten wir nach einigen algebraischen Umformungen für den einzelwirtschaftlichen Optionswert den folgenden Ausdruck:

$$V_{opt} = \frac{(a - Rk - c^+)^2 \cdot (R \cdot V + c^- - C_{alt})}{4bR^2 (c^- - c^+)} \quad (2.19)$$

Den gesamtwirtschaftlichen Optionswert ermitteln wir nun aus der Summe der Gleichungen (2.18) und (2.19):

$$V_{opt}^{soz} = \frac{\left(2 \cdot (a - Rk - c^+)^2 + (2C_{alt} - a - Rk - c^+) (3a - 2C_{alt} - Rk - c^+)\right) \cdot (R \cdot V + c^- - C_{alt})}{8bR^2 (c^- - c^+)} \quad (2.20)$$

Im folgenden Abschnitt werden wir in einem numerischen Beispiel zeigen, dass die Optionsprämie für plausible Werte der exogenen Variablen zwischen dem einzelwirtschaftlichen und dem gesamtwirtschaftlichen Optionswert liegen kann. Ein Investor wird also das Demonstrationsprojekt nicht durchführen, obwohl dies aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive wünschenswert wäre. Aus diesem Grund ist in solch einem Fall eine Subvention, die zur Durchführung des Demonstrationsprojektes führt, wohlfahrtserhöhend.

2.3.3 Die optimale Subvention in einem numerischen Beispiel

Die numerischen Werte der exogenen Variablen werden nun so gewählt, dass sie Bedingungen erfüllen, die mit unserem Modell konsistent sind. Anschließend werden wir unter dieser Auswahl die numerischen Werte des einzelwirtschaftlichen Optionswerts aus Gleichung (2.19) und des gesamtwirtschaftlichen Optionswerts aus Gleichung (2.20) miteinander vergleichen.

Eine dieser Bedingungen betrifft die Monopolmenge. Die numerischen Werte sollen so gewählt werden, dass die Monopolmenge aus Gleichung (2.14) strikt positiv ist. Die exogenen Größen sollen also die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{a - R \cdot k - c^+}{2b} > 0 \quad (2.21)$$

Ist diese Bedingung erfüllt, so ist auch der erste Faktor des Zählers aus Gleichung (2.11) - der Term $\pi_H - Rk$ - größer als Null. In Abschnitt 2.2.2 wurde bereits erläutert, dass diese Bedingung immer erfüllt sein muss, falls ein Testen der Technologie durch ein Demonstrationsprojekt einen Sinn ergeben soll. Schreiben wir im besagten Term für π_H die Definition $p^m - c^+$ und setzen wir für p^m den Ausdruck aus Gleichung (2.15) ein, so erhalten wir:

$$\pi_H - Rk = \frac{a - Rk - c^+}{2}$$

Da b positiv definiert ist, muss auch der Term $\pi_H - Rk$ unter Erfüllung von Bedingung (2.21) positiv sein.

Die zweite Bedingung, die erfüllt sein soll, betrifft den zweiten Faktor aus Gleichung (2.11) - den Term $RV - \pi_L$. Auch hier wurde in Abschnitt 2.2.2 ausführlich erläutert, warum es ökonomisch unsinnig wäre, wenn dieser Term einen negativen

Wert annehmen würde, wenn also der Forwardvalue einer technologischen Einheit geringer wäre als ihr Cashflow unter denkbar ungünstigsten Umständen. Wir werden also die exogenen Größen so wählen, dass auch die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$RV - \pi_L > 0 \quad (2.22)$$

Die letzte Bedingung, die die exogenen Größen erfüllen sollen, betrifft den Monopolpreis. Der Monopolpreis darf nicht höher sein als die Stückkosten C_{alt} der Mitbewerber. Auch folgende Bedingung muss also unter plausiblen Werten der exogenen Variablen erfüllt sein:

$$C_{alt} - \frac{a + Rk + c^+}{2} > 0 \quad (2.23)$$

Die Werte der nachstehenden exogenen Variablen werden nun von uns wie folgt festgelegt:

$$a = 100; C_{alt} = 95; c^+ = 10; c^- = 90; V = 6; R = 1, 1; b = 1$$

Gegeben diese Werte, zeigt Abbildung 2.7 die numerischen Werte der Optionsprämie P , des einzelwirtschaftlichen Optionswertes V_{opt} sowie des gesamtwirtschaftlichen Optionswertes V_{opt}^{soz} , in Abhängigkeit der exogenen Größe Investitionskapital pro technologischer Einheit k .

Interessant ist nun für uns das Intervall von k , bei dem die Optionsprämie zwischen dem einzelwirtschaftlichen und dem gesamtwirtschaftlichen Optionswert liegt. Für diese Werte von k wird ein Investor das Demonstrationsprojekt nicht durchführen, obwohl es aus gesamtwirtschaftlicher Sicht durchaus sinnvoll wäre. Der Abbildung 2.7 entnehmen wir, dass dieses Problem immer dann auftritt, wenn k zwischen 23,19 und 33,15 liegt.

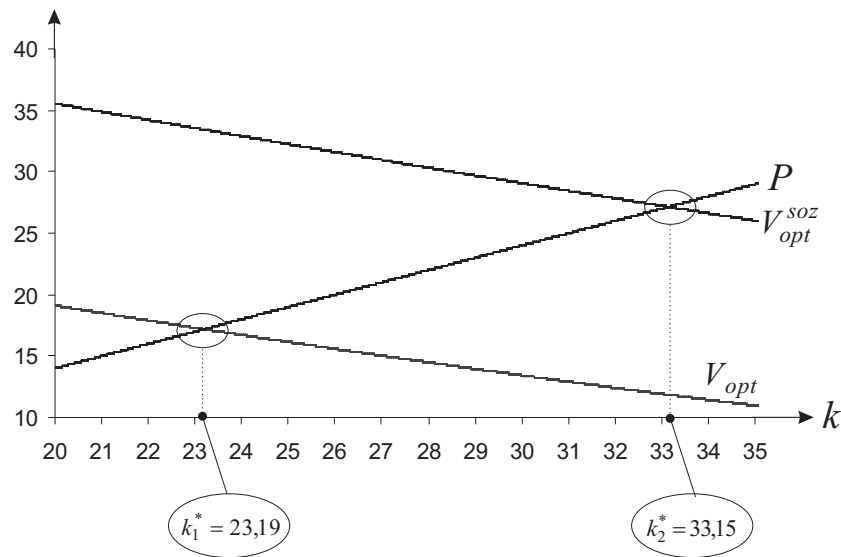


Abbildung 2.7: Einzelwirtschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Optionswert in einem numerischen Beispiel

Betrachten wir nun, ob für die von uns gewählten Werte der exogenen Variablen die Bedingungen (2.21), (2.22) und (2.23) erfüllt sind. Die Monopolmenge x^m nimmt am oberen kritischen Wert des Investitionskapitals - also für $k = 33,15$ - den Wert $x^m = 21,77$ an. Außerdem wissen wir, dass die Monopolmenge strikt in k fällt. Daraus folgt, dass für das gesamte Intervall $23,19 < k < 33,15$ die Monopolmenge positiv und somit Bedingung (2.21) erfüllt sein muss.

Die linke Seite der Bedingung (2.22) nimmt unabhängig vom Wert des Investitionskapitals unter den von uns gewählten exogenen Größen den Wert $1,60$ an. Damit ist auch die Bedingung (2.22) erfüllt.

Die linke Seite der Bedingung (2.23) nimmt am oberen kritischen Wert des Investitionskapitals den Wert $21,77$ an. Außerdem sehen wir, dass die linke Seite in k fällt und deswegen auch für alle $k < 33,15$ positiv sein muss. Daraus folgt, dass auch die Bedingung (2.23) im kritischen Intervall von k erfüllt sein muss.

Wir sehen also, dass es unter ökonomisch plausiblen Werten der exogenen Variablen durchaus vorkommen kann, dass die Optionsprämie zwischen dem ein-

zelwirtschaftlichen und dem gesamtwirtschaftlichen Optionswert liegt. In diesem Fall ist nun ein staatlicher Eingriff gerechtfertigt, um zu gewährleisten, dass eine gesamtwirtschaftlich sinnvolle Investition durchgeführt wird, die aus rein einzelwirtschaftlichem Kalkül nicht durchgeführt worden wäre.

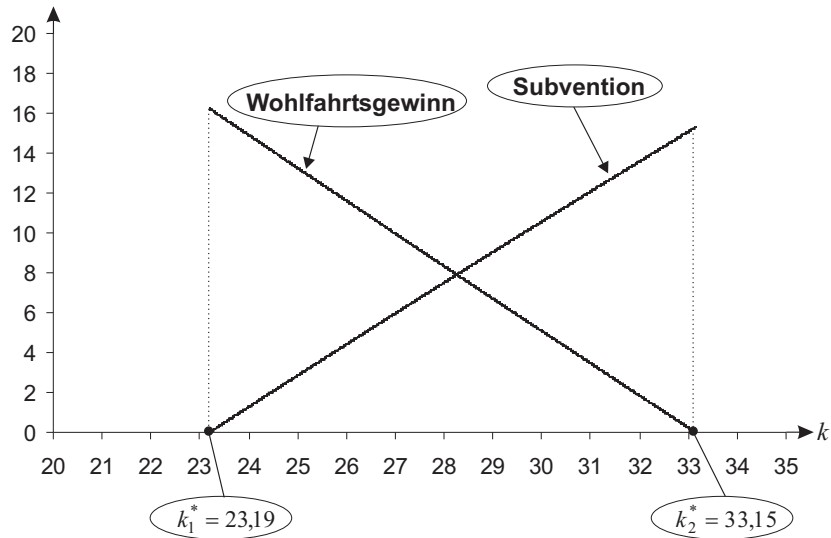


Abbildung 2.8: Subvention und Wohlfahrt

Wenn eine Subvention in Form eines Investitionskostenzuschusses, die marginal größer ist als die Differenz aus Optionsprämie und einzelwirtschaftlichem Optionswert, dem potentiellen Investor angeboten wird, so ist der Anreiz für ihn ausreichend, um das Demonstrationsprojekt durchzuführen. Diese Mindestsubvention wird in Abbildung 2.8 wiederum in Abhängigkeit des Investitionskapitals dargestellt.

Der Wohlfahrtsgewinn, der durch diese Subvention generiert wird, ist ebenfalls in Abbildung 2.8 dargestellt. Wir treffen hierbei die zugegebenermaßen etwas unrealistische Annahme, dass Subventionsgelder nicht knapp sind und dass der Staat sie deshalb in beliebigem Umfang vergeben kann. Dies ist eine Annahme, die bereits von Aghion und Howitt (1998) in einem Modell zur Bestimmung einer optimalen F&E Subvention getroffen wurde. Treffen wir diese Annahme,

so impliziert dies, dass die Subventionsvergabe keinen direkten Einfluss auf die Wohlfahrt hat. Wären Subventionsgelder nämlich knapp, so würden bei Subventionsvergabe Opportunitätskosten anfallen. Da man Subventionsgelder nicht nur für die Subventionierung von Demonstrationprojekten einer Technologie zur Erzeugung von regenerativer Energie verwenden kann, muss bei einer Subvention solcher Technologien auf die Subvention anderer Projekte, die ebenfalls die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt erhöhen, verzichtet werden. Diese verpasste Wohlfahrtserhöhung, die bei knappen Subventionsmitteln durch die Subvention von Demonstrationsprojekten entsteht, hat einen wohlfahrtsmindernden Effekt. Bei der Subventionierung des Demonstrationsprojektes müsste dieser Effekt bei der Ermittlung des Gesamteffektes auf die Wohlfahrt mit berücksichtigt werden. Vernachlässigen wir jedoch die Knappheit der Subventionsmittel, so ergibt sich der Wohlfahrtsgewinn rechnerisch aus der Differenz zwischen gesamtwirtschaftlichem Optionswert und der Optionsprämie.

Kapitel 3

Informationsspillover

In diesem Kapitel untersuchen wir die Auswirkungen von Informationsspillovern auf das Investorenverhalten. Ein Informationsspillover liegt dann vor, wenn das Ergebnis des Demonstrationsprojektes nicht nur vom Investor, sondern auch von einigen seiner Konkurrenten, die über eine gleiche oder zumindest ähnliche Technologie verfügen, verwertet werden kann. Die im Demonstrationsprojekt offenbarte Leistungsfähigkeit der Technologie des Investors, lässt in diesem Fall auch Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Technologien seiner Konkurrenten zu.

Solch ein Informationsspillover hat also einen positiven externen Effekt. Der Investor, der in das Demonstrationsprojekt investiert, kann seine Konkurrenten nicht von der Information, die er durch das Demonstrationsprojekt gewinnt, ausschließen. Die Information ist somit ein öffentliches Gut, das die Konkurrenten nutzen können, ohne dafür bezahlen zu müssen. Sie verhalten sich hier als Trittbrettfahrer.

Die Diskussion um positive externe Effekte durch sogenannte Spillover von immateriellen Gütern oder besser gesagt immateriellen Produktionsfaktoren wie z.B. Wissen oder Humankapital hat in den Wirtschaftswissenschaften und speziell in der neuen endogenen Wachstumstheorie eine lange Tradition. So behauptet bereits Arrow (1962), dass ein Unternehmer allein durch die Tätigkeit von In-

vestitionen und die anschließende Produktion in einem Learnig-by-doing-Prozess Wissen ansammelt, von dem er seine Konkurrenten nicht ausschließen kann. Lucas (1988) beschäftigt sich mit positiven externen Effekten, die durch Spillover von Humankapital entstehen. In Romer (1986) werden die wohltuenden Auswirkungen von Wissensspillovern auf das Wirtschaftswachstum untersucht. Auch hier werden derartige Spillover als positive externe Effekte aufgefasst. In Romer (1990) werden dann die Ursachen dieser Spillover genauer beschrieben. Die industrielle Forschung fördert sehr oft Ergebnisse zu Tage, die aufgrund ihrer vielfältigen Anwendbarkeit sehr schwer zu patentieren sind. Es ist ebenfalls sehr schwierig, der Öffentlichkeit den Zugang zu solchen Ergebnissen zu verwehren. Grossman und Helpman (1991) sowie Aghion und Howitt (1992) sprechen noch einen weiteren positiven externen Effekt an, der durch Wissensspillover entsteht. Wenn verschiedene Unternehmer nacheinander ähnliche innovative Produkte auf den Markt bringen, so wird eine spätere Innovation auf vorhergehende Innovationen zurückgreifen können. So muss beispielsweise ein Unternehmer, der mit einem innovativen Modell in die Automobilproduktion einsteigen möchte, nicht zuerst mit der Entwicklung einer Pferdekutsche beginnen, sondern kann bereits vorhandene Modelle weiterentwickeln. Bei Informationen handelt es sich um eine spezielle Form von Wissen. Das von uns hier beschriebene Problem der Informationsspillover ist also in der Wirtschaftswissenschaft bereits hinreichend bekannt.

Um dieses Problem zu modellieren gehen wir von zwei potentiellen Investoren aus, die über eine identische Technologie verfügen. Falls einer der Produzenten in das Demonstrationsprojekt investiert, findet er die Leistungsfähigkeit der Technologie heraus. Er ist dann allerdings nicht in der Lage, den anderen Investor von dieser Information auszuschließen. Wir werden sehen, dass das im Gleichgewicht dazu führen kann, dass die Investition in ein Demonstrationsprojekt verschoben oder im schlimmsten Fall überhaupt nicht durchgeführt wird.

Wir beginnen die Untersuchung des Investorenverhaltens mit einer Analyse der Wettbewerbssituation nach einem erfolgreichen Demonstrationsprojekt. Wir

untersuchen dabei, wie der Innovationsgewinn zwischen dem Investor und seinem Konkurrenten aufgeteilt wird. Aus diesem Innovationsgewinn schließen wir dann in einem zweiten Schritt auf die Anreize der potentiellen Investoren, eine Investition in solch ein Demonstrationsprojekt auch tatsächlich zu tätigen.

3.1 Analyse der Wettbewerbssituation

Wir unterstellen ein Szenario, in dem die Investition in das Demonstrationsprojekt durchgeführt wurde und die Leistungsfähigkeit der Technologie sich als gut herausgestellt hat. In der Sprache des Kapitels 2 bedeutet dies, dass sich nach der Investition der Zustand H eingestellt hat.

Die Kosten der konventionellen Energieerzeugung bezeichnen wir wieder mit C_{alt} . Die Energienachfrage wird wieder durch die Funktion $p = a - bx$ beschrieben. Ein Unterschied zum Setting des Kapitels 2 besteht darin, dass nun zwei Produzenten in der Lage sind, erneuerbare Energie zu Kosten in Höhe von C_{neu}^+ zu produzieren. Diese zwei Produzenten stehen, nachdem einer dieser Produzenten in das Demonstrationsprojekt investiert hat, in einem Duopolwettbewerb. Wir modellieren den Wettbewerb als Cournot-Duopol. Wir bezeichnen die angebotenen Energiemengen der beiden Produzenten jeweils mit x_1 und x_2 . Der Preis, der sich am Energiemarkt einstellt, wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$p = \min[a - b(x_1 + x_2); C_{alt}] \quad (3.1)$$

Sind die angebotenen Energiemengen der Produzenten so groß, dass sie ausreichen, um den Preis unter C_{alt} zu drücken, dann werden die Anbieter konventioneller Energie vom Markt verdrängt. Sollte das Energieangebot der Grünstromproduzenten jedoch so gering sein, dass der Preis der Energie durch deren alleiniges Angebot über C_{alt} liegen würde, dann werden so lange konventionelle Anbieter auf den Markt drängen oder vielmehr auf dem Markt präsent bleiben, bis der

Energiepreis auf C_{alt} gesenkt wird. Aus diesem Grund beschreiben wir den Energiepreis durch die obige Minimumfunktion.

Der Gewinn der beiden Anbieter von regenerativer Energie ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\Pi_i = x_i \cdot (p - C_{neu}^+) \wedge i \in \{1, 2\} \quad (3.2)$$

Setzen wir Gleichung (3.1) in Gleichung (3.2) ein, so können wir den Duopolgewinn eines Produzenten i , gegeben seine Ausbringungsmenge x_i und gegeben die Ausbringungsmenge x_{-i} des jeweils anderen Produzenten $-i$, durch die folgende Gleichung ausdrücken:

$$\Pi_i = x_i \cdot (a - b(x_i + x_{-i}) - C_{neu}^+) \wedge a - b(x_i + x_{-i}) \leq C_{alt} \quad (3.3)$$

$$\forall \Pi_i = x_i \cdot (C_{alt} - C_{neu}^+) \wedge a - b(x_i + x_{-i}) \geq C_{alt} \quad (3.4)$$

Aus der Gleichung (3.3) erhalten wir ein Gewinnmaximum eines Produzenten i aus der Bedingung erster Ordnung. Lösen wir die Nebenbedingung $a - b(x_i + x_{-i}) \leq C_{alt}$ nach x_{-i} auf, dann erhalten wir die folgende Bedingung, die hinreichend ist, um den Gewinn in x_i zu maximieren:

$$\frac{\partial \Pi_i}{\partial x_i} = a - 2bx_i - bx_{-i} - C_{neu}^+ = 0 \wedge x_{-i} \geq x_{-i}^{krit} = \frac{a - C_{alt}}{b} - x_i$$

Aus der Bedingung erster Ordnung berechnen wir nun das gewinnmaximierende x_i eines Produzenten i . Den Term, den wir hierbei für x_i erhalten, setzen wir in die Nebenbedingung ein. Nach diesen mathematischen Operationen erhalten wir die folgende Gleichung:

$$x_i = \frac{a - C_{neu}^+}{2b} - \frac{x_{-i}}{2} \wedge x_{-i} \geq x_{-i}^{krit} = \frac{a + C_{neu}^+ - 2C_{alt}}{b} \quad (3.5)$$

Gleichung (3.5) ist die beste Reaktion eines Produzenten i auf eine vorgegebene Ausbringungsmenge x_{-i} des Konkurrenten $-i$. Diese Gleichung ist die herkömmliche Reaktionsfunktion, wie man sie aus der Cournot-Nash-Analyse kennt¹, mit dem einzigen Unterschied, dass diese Reaktionsfunktion auf die Ausbringungsmengen x_{-i} des Gegenspielers beschränkt werden, die den kritischen Wert in der Nebenbedingung übersteigen.

Die Reaktionsfunktion für Ausbringungsmengen des Gegenspielers, die unter dem kritischen Wert der Nebenbedingung liegen, ermitteln wir aus der Gleichung (3.4). Aus dieser Gleichung entnehmen wir, dass der Gewinn eines Produzenten i mit seiner Ausbringungsmenge x_i ansteigt. Möchte er seinen Gewinn maximieren, so wird er also eine möglichst große Ausbringungsmenge wählen, die jedoch die Nebenbedingung $a - b(x_i + x_{-i}) \geq C_{alt}$ nicht verletzen darf. Der größte Wert von x_i , der diese Nebenbedingung nicht verletzt, ist der, bei dem die Nebenbedingung gerade mit Gleichheit erfüllt ist. Die Reaktionsfunktion für alle Ausbringungsmengen des Gegenspielers x_{-i} , für die gilt, $x_{-i} \leq x_{-i}^{krit}$ leiten wir also aus der Bedingung $a - b(x_i + x_{-i}) = C_{alt}$ ab. Auf diese Weise erhalten wir die folgende Gleichung, mit der wir die Reaktionsfunktion eines Produzenten i vervollständigen:

$$x_i = \frac{a - C_{alt}}{b} - x_{-i} \wedge x_{-i} \leq x_{-i}^{krit} = \frac{a + C_{neu}^+ - 2C_{alt}}{b} \quad (3.6)$$

Diese Reaktionsfunktion ist für beide Produzenten $i \in \{1, 2\}$ identisch, weil die Technologien und damit die Produktionskosten der beiden Produzenten identisch sind. Abbildung 3.1 zeigt eine grafische Darstellung der Reaktionsfunktion

¹Eine Herleitung des Cournot-Nash-Gleichgewichts mit konkreten Preis-Absatz-Funktionen findet man in Shy (1995)

eines Produzenten $i \in \{1, 2\}$. Bis zur kritischen Ausbringungsmenge x_{-i}^{krit} ist es der gleichmäßig gestrichelte Graph, der die beste Reaktion des Produzenten i repräsentiert. Ab der kritischen Ausbringungsmenge x_{-i}^{krit} ist es der aus Strichen und Punkten bestehende Graph der für die beste Reaktion des Produzenten i steht. Die kritische Ausbringungsmenge x_{-i}^{krit} befindet sich genau am Schnittpunkt die-

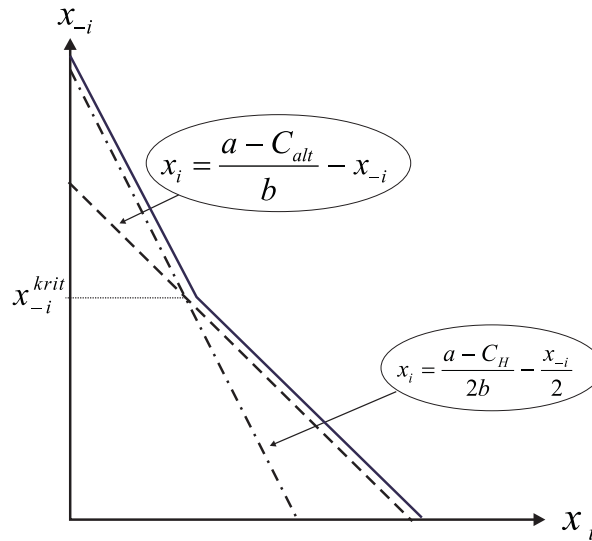


Abbildung 3.1: Reaktionsfunktion des Produzenten i

ser beiden Graphen. Der aus der durchgezogenen Linie bestehende Graph zeigt die aus den beiden Teilreaktionsfunktionen resultierende Reaktionsfunktion des Produzenten i .

Die beste Reaktion der beiden Produzenten $i \in \{1, 2\}$ unterhalb der kritischen Ausbringungsmenge x_{-i}^{krit} des Gegenspielers, werden durch denselben Graphen beschrieben. Dies ergibt sich aus der Symmetrie dieser Teilreaktionsfunktionen um die Winkelhalbierende des ersten Quadranten des Koordinatensystems.

Für die Bestimmung der Nash-Gleichgewichte müssen wir die Schnittpunkte des Graphen, der die Reaktionsfunktion der Produzenten unterhalb der kritischen Ausbringungsmengen x_{-i}^{krit} beschreibt, mit den Graphen der herkömmlichen Reaktionsfunktionen der beiden Produzenten $i \in \{1, 2\}$ des klassischen Cournot-

Duopols untersuchen, da an diesen Schnittpunkten die Reaktionsfunktionen der beiden Produzenten abknicken. Es ist dabei entscheidend, ob diese Schnittpunkte in größerer oder kleinerer Entfernung zum Ursprung liegen, als der Schnittpunkt der herkömmlichen Reaktionsfunktionen, der das Nash-Gleichgewicht des klassischen Cournot-Duopols repräsentiert.

In Abbildung 3.2 werden diese zwei unterschiedlichen Positionen der Schnittpunkte, die für die Lage der Nash-Gleichgewichte von entscheidender Bedeutung sind, veranschaulicht. Die Notation $x_1^*(x_2)$ steht hierbei für die beste Reaktion des Produzenten 1 auf eine vorgegebene Menge des Produzenten 2. Die Notation $x_2^*(x_1)$ ist entsprechend die beste Reaktion des Produzenten 2 auf eine Vorgabe des Produzenten 1.

Betrachten wir das linke Schaubild der Abbildung 3.2. Die Schnittpunkte der herkömmlichen Reaktionsfunktionen und den Reaktionsfunktionen unterhalb der kritischen Ausbringungsmengen liegen hier weiter vom Ursprung entfernt als das klassische Cournot-Nash-Gleichgewicht.

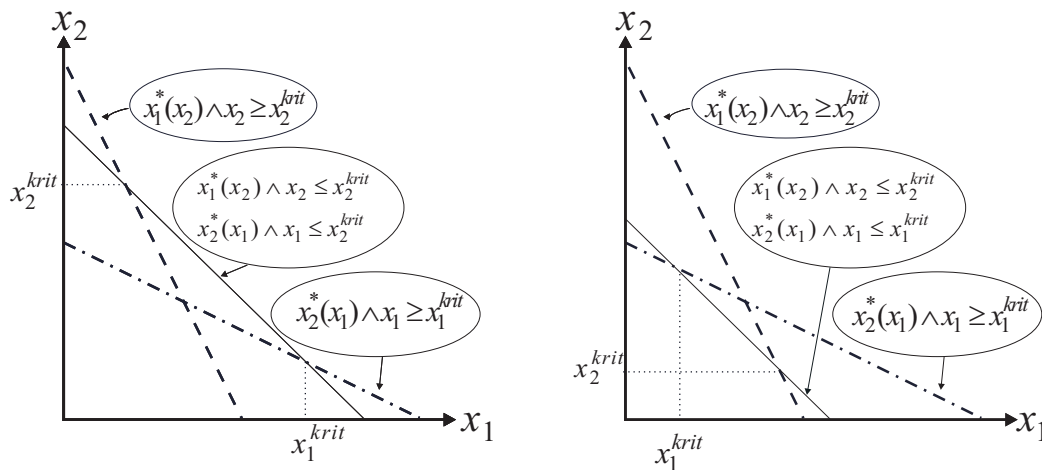


Abbildung 3.2: Kleine und große Innovation im Cournot-Duopol

Abbildung 3.3 beschreibt für diese Lage der Teilreaktionsfunktionen den Verlauf der resultierenden Reaktionsfunktionen von beiden Produzenten. Wir wissen,

dass alle Punkte, die sich sowohl auf der Reaktionsfunktion des Produzenten 1 als auch auf der Reaktionsfunktion des Produzenten 2 befinden, Nash-Gleichgewichte sind. In Abbildung 3.3 sind das alle Punkte auf den Reaktionsfunktionen zwischen den kritischen Mengen. Es existiert also in diesem Fall kein eindeutiges Nash-Gleichgewicht, sondern es existieren unendlich viele.

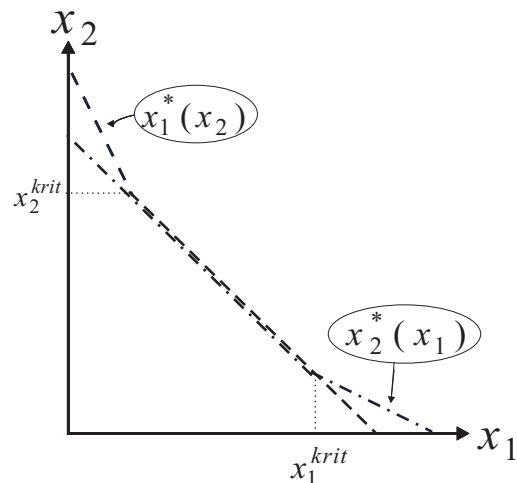


Abbildung 3.3: Kleine Innovation im Cournot-Duopol

Da beide Produzenten in diesem Fall die Nebenbedingung in Gleichung (3.4) mit Gleichheit erfüllen, wird der Preis im Nash-Gleichgewicht auf C_{alt} verharren und es entsteht damit aus der Innovation kein Consumer-Surplus. Wir nennen aus diesem Grund diesen Fall in Anlehnung an die Terminologie von Tirole (1995) eine kleine Innovation im Cournot-Duopol.

Betrachten wir nun das rechte Schaubild der Abbildung 3.2. Hier liegen die Schnittpunkte, welche die beiden herkömmlichen Reaktionsfunktionen mit den Reaktionsfunktionen unterhalb der kritischen Ausbringungsmengen bilden, näher zum Ursprung als das klassische Cournot-Nash-Gleichgewicht. Abbildung 3.4 zeigt für diesen Fall die aus den Teilreaktionsfunktionen resultierenden Reaktionsfunktionen der beiden Produzenten. In diesem Fall existiert ein eindeutiges Nash-Gleichgewicht. Es ist geometrisch durch den Schnittpunkt der herkömmli-

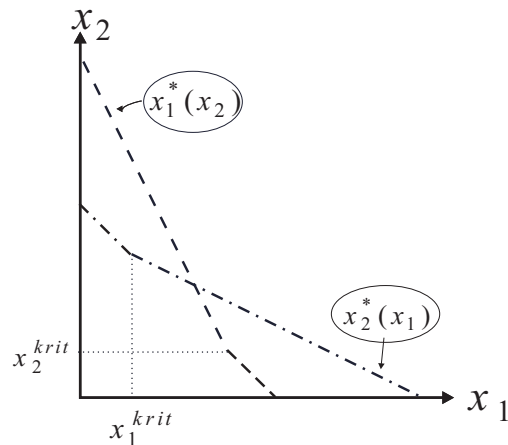


Abbildung 3.4: Große Innovation im Cournot-Duopol

chen Reaktionsfunktionen des Cournot-Duopols beschrieben. Es handelt sich also in diesem Fall um das klassische Cournot-Nash-Gleichgewicht.

Die herkömmlichen Reaktionsfunktionen des Cournot-Duopols erfüllen die Nebenbedingung $a - b(x_i + x_{-i}) \leq C_{alt}$ aus Gleichung 3.3 mit Ausnahme an den Knickpunkten der kritischen Ausbringungsmengen immer mit einer strikten kleiner Bedingung. Im Fall des klassischen Cournot-Nash-Gleichgewichts muss also diese Nebenbedingung auch mit einer strikten kleiner Bedingung erfüllt sein. Dies bedeutet, dass in diesem Nash-Gleichgewicht der Preis unter den bis dato vorherrschenden Preis C_{alt} sinken wird und ein Consumer-Surplus entsteht. Aus diesem Grund nennen wir diesen Fall wiederum in Anlehnung an Tirole (1995) eine große Innovation.

Wir wollen nun noch untersuchen, wie weit die Produktionskosten sinken müssen, um von einer großen Innovation sprechen zu können. Aus Abbildung (3.2) können wir ersehen, dass bei einer großen Innovation die kritische Ausbringungsmenge eines Produzenten kleiner sein muss als dessen Ausbringungsmenge im klassischen Cournot-Nash-Gleichgewicht. Die Ausbringungsmengen der Produzenten im Cournot-Nash-Gleichgewicht erhalten wir aus der Berechnung des

Schnittpunktes der herkömmlichen Reaktionsfunktionen. Aufgrund der Symmetrie beider Produzenten sind die Ausbringungsmengen in diesem Gleichgewicht identisch. Sie sind durch folgenden Term gegeben:

$$x_{Cournot}^* = \frac{a - C_{neu}^+}{3b} \quad (3.7)$$

Die kritische Ausbringungsmenge eines Produzenten $-i$ können wir aus der Nebenbedingung der Gleichung (3.5) entnehmen. Setzen wir den Wert der kritischen Ausbringungsmenge sowie den Wert der Cournotmenge aus der Gleichung (3.7) in die Bedingung

$$x_{-i}^{krit} < x_{Cournot}^*$$

ein, so erhalten wir nach einfachen algebraischen Umformungen die folgende Bedingung an die Produktionskosten C_{neu}^+ , die für eine große Innovation hinreichend ist:

$$C_{neu}^+ < C_{neu}^* = \frac{3C_{alt} - a}{2} \quad (3.8)$$

Die Kostensenkung, die für eine große Innovation mindestens notwendig ist, ergibt sich aus:

$$\Delta_{Kosten} = C_{alt} - C_{neu}^* \quad (3.9)$$

Setzen wir für C_{neu}^* den Wert aus Gleichung (3.8) ein, so erhalten wir für diese Kostensenkung den folgenden Wert:

$$\Delta_{Kosten} = \frac{a - C_{alt}}{2} \quad (3.10)$$

Vergleichen wir diesen Wert mit der Kostensenkung aus Gleichung (2.5). Dies war die Kostensenkung, ab der man bei einer monopolistischen Marktstruktur von einer großen Innovation sprechen kann. Wir sehen, dass im Duopol nur die Hälfte der Kostensenkung des Monopols notwendig ist, damit eine große Innovation vorliegt. Erinnern wir uns, dass eine große Innovation im Gegensatz zur kleinen Innovation immer zu einer Preissenkung führt. Unserem Ergebnis zufolge reicht also im Duopol ein kleinerer Innovationssprung als im Monopol aus, um diesen Innovationssprung an die Konsumenten in Form von Preissenkungen weiterzugeben. Unter einem gegebenen Innovationssprung wird also die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Innovationssprung zu einem Consumer-Surplus führt, um so größer sein, je ausgeprägter der Wettbewerb auf dem betrachteten Markt ist.

3.2 Aufteilung von Innovationsgewinn und Optionswert

Im folgenden Abschnitt wird ein grundlegender Unterschied zwischen Realloptionen und Finanzoptionen deutlich. Finanzoptionen sind immer sogenannte exklusive Optionen. Nur der Inhaber einer solchen Option hat das Recht, die Option auszuüben. Auch Realloptionen können exklusive Optionen sein. Existiert nur ein Unternehmer, der die Informationen des Demonstrationsprojektes verwenden kann, so ist die Realloption, die das Demonstrationsprojekt beinhaltet, ebenfalls eine exklusive Option. Liegt jedoch wie in dem hier untersuchten Fall ein Informationsspillover vor, so ist die Realloption des Demonstrationsprojektes eine sogenannte offene Option. Eine solche Option kann grundsätzlich von mehr als

nur einer Person oder einem Unternehmen ausgeübt werden².

3.2.1 Aufteilung bei kleiner Innovation

Im Falle der kleinen Innovation hängt das Verhältnis, in dem der Innovationsgewinn unter den beiden Produzenten aufgeteilt wird, davon ab, welches von den in Abbildung 3.3 dargestellten Nash-Gleichgewichten sich letztlich einstellen wird. Dabei ist das Nash-Gleichgewicht, das sich genau am Knickpunkt der Reaktionsfunktion des Produzenten 1 befindet, für diesen Produzenten das ungünstigste und für den Produzenten 2 das günstigste Nash-Gleichgewicht, denn hier ist die abgesetzte Menge des Produzenten 1 am geringsten und die des Produzenten 2 am größten. Der Produzent 2 bietet an diesem Punkt die kritische Ausbringungsmenge x_2^{krit} an. Die Menge, die der Produzent 1 in diesem Nash-Gleichgewicht anbietet, erhalten wir, wenn wir in einer der Reaktionsfunktionen eines Produzenten i , die durch die Gleichungen (3.5) und (3.6) beschrieben werden, $i = 1$, $-i = 2$ und $x_2 = x_2^{krit}$ setzen und x_{-i}^{krit} durch den Wert in der Nebenbedingung aus Gleichung (3.5) substituieren. Auf diese Weise erhalten wir die folgende beste Reaktion des Produzenten 1 auf die Vorgabe $x_2^{krit} = x_{-i}^{krit}$ des Produzenten 2:

$$x_1(x_2^{krit}) = \frac{C_{alt} - C_{neu}^+}{b} \quad (3.11)$$

Für den Gewinn des Produzenten 1 erhalten wir durch die Anwendung der Gleichung (3.2) und unter Berücksichtigung von $p = C_{alt}$ den folgenden Wert:

$$\Pi_1 = \frac{(C_{alt} - C_{neu}^+)^2}{b} \quad (3.12)$$

Auf gleiche Weise erhalten wir auch den Gewinn des Produzenten $-i$:

²zur genauen Unterscheidung zwischen exklusiven und offenen Optionen siehe Meise (1998)

$$\Pi_2 = \frac{(a + C_{neu}^+ - 2C_{alt})(C_{alt} - C_{neu}^+)}{b} \quad (3.13)$$

Wandern wir gedanklich von diesem Knickpunkt an den beiden übereinander liegenden Reaktionsfunktionen der beiden Produzenten aus Abbildung 3.3 in Richtung des Knickpunktes der Reaktionsfunktion des Produzenten 2, so nimmt die Ausbringungsmenge x_1 und mit ihr der Gewinn des Produzenten 1 stetig zu und die Ausbringungsmenge x_2 und mit ihr der Gewinn des Produzenten 2 stetig ab. Im Knickpunkt der Reaktionsfunktion des Produzenten 2, ist die Gewinnsituation schließlich gerade umgekehrt wie in den Gleichungen (3.12) und (3.13). Gleichung (3.13) repräsentiert also den maximalen Gewinn, den ein Produzent unter dem Duopolwettbewerb bei einer kleinen Innovation erzielen kann, während Gleichung (3.12) den geringsten erzielbaren Gewinn eines Produzenten repräsentiert.

Die Ausbringungsmenge eines Produzenten i ist in jedem Nash-Gleichgewicht durch die Gleichung (3.6) gegeben. Mit Hilfe der Gleichung (3.2) erhalten wir dann für jedes beliebige Nash-Gleichgewicht einer kleinen Innovation den folgenden Ausdruck für den Gewinn des Produzenten i bei gegebener Ausbringungsmenge des Produzenten $-i$:

$$\Pi_i(x_{-i}) = \left(\frac{a - C_{alt}}{b} - x_{-i} \right) (C_{alt} - C_{neu}^+) \quad (3.14)$$

Aus Gleichung (3.2) erhalten wir auch den Gewinn des jeweils anderen Produzenten $-i$, in Abhängigkeit seiner Ausbringungsmenge:

$$\Pi_{-i}(x_{-i}) = x_{-i}(C_{alt} - C_{neu}^+) \quad (3.15)$$

Addieren wir die Gleichungen (3.14) und (3.15), dann erhalten wir den gesamten Gewinn Π , der unter den Produzenten verteilt werden kann:

$$\Pi = \frac{(a - C_{alt})(C_{alt} - C_{neu}^+)}{b} \quad (3.16)$$

Wir sehen, dass der gesamtwirtschaftliche Gewinn, unabhängig vom Nash-Gleichgewicht, das sich einstellen wird, immer konstant bleibt.

Eine weitere interessante Beobachtung ist, dass dieser Gewinn genau dem Gewinn entspricht, den der Monopolist aus Kapitel 2 bei einer kleinen Innovation realisiert. Dieser Monopolgewinn besteht aus dem Produkt der abgesetzten Menge x^* und der Gewinnmarge pro abgesetzter Mengeneinheit $C_{alt} - C_{neu}^+$. Die Menge x^* können wir aus Gleichung (2.16) entnehmen. Es ist nun einfach zu ersehen, dass der Monopolgewinn und der gesamtwirtschaftliche Gewinn aus Gleichung (3.16) tatsächlich identisch sind.

Diskontieren die Produzenten ihren Innovationsgewinn mit derselben Diskont-rate oder dem selben Arrow-Wertpapier und diskontiert der Regulator in seiner Eigenschaft als sozialer Planer den gesamtwirtschaftlichen Gewinn aus Gleichung (3.16) auf die gleiche Weise, dann entspricht das Verhältnis des Innovationsgewinns eines Produzenten zum gesamtwirtschaftlichen Gewinn dem Anteil, den dieser Produzent vom gesamtwirtschaftlichen Optionswert für sich sichern kann. Die Annahme des vollkommenen Kapitalmarktes impliziert solch eine einheitliche Diskontierung aller im Modell auftretenden Agenten.

Sei V_{opt}^{soz} der gesamtwirtschaftliche Optionswert und α der Anteil eines Produzenten i an diesem Optionswert, dann beträgt der Anteil des jeweils anderen Produzenten $-i$ am gesamtwirtschaftlichen Optionswert $1 - \alpha$. Der kleinste Wert, den α annehmen kann, ergibt sich aus dem Verhältnis des minimalen Produzentengewinns aus Gleichung (3.12) zum gesamtwirtschaftlichen Gewinn aus Gleichung (3.16). Den größten Wert von α erhalten wir hingegen, wenn wir den maximalen Produzentengewinn aus Gleichung (3.13) zum gesamtwirtschaftlichen Gewinn ins Verhältnis setzen. Wir wissen also, dass α auf dem folgenden geschlossenen Intervall liegen muss:

$$\alpha \in \left[\frac{C_{alt} - C_{neu}^+}{a - C_{alt}}, \frac{a + C_{neu}^+ - 2C_{alt}}{a - C_{alt}} \right] \quad (3.17)$$

Durch dieses Intervall sind die Anteile, welche die Produzenten am gesamtwirtschaftlichen Optionswert des Demonstrationsprojektes realisieren können, klar eingegrenzt.

3.2.2 Aufteilung bei großer Innovation

Die identischen Ausbringungsmengen der Produzenten im eindeutigen Nash-Gleichgewicht einer großen Innovation führen für beide Produzenten zu identischen Innovationsgewinnen. Wieder berechnen wir diesen Gewinn mittels der Gleichung (3.2), setzen für die Ausbringungsmenge die Cournotmenge der Gleichung (3.7) ein und ermitteln den Preis aus Gleichung (3.1) unter der Berücksichtigung von $x_1 + x_2 = 2 \cdot x_{cournot}$. Auf diese Weise erhalten wir für den Duopolpreis p_{Duopol} sowie für den Gewinn Π_i eines Produzenten i die folgenden Werte:

$$p_{Duopol} = \frac{a + 2C_{neu}^+}{3} \quad (3.18)$$

$$\Pi_i = \frac{(a - C_{neu}^+)^2}{9b} \quad (3.19)$$

Um den gesamtwirtschaftlichen Innovationsgewinn zu ermitteln, müssen wir bei einer großen Innovation außer den Gewinnen der Produzenten den Consumer-Surplus berücksichtigen. Dieser Consumer-Surplus entspricht der in Abbildung 3.5 dargestellten schraffierten Fläche unter der Preis-Absatz-Funktion. Der Consumer-Surplus lässt sich also durch die Berechnung dieser Fläche ermitteln. Er ergibt sich somit aus der folgenden Gleichung:

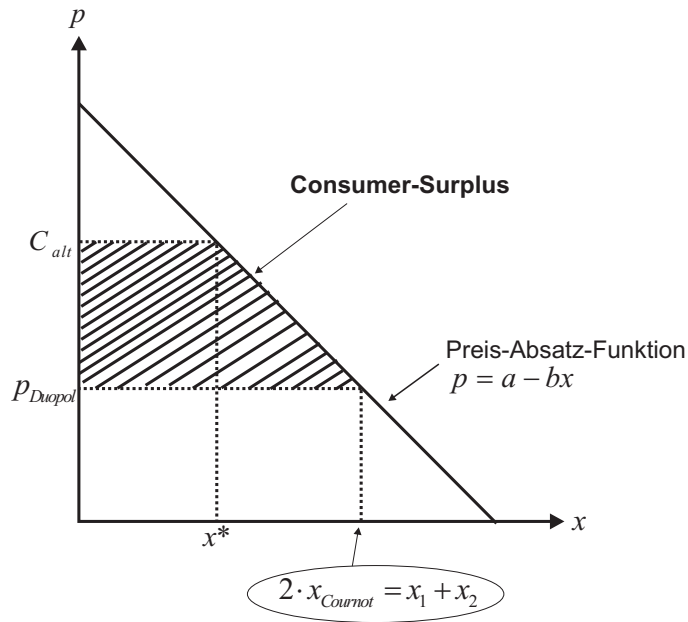


Abbildung 3.5: Consumer-Surplus im Duopol

$$\begin{aligned}
 CS &= \frac{(C_{alt} - p_{Duopol})(2 \cdot x_{Cournot} - x^*)}{2} + (C_{alt} - p_{Duopol})x^* \\
 &= \frac{(C_{alt} - p_{Duopol})(2 \cdot x_{Cournot} + x^*)}{2}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Setzen wir in diese Gleichung für den Duopolpreis den Wert aus Gleichung (3.18) sowie für die Cournotmenge den Wert aus Gleichung (3.7) und für x^* den Wert aus Gleichung (2.16) ein, so erhalten wir für den Consumer-Surplus den folgenden Wert:

$$CS = \frac{(3C_{alt} - a - 2C_{neu}^+)(5a - C_{alt} - 2C_{neu}^+)}{18b} \tag{3.21}$$

Der gesamtwirtschaftliche Innovationsgewinn Π ergibt sich nun aus dem Gewinn eines jeden Produzenten gemäß Gleichung (3.19) und dem Consumer-Surplus aus Gleichung (3.21):

$$\Pi = 2 \cdot \Pi_i + CS$$

$$\Leftrightarrow \Pi = \frac{4(a - C_{neu}^+)^2 + (3C_{alt} - a - 2C_{neu}^+)(5a - C_{alt} - 2C_{neu}^+)}{18b}$$

Wiederum schließen wir aufgrund der Annahme des vollkommenen Kapitalmarktes auf eine einheitliche Diskontierung aller Agenten im Modell. Daher wissen wir, dass der Anteil α am gesamtwirtschaftlichen Optionswert V_{opt}^{soz} , den jeder der Produzenten bei Durchführung des Demonstrationsprojektes realisiert durch

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi} = \frac{2(a - C_{neu}^+)^2}{4(a - C_{neu}^+)^2 + (3C_{alt} - a - 2C_{neu}^+)(5a - C_{alt} - 2C_{neu}^+)} \quad (3.22)$$

gegeben ist.

3.2.3 Implikationen für politische Entscheidungen

Beim Monopol konnte ein Unternehmer den Optionswert des Demonstrationsprojektes bis auf den Gegenwartswert eines etwaigen Consumer-Surplus ganz für sich allein vereinnahmen. Hier nun im Duopol ziehen nicht nur die Konsumenten einen eventuellen Nutzen aus dem Demonstrationsprojekt, sondern auch noch der Mitkonkurrent des in das Demonstrationsprojekt investierenden Unternehmers. Der gesamtwirtschaftliche Optionswert wird nun unter den Duopolisten aufgeteilt, und wenn ein Consumer-Surplus anfällt, dann realisieren auch noch die Konsumenten einen Anteil an diesem Optionswert. Ein Unternehmer, der in das Demonstrationsprojekt investiert, übt nun also nicht nur einen etwaigen positiven externen Effekt auf die Konsumenten aus, sondern auch einen auf seinen Mitkonkurrenten. Natürlich wird auch hier ein Unternehmer in seiner Investitionsentscheidung diesen positiven externen Effekt nicht berücksichtigen, er wird

also bei der Abwägung, ob er in das Demonstrationsprojekt investieren soll, nicht berücksichtigen, was er anderen mit dieser Investition Gutes tut. Nimmt dieses Gute, das er anderen mit der Investition zukommen lässt, große Ausmaße an, ist der positive externe Effekt also sehr groß, dann sind die Investitionsanreize relativ zum gesamtwirtschaftlichen Nutzen des Demonstrationsprojektes gering. Je größer also der externe Effekt ist, um so wichtiger wird es sein, dass ein Regulator durch eine Intervention die Investitionsanreize der Unternehmer erhöht.

Das Ausmaß des externen Effektes, den ein Unternehmer auf Mitkonkurrenten und Konsumenten ausübt, ist umgekehrt proportional zum Anteil α , den ein Unternehmer sich am gesamtwirtschaftlichen Optionswert sichern kann. Den Wert, den ein Unternehmer durch seine Investition schafft, besteht aus eben jenem gesamtwirtschaftlichen Optionswert. Vom Anteil $1 - \alpha$, den sich der Unternehmer an diesem Optionswert nicht sichern kann, profitiert der Mitkonkurrent und eventuell der Konsument. Dieser Anteil $1 - \alpha$ repräsentiert also den positiven externen Effekt einer Investition in das Demonstrationsprojekt. Wir können also sagen, dass je kleiner der Anteil α ist, um so wichtiger wird es, dass ein Regulator in das Marktgeschehen eingreift und die Investitionsanreize erhöht.

Im folgenden Abschnitt werden wir die Investitionsanreize der Unternehmer genauer untersuchen. Außerdem werden wir untersuchen, wie eine Intervention des Regulators in Form einer Subvention durch einen Investitionskostenzuschuss diese Anreize beeinflusst.

3.3 Das Innovationsspiel

Jeder der beiden Produzenten muss sich nun entscheiden, ob er in das Demonstrationsprojekt investiert oder diese Investition unterlässt. Entscheidet er sich zu investieren, so realisiert er seinen Anteil am gesamtwirtschaftlichen Optionswert, muss allerdings auch die Optionsprämie P aufbringen. Auch hier besteht die Optionsprämie aus der Differenz des Investitionskapitals k , das für die

Durchführung des Demonstrationsprojektes aufgebracht werden muss, und der Cashflow-Bewertung V des Demonstrationsprojektes. Entscheidet ein Produzent sich gegen die Investition, so wird er seinen Anteil am gesamtwirtschaftlichen Optionswert nur realisieren, wenn der andere Produzent das Demonstrationsprojekt durchführt. In diesem Fall allerdings realisiert er diesen Optionswert, ohne eine entsprechende Optionsprämie dafür aufbringen zu müssen.

Im folgenden werden wir diese Entscheidungssituation, in der sich beide Produzenten befinden, als Spiel in strategischer Form auffassen³. Da die Durchführung eines Demonstrationsprojektes als letzte Stufe der Schaffung einer Innovation begriffen werden kann, nennen wir dieses Spiel in strategischer Form Innovationspiel. Die Produzenten haben in diesem Spiel die beiden Strategien *Investieren* und *Nicht Investieren*. Sowohl für die kleine als auch für die große Innovation suchen wir unter verschiedenen Konstellationen die Nash-Gleichgewichte dieses Spiels. Außerdem werden wir die in diesen Gleichgewichten herrschende Wohlfahrt analysieren. Als Wohlfahrtsmaß soll uns hierbei der gesamtgesellschaftliche Gegenwartswert dienen, der durch das Demonstrationsprojekt realisiert wird. Der gesamtgesellschaftliche Gegenwartswert ergibt sich aus der Differenz des sozialen Wertes der Realloption V_{opt}^{soz} und der Optionsprämie P . Betrachten wir Nash-Gleichgewichte in gemischten Strategien, also Gleichgewichte, in denen die reinen Strategien *Investieren* und *Nicht Investieren* mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gespielt werden, so wenden wir bei der Wohlfahrtsberechnung den Erwartungswert auf den gesamtgesellschaftlichen Gegenwartswert des Demonstrationsprojektes an. Die Anwendung des Erwartungswertes auf diesen Gegenwartswert impliziert die Annahme eines riskoneutralen sozialen Planers und wird in unserer Analyse lediglich aus Vereinfachungsgründen vorgenommen.

³Situationen in denen zwischen Spielern positive Exeternalitäten durch Informationsspillover auftreten werden auch von Milgrom und Roberts (1990) sowie von Topkis (1998) modelliert.

3.3.1 Das Innovationsspiel im Fall der kleinen Innovation

Wie wir sahen, wird bei einer kleinen Innovation der Innovationsgewinn sowie der Optionswert vollständig unter den Produzenten aufgeteilt. Beide Produzenten erhalten dabei einen Anteil, der auf dem in Gleichung (3.17) dargestellten Intervall liegen muss. Zusammen müssen sich die beiden Anteile natürlich zu 1 addieren, weil die Produzenten den Innovationsgewinn vollständig unter sich aufteilen. Die Investoren kennen zum Zeitpunkt der Investition in das Demonstrationsprojekt diese Anteile α und $1 - \alpha$ noch nicht. Treffen wir auch für die Produzenten die Annahme der Risikoneutralität, so wird der erwartete Anteil am Innovationsgewinn für ihre Investitionsentscheidung maßgeblich sein. Wenn wir annehmen, dass jede mögliche Aufteilung des Innovationsgewinns auf dem Intervall der Gleichung (3.17) gleich wahrscheinlich ist, so ist der erwartete Anteil von beiden Produzenten gerade ein halb.

Abbildung (3.6) zeigt die Auszahlungsmatrix des Innovationsspiels bei kleiner Innovation.

		Produzent 2	
		Investieren	Nicht investieren
Produzent 1	Investieren	$\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P; \frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P$	$\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P; \frac{1}{2}V_{opt}^{soz}$
	Nicht investieren	$\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}; \frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P$	0 ; 0

Abbildung 3.6: Auszahlungsmatrix des Innovationsspiels bei kleiner Innovation

Untersuchen wir zunächst den Fall, in dem die folgende Konstellation gegeben ist:

$$\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} > P$$

Die Investition in das Demonstrationsprojekt soll also in diesem Fall auch unter einzelwirtschaftlichen Gesichtspunkten rentabel sein. Hier existieren die folgenden zwei Nash-Gleichgewichte in reinen Strategien:

$$\textit{Investieren/Nicht Investieren} \wedge \textit{Nicht Investieren/Investieren}$$

Allerdings bedarf es eines Koordinationsmechanismus, um eines dieser beiden Nash-Gleichgewichte in reinen Strategien realisieren zu können. Die Produzenten müssten sich beispielsweise durch Verhandlungen koordinieren. Wir wollen in unserer Analyse annehmen, dass solch ein Koordinationsmechanismus unter vertretbaren Kosten für die Produzenten nicht zu implementieren ist. Ohne Koordinationsmechanismus jedoch ist es das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien, das den Ausgang des Spiels am besten repräsentiert, da es der in dem Spiel bestehenden Unsicherheit Beachtung schenkt⁴.

Sei m_i die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein beliebiger Produzent i die Strategie *Investieren* spielt, und sei m_{-i} die Wahrscheinlichkeit, mit welcher der Produzent $-i$ die Strategie *investieren* spielt, dann ist der erwartete Ertrag φ_i eines Produzenten i durch folgende Gleichung gegeben:

$$\varphi_i = m_i \cdot m_{-i} \cdot \left(\frac{1}{2} V_{opt}^{soz} - P \right) - m_i \cdot (1 - m_{-i}) \cdot \left(\frac{1}{2} V_{opt}^{soz} - P \right) + (1 - m_i) \cdot m_{-i} \cdot \frac{1}{2} V_{opt}^{soz}$$

Diesen erwarteten Ertrag können wir zu folgendem Term umformen:

$$\varphi_i = m_i \left[(1 - m_{-i}) \frac{1}{2} V_{opt}^{soz} - P \right] + m_{-i} \cdot \frac{1}{2} V_{opt}^{soz} \quad (3.23)$$

⁴Romp (1997) erläutert dies für ein Spiel in strategischer Form, das 1950 unter dem Namen „Battle of Sexes“ in die Literatur einging. Dieses Spiel hat eine ähnliche Struktur wie das von uns untersuchte Innovationsspiel. Zudem wird auch von Alexander-Cook et al (1998) im Zusammenhang mit einem ähnlichen Problem nur das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien betrachtet.

Aufgrund der Annahme der Risikoneutralität wird jeder Produzent die Strategie *Investieren* mit der Wahrscheinlichkeit spielen, die den erwarteten Ertrag maximiert. Aus Gleichung (3.23) ersehen wir, dass der Ertrag φ_i eines Produzenten i maximiert wird, wenn er für $(1 - m_{-i})\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P > 0$ $m_i = 1$ und für $(1 - m_{-i})\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P < 0$ $m_i = 0$ spielt. Lösen wir $(1 - m_{-i})\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P > 0$ und $(1 - m_{-i})\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} - P < 0$ nach m_{-i} auf, so erhalten wir die folgende Reaktionsfunktion eines Produzenten i :

$$\begin{aligned} m_i &= 1 \text{ für } m_{-i} < 1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}} \\ m_i &= 0 \text{ für } m_{-i} > 1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Für $m_{-i} = 1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}}$ ist ein Produzent i bezüglich seiner gemischten Strategie indifferent. Aufgrund der Symmetrie des Spiels ist die Reaktionsfunktion beider Spieler $i \in \{1, 2\}$ identisch.

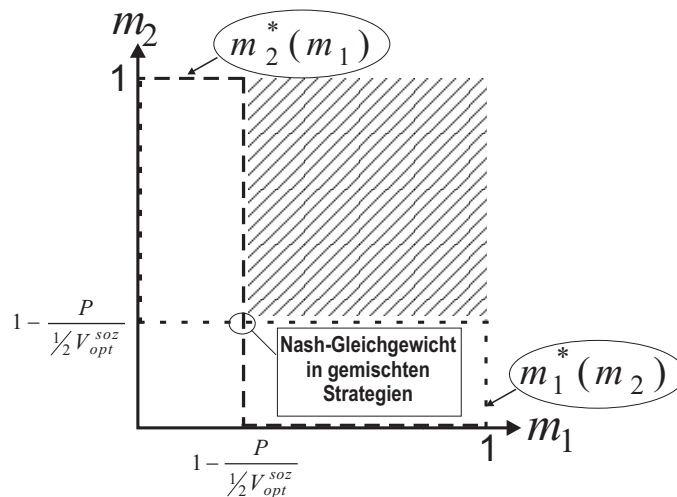


Abbildung 3.7: Reaktionsfunktionen im Innovationsspiel bei kleiner Innovation

Abbildung 3.7 veranschaulicht die Reaktionsfunktionen beider Spieler aus Gleichung (3.24) grafisch. Das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien liegt

dort, wo sich die beiden Reaktionsfunktionen schneiden. Beide Produzenten investieren in diesem Gleichgewicht mit einer Wahrscheinlichkeit von

$$m = 1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}}$$

in das Demonstrationsprojekt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von $2m(1 - m)$ investiert dann genau einer der beiden Produzenten in das Demonstrationsprojekt und es entsteht damit ein gesamtwirtschaftlicher Zugewinn von $V_{opt}^{soz} - P$. Mit einer Wahrscheinlichkeit von m^2 investieren beide Produzenten in das Demonstrationsprojekt und es entsteht dann ein gesamtwirtschaftlicher Zugewinn von $V_{opt}^{soz} - 2P$, weil nun beide Spieler die Optionsprämie P aufwenden. Die schraffierte Fläche ist die Masse der Wahrscheinlichkeit, mit der das Demonstrationsprojekt nicht zustande kommt.

Die Wohlfahrt in Form des erwarteten Gegenwartswertes der zukünftigen Unternehmensgewinne berechnet sich also wie folgt:

$$W = 2 \left(1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}}\right) \left(\frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}}\right) (V_{opt}^{soz} - P) + \left(1 - \frac{P}{\frac{1}{2}V_{opt}^{soz}}\right)^2 (V_{opt}^{soz} - 2P) = V_{opt}^{soz} - 2P \quad (3.25)$$

Untersuchen wir nun die folgende Konstellation:

$$\frac{1}{2}V_{opt}^{soz} < P$$

Nun soll also das Demonstrationsprojekt in einzelwirtschaftlicher Hinsicht für beide Produzenten unrentabel sein. Es existiert nun ein eindeutiges Nash-Gleichgewicht in reinen Strategien:

Nicht Investieren/Nicht Investieren

Keiner der beiden Produzenten würde also in diesem Fall in das Demonstrationsprojekt investieren. Falls der gesamtwirtschaftliche Optionswert V_{opt}^{soz} die Optionsprämie P übersteigt, dann ist dieses Nash-Gleichgewicht in reinen Strategien nicht pareto optimal. Würde in diesem Fall einer der beiden Produzenten investieren und würde der Trittbrettfahrer der beiden Produzenten den investierenden Produzenten für seine Verluste gerade kompensieren, dann wäre der Trittbrettfahrer besser gestellt, ohne dass man den investierenden Produzenten schlechter gestellt hätte. Weil kein Produzent in das Demonstrationsprojekt investiert, fallen keine Unternehmensgewinne an. Das Wohlfahrtsmaß ist somit gleich null.

3.3.2 Das Innovationsspiel im Fall der großen Innovation

Wir sahen, dass auch bei einer großen Innovation beide Produzenten den gleichen Anteil am Innovationsgewinn realisieren. Dieser Anteil α ist durch die Gleichung 3.22 gegeben. Wir wissen, dass der Anteil α kleiner sein muss als ein halb, da auch die Konsumenten in Form des Consumer-Surplus einen Anteil am Innovationsgewinn realisieren.

Abbildung 3.8 zeigt die Auszahlungsmatrix im Innovationsspiel bei großer Innovation.

		Produzent 2	
		Investieren	Nicht investieren
Produzent 1	Investieren	$\alpha V_{opt}^{soz} - P; \alpha V_{opt}^{soz} - P$	$\alpha V_{opt}^{soz} - P; \alpha V_{opt}^{soz}$
	Nicht investieren	$\alpha V_{opt}^{soz}; \alpha V_{opt}^{soz} - P$	0 ; 0

Abbildung 3.8: Auszahlungsmatrix bei großer Innovation

Wir untersuchen zunächst wieder den Fall der einzelwirtschaftlichen Rentabilität des Demonstrationsprojektes. Es soll also zunächst gelten:

$$\alpha V_{opt}^{soz} > P$$

Es existieren hier in dieser Konstellation die selben Nash-Gleichgewichte in reinen Strategien wie im Fall der einzelwirtschaftlichen Rentabilität bei kleiner Innovation. Wieder wird einer der beiden Produzenten in diesen Gleichgewichten in das Demonstrationsprojekt investieren und der andere nicht.

Wiederum interessiert uns aber auch hier vor allem das symmetrische Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien. Dieses Nash-Gleichgewicht erhalten wir wieder über die Reaktionsfunktionen, welche wir erneut über die Maximierung des erwarteten Ertrags der beiden Produzenten erhalten. Auf diese Weise ermitteln wir für einen beliebigen Produzenten i die Reaktionsfunktion

$$\begin{aligned} m_i &= 1 \text{ für } m_{-i} < 1 - \frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}} \\ m_i &= 0 \text{ für } m_{-i} > 1 - \frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Aufgrund der Symmetrie des Spiels sind die Reaktionsfunktionen beider Spieler $i \in \{1, 2\}$ erneut identisch. Abbildung 3.9 veranschaulicht diese Reaktionsfunktionen grafisch. Wieder repräsentiert die schraffierte Fläche die Masse der Wahrscheinlichkeit, mit der nicht in das Demonstrationsprojekt investiert wird. Das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien wird geometrisch wieder durch den Schnittpunkt der beiden Reaktionsfunktionen beschrieben. In diesem Gleichgewicht investieren beide Produzenten mit einer Wahrscheinlichkeit von

$$m = 1 - \frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}}$$

in das Demonstrationsprojekt. Wieder wird mit einer Wahrscheinlichkeit von $2m(1 - m)$ gerade einer der beiden Produzenten in das Demonstrationsprojekt

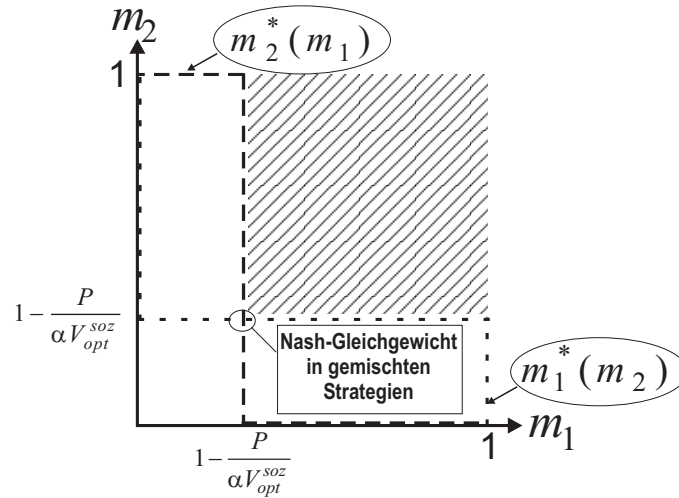


Abbildung 3.9: Reaktionsfunktionen im Innovationsspiel bei großer Innovation

investieren und wieder investieren mit einer Wahrscheinlichkeit von m^2 beide Produzenten in das Demonstrationsprojekt. Erneut wird im ersten Fall der Gegenwartswert der gesamtwirtschaftlichen Gewinne $V_{opt}^{soz} - P$ betragen, während im letzteren Fall dieser Gegenwartswert $V_{opt}^{soz} - 2P$ betragen wird.

Die Wohlfahrt in diesem Gleichgewicht ist also durch den folgenden Ausdruck gegeben:

$$\begin{aligned}
 W &= 2 \cdot \left(1 - \frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}}\right) \left(\frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}}\right) (V_{opt}^{soz} - P) \\
 &\quad + \left(1 - \frac{P}{\alpha V_{opt}^{soz}}\right)^2 (V_{opt}^{soz} - 2P) \\
 &= V_{opt}^{soz} - 2P - \frac{(1 - 2\alpha)P^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} \tag{3.27}
 \end{aligned}$$

Untersuchen wir nun den Fall einzelwirtschaftlich unrentabler Demonstrationsprojekte. Es soll nun also gelten:

$$\alpha V_{opt}^{soz} < P$$

Bei dieser Konstellation existiert wieder ein Nash-Gleichgewicht in reinen Strategien, in dem keiner der beiden Produzenten in das Demonstrationsprojekt investieren wird. Wieder können wir die Aussage treffen, dass dieses Gleichgewicht unter Wohlfahrtsaspekten suboptimal sein muss, wenn der gesamtwirtschaftliche Optionswert über der Optionsprämie liegt.

3.4 Gezielte Subventionierung eines Demonstrationsprojektes

In diesem Abschnitt wollen wir untersuchen, wie sich eine gezielte Subvention von Demonstrationsprojekten auf die Wohlfahrt auswirkt. Wir analysieren dies für einen allgemeinen Anteil α der Produzenten am Innovationsgewinn und beachten dabei dass $\alpha = \frac{1}{2}$ unter einer kleinen Innovation und $\alpha < \frac{1}{2}$ unter einer großen Innovation gelten muss.

Wir führen die Analyse nur für den Fall der einzelwirtschaftlichen Rentabilität des Demonstrationsprojektes durch. Es soll also $\alpha V_{opt}^{soz} > P$ gelten. Die Übertragung auf den Fall eines einzelwirtschaftlich unrentablen Demonstrationsprojektes ist sehr trivial und wird aus diesem Grund von uns hier nicht vorgenommen. Außerdem treffen wir wie in Kapitel 2.3 auch hier die Annahme, dass die staatlichen Mittel nicht knapp sind und deswegen eine Umverteilung von Mitteln vom Staat zu den Produzenten keine Wohlfahrtseffekte nach sich zieht.

Wir nehmen nun an, dass beide Investoren, falls sie sich für eine Investition in das Demonstrationsprojekt entscheiden, sich zunächst beim Regulator um eine Subvention bewerben. Bewirbt sich nur einer der beiden Produzenten, so erhält dieser für sein Projekt die Subvention in Höhe s und führt anschließend die Investition in das Demonstrationsprojekt durch. Beide Investoren profitieren wiederum von der Information, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird. Bewerben sich beide Produzenten um eine Subvention, so entscheidet der

Regulator, wem er die Subvention zukommen lässt. Da wir annehmen, dass die Projekte der beiden Produzenten exakt identisch sind, wird der Regulator per Los entscheiden, wer die Subvention bekommt.

Die Wahrscheinlichkeit, mit der die beiden Produzenten in das Projekt investieren, wird sich aufgrund zweier Effekte erhöhen. Zum einen ist das Bewerbungsverfahren ein Koordinationsmechanismus, wie er in der *laissez faire* Situation nicht existiert. Wird ein Produzent sich nun für die Investition entscheiden und bewirbt sich deshalb um die Subvention, dann wird er die Investition nur durchführen, wenn sein Konkurrent die Investition nicht durchführt. Die Entscheidung für das Demonstrationsprojekt bedeutet also noch nicht automatisch, dass der Produzent die Optionsprämie P aufbringen muss. Nur im Fall, dass der andere Produzent nicht investiert, wird er selbst investieren und die Prämie aufbringen müssen. Dies erhöht die Bereitschaft eines Produzenten sich für das Demonstrationsprojekt zu entscheiden. Der zweite Effekt, der die Investitionswahrscheinlichkeit erhöht, entsteht durch die Subvention.

Um diese beiden Effekte auseinander halten zu können werden wir unsere Analyse in zwei Stufen durchführen. Zuerst betrachten wir ein Innovationsspiel mit einer Koordination durch ein Bewerbungsverfahren, jedoch ohne Subvention. Erst nach der Analyse dieses Spiels wollen wir noch die Subvention, die der Regulator für den Produzenten bereitstellt, der in das Demonstrationsprojekt investiert, in unsere Analyse einbauen.

Nehmen wir nun also zunächst an, ein Produzent meldet - oder bewirbt - sich beim Regulator, wenn er in das Demonstrationsprojekt investieren möchte. Ist er der einzige, der sich meldet, um das Demonstrationsprojekt durchzuführen, so gibt ihm der Regulator grünes Licht und der Produzent führt das Demonstrationsprojekt durch. Äußern beide Produzenten beim Regulator ihr Interesse an dem Projekt, so wird der Regulator auslosen, wer letztendlich das Projekt durchführen wird.

Abbildung 3.10 stellt die Situation als Spiel in strategischer Form mittels einer

Auszahlungsmatrix dar. Die einzige Veränderung, die sich durch den Koordinationsmechanismus des Regulators im Vergleich zur Laisser-Faire-Situation ergibt, beobachtet man unter der Strategienkombination *Investieren/Investieren*. Zuvor unter Laisser Faire Bedingungen, mussten beide Produzenten die Optionsprämie P aufbringen. Jetzt muss jeder der beiden Produzenten diese Prämie mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ aufbringen, da der Regulator auslost, wer von den beiden das Demonstrationsprojekt durchführen wird. Da die beiden Produzenten risikoneutral sind, bewerten sie die mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ mögliche Auszahlung in Höhe P mit $\frac{1}{2} \cdot P$.

		Produzent 2	
		Investieren	Nicht investieren
Produzent 1	Investieren	$\alpha V_{opt}^{soz} - \frac{1}{2}P; \alpha V_{opt}^{soz} - \frac{1}{2}P$	$\alpha V_{opt}^{soz} - P; \alpha V_{opt}^{soz}$
	Nicht investieren	$\alpha V_{opt}^{soz}; \alpha V_{opt}^{soz} - P$	0 ; 0

Abbildung 3.10: Auszahlungsmatrix Innovation bei Koordination durch den Regulator

Aus dem erwarteten Ertrag eines jeden Produzenten i können wir wieder dessen Reaktionsfunktion ermitteln. Diese lautet nun folgendermaßen:

$$\begin{aligned}
 m_i &= 1 \text{ für } m_{-i} < 1 - \frac{P}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - P} \\
 m_i &= 0 \text{ für } m_{-i} > 1 - \frac{P}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - P}
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

Wiederum sind die Reaktionsfunktionen aufgrund der Symmetrieeigenschaften des Spiels für beide Produzenten $i \in \{1, 2\}$ identisch.

Diese Reaktionsfunktionen sind in Abbildung 3.11 grafisch dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Reaktionsfunktionen der Laisser-Faire-Situation in die

Abbildung eingezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Produzent in das Demonstrationsprojekt investiert, wird durch die Koordination des Regulators erhöht. Damit sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass das Demonstrationsprojekt nicht zu Stande kommt. Die Masse dieser Wahrscheinlichkeit ist in Abbildung 3.11 durch die schraffierte Fläche gekennzeichnet.

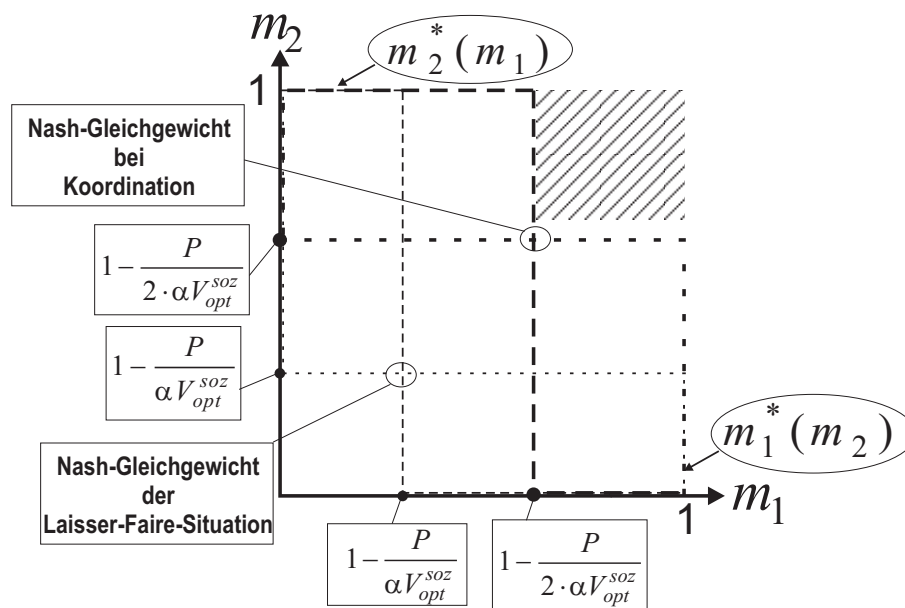


Abbildung 3.11: Vergleich der Reaktionsfunktionen in der Laissez-Faire-Situation und bei Koordination

Untersuchen wir nun die Wirkung einer zusätzlichen Subventionszahlung in Höhe von s . Unter der Subventionszahlung lässt sich die Situation durch die Auszahlungsmatrix in Abbildung 3.12 wiederum als Spiel in strategischer Form darstellen.

Auch hier lässt sich die Reaktionsfunktion eines jeden Produzenten über die Maximierung des erwarteten Ertrags herleiten. Diese lautet für jeden Produzenten i folgendermaßen:

		Produzent 2	
		Investieren	Nicht investieren
Produzent 1	Investieren	$\alpha V_{opt}^{soz} - \frac{1}{2}(P - s)$ $\alpha V_{opt}^{soz} - \frac{1}{2}(P - s)$	$\alpha V_{opt}^{soz} - (P - s); \alpha V_{opt}^{soz}$
	Nicht investieren	$\alpha V_{opt}^{soz}; \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)$	0 ; 0

Abbildung 3.12: Auszahlungsmatrix bei gezielter Subventionierung des Demonstrationsprojektes

$$\begin{aligned}
 m_i &= 1 \text{ für } m_{-i} < 1 - \frac{P - s}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)} \\
 m_i &= 0 \text{ für } m_{-i} > 1 - \frac{P - s}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)}
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

Damit hat also die Wahrscheinlichkeit, mit der im Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien jeder Produzenten in das Demonstrationsprojekt investiert, den folgenden Wert:

$$m = 1 - \frac{P - s}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)} \tag{3.30}$$

Mit einer Wahrscheinlichkeit von

$$(1 - m)^2 = \left(\frac{P - s}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)} \right)^2$$

unterlassen also beide Produzenten die Investition in das Demonstrationsprojekt und damit kommt dieses nicht zu Stande.

Mit der Komplementärwahrscheinlichkeit $1 - (1 - m)^2$ wird das Demonstrationsprojekt hingegen zu Stande kommen. Wenn das Demonstrationsprojekt zu

Stande kommt, wird in jedem Fall ein gesamtwirtschaftlicher Gegenwartswert von $V_{opt}^{soz} - P$ realisiert, denn in dem Fall, in dem beide Produzenten sich gleichzeitig für das Demonstrationsprojekt entscheiden, wird aufgrund der Koordination des Regulators nur einer von beiden investieren und so die Optionsprämie P tragen. Der Fall, dass beide wie in der Laisser-Faire-Situation die Optionsprämie tragen, kann hier nicht vorkommen. Die Wohlfahrt in Abhängigkeit der Subventionszahlung lautet also:

$$W = \left(1 - \left(\frac{P - s}{2 \cdot \alpha V_{opt}^{soz} - (P - s)} \right)^2 \right) \cdot (V_{opt}^{soz} - P) \quad (3.31)$$

Möchte der Regulator diese Wohlfahrt maximieren, so muss er eine Subvention in Höhe der Optionsprämie vergeben. Damit wird die Wahrscheinlichkeit, mit der das Demonstrationsprojekt nicht zu Stande kommt, gleich null. Diese Wahrscheinlichkeit ist durch den quadratischen und geklammerten Ausdruck gegeben. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Produzent nicht in das Demonstrationsprojekt investiert, steht innerhalb der Klammer. Wir sehen, dass diese Wahrscheinlichkeit ebenfalls gleich null wird, wenn der Regulator das Demonstrationsprojekt in Höhe der Optionsprämie P subventioniert. Maximiert also der Regulator die Wohlfahrt, so vergibt er eine Subvention, die so hoch ist, dass beide Produzenten auf jeden Fall in das Demonstrationsprojekt investieren wollen. Der Regulator entscheidet dann per Los, wer von den beiden Produzenten das Demonstrationsprojekt durchführt. Es entsteht dann eine Wohlfahrt in Höhe von:

$$W = (V_{opt}^{soz} - P) \quad (3.32)$$

Aus der Differenz von Gleichung (3.32) und Gleichung (3.27) erhalten wir den Wohlfahrtsgewinn, der durch die Subvention erzielt wird:

$$w = P \left(1 + \frac{(1 - 2\alpha)P}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} \right) \quad (3.33)$$

3.5 Die Wirkung einer Pauschalsubvention

In diesem Abschnitt wollen wir nun annehmen, dass eine beliebig große Anzahl von Produzenten existiert, die alle potentiell die Möglichkeit haben, in ein Demonstrationsprojekt zu investieren. In dieser beliebig großen Menge existieren Paare von Produzenten mit ähnlichen Technologien. Wir wollen annehmen, dass nur innerhalb eines solchen Paares die durch ein Demonstrationsprojekt generierte Information eines Produzenten auf die Technologie des jeweils anderen Produzenten übertragbar ist. Aufgrund asymmetrischer Information weiß der Regulator jedoch nicht, welche Produzenten jeweils zu einem dieser Paare gehören, so dass er nicht selektiv und gezielt subventionieren kann. Es wird also jeder Produzent, der bereit ist, das Demonstrationsprojekt durchzuführen, eine Subvention erhalten.

In diesem Rahmen untersuchen wir nun, wie sich die Gewährung eines solchen pauschalen Investitionskostenzuschusses auf die Lage des Nash-Gleichgewichtes in einem Innovationsspiel zweier Produzenten mit ähnlicher Technologie auswirkt. Ferner untersuchen wir die Wohlfahrt, die in diesen Gleichgewichten vorherrscht, und vergleichen sie mit der Wohlfahrt des Nash-Gleichgewichts im *laissez faire* Fall. Wir suchen dann die Subventionszahlung, welche die Wohlfahrt maximiert.

Wieder nehmen wir an, dass zwei Produzenten mit ähnlicher Technologie einen Anteil am Innovationsgewinn und am Optionswert von jeweils α realisieren. Wir beachten wiederum, dass es sich bei der Technologie unter $\alpha < \frac{1}{2}$ um eine große und unter $\alpha = \frac{1}{2}$ um eine kleine Innovation handelt. Wieder treffen wir auch hier die Annahme, dass die staatlichen Mittel nicht knapp sind und deswegen eine Umverteilung von Mitteln vom Staat zu den Produzenten keine Wohlfahrtseffekte nach sich zieht.

3.5.1 Einzelwirtschaftlich rentables Demonstrationsprojekt

Zunächst analysieren wir den Fall der einzelwirtschaftlichen Rentabilität eines Demonstrationsprojektes. Es soll also gelten:

$$\alpha V_{opt}^{soz} > P$$

Zahlt hier der Staat einen Investitionskostenzuschuss in Höhe von s , so spielt im Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien jeder Produzent die Strategie *Investieren* mit einer Wahrscheinlichkeit:

$$m = 1 - \frac{P - s}{\alpha V_{opt}^{soz}} \quad (3.34)$$

Berechnen wir bei gegebener Investitionswahrscheinlichkeit die Wohlfahrt in gleicher Weise wie wir dies in Gleichung (3.27) bewerkstelligten, so erhalten wir für diese Wohlfahrt den folgenden Wert:

$$W = V_{opt}^{soz} - 2P - \frac{(1 - 2\alpha)P^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} + \frac{2Ps(1 - \alpha) - s^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} \quad (3.35)$$

Der Wohlfahrtsgewinn $w(s)$, der durch die staatliche Intervention generiert wird, ergibt sich nun aus der Differenz von Gleichung (3.35) und Gleichung (3.27):

$$w(s) = \frac{2(1 - \alpha)Ps - s^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} \quad (3.36)$$

Aus dieser Gleichung erkennen wir, dass der Wohlfahrtsgewinn konkav in der Subventionshöhe s ist. Die optimale Subvention erhalten wir also durch die Bedingung erster Ordnung:

$$\frac{\partial w(s)}{\partial s} = \frac{2(1-\alpha)P - 2s}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} = 0$$

Lösen wir die Bedingung erster Ordnung nach s auf, so erhalten wir für die optimale Subvention s^* den folgenden Wert:

$$s^* = (1 - \alpha)P$$

Setzen wir diese optimale Subvention in Gleichung (3.36) ein, so erhalten wir den maximal erzielbaren Wohlfahrtsgewinn w :

$$w = \frac{P^2}{V_{opt}^{soz}} \cdot \frac{(1 - \alpha)^2}{\alpha^2}$$

3.5.2 Einzelwirtschaftlich unrentables Demonstrationsprojekt

Untersuchen wir nun die Wirkung der Pauschalsubvention, wenn das Demonstrationsprojekt einzelwirtschaftlich unrentabel ist. Es soll nun also gelten:

$$\alpha V_{opt}^{soz} < P$$

Wird in dieser Situation eine Subvention s bezahlt, die den Produzenten für die Verluste bei einer Investition in das Demonstrationsprojekt kompensiert oder überkompensiert, so entsteht die selbe Situation wie unter *laissez faire* Bedingungen und einzelwirtschaftlicher Rentabilität des Demonstrationsprojektes. Wieder existieren zwei Nash-Gleichgewichte in reinen Strategien, in denen jeweils einer der beiden Produzenten das Demonstrationsprojekt durchführt.

Wiederum wird uns jedoch in Ermangelung eines Koordinationsmechanismus das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien interessieren. Dieses Nash-Gleichgewicht ist wieder durch den geometrischen Schnittpunkt der Reaktionsfunktionen beider Spieler gegeben. Die Berechnung der Reaktionsfunktionen erfolgt wieder über die Maximierung des erwarteten Ertrags. Auf diese Weise finden wir die folgende Wahrscheinlichkeit, mit der im Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien jeder der beiden Produzenten in das Demonstrationsprojekt investiert:

$$m = 1 - \frac{P - s}{\alpha V_{opt}^{soz}} \quad (3.37)$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist mit der Investitionswahrscheinlichkeit im Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien bei einzelwirtschaftlich rentablem Demonstrationsprojekt identisch. Aus diesem Grund muss der Wohlfahrtsgewinn $w(s)$ in Abhängigkeit der Subventionszahlung der Wohlfahrt aus Gleichung (3.35) entsprechen, da ohne staatliche Intervention die Wohlfahrt null beträgt. Es gilt also:

$$w(s) = V_{opt}^{soz} - 2P - \frac{(1 - 2\alpha)P^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} + \frac{2Ps(1 - \alpha) - s^2}{\alpha^2 V_{opt}^{soz}} \quad (3.38)$$

Auch dieser Wohlfahrtsgewinn ist konkav in der Subventionszahlung s . Auch in diesem Fall können wir also die optimale Subvention mittels der Bedingung erster Ordnung herleiten. Der Ausdruck der in Gleichung (3.38) von der Subventionszahlung beeinflusst wird, ist mit dem Wohlfahrtsgewinn bei einzelwirtschaftlicher Rentabilität des Demonstrationsprojektes aus Gleichung (3.36) identisch. Aus diesem Grund muss auch die Bedingung erster Ordnung bei einzelwirtschaftlich unrentablen Demonstrationsprojekten identisch mit der Bedingung erster Ordnung bei einzelwirtschaftlich rentablen Demonstrationsprojekten sein. Somit erhalten wir hier auch einen identischen Wert für die optimale Subvention s^* :

$$s^* = (1 - \alpha)P \quad (3.39)$$

Allerdings müssen wir nun überprüfen ob die optimale Subvention s^* die Bedingung

$$s^* > P - \alpha V_{opt}^{soz} \quad (3.40)$$

erfüllt, denn nur in diesem Fall wird der einzelwirtschaftliche Verlust, der aus der Investition in das Demonstrationsprojekt entsteht, überkompensiert und nur dann existiert das betrachtete Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien.

Setzen wir (3.39) in (3.40) ein, so erhalten wir nach einigen algebraischen Umformungen die Bedingung:

$$V_{opt}^{soz} > P$$

Dies bedeutet nun, dass wenn das Demonstrationsprojekt gesamtwirtschaftlich lohnenswert ist, bei einer Subventionierung in Höhe von s^* immer das betrachtete Gleichgewicht in gemischten Strategien existiert. Wäre das Demonstrationsprojekt gesamtwirtschaftlich nicht rentabel, dann wäre die Subvention s^* zu gering, um dieses Gleichgewicht herzustellen. Das Nash-Gleichgewicht bliebe dann bei dieser Subvention bei der Strategienkombination:

Nicht Investieren/ Nicht Investieren

Allerdings wäre eine staatliche Intervention zu Gunsten eines gesamtwirtschaftlich unrentablen Demonstrationsprojektes unsinnig, da die Durchführung eines solchen Projektes die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt mindern anstatt erhöhen würde. In einem solchen Fall wäre es also optimal, gar keine Subvention zu gewähren.

Setzen wir die optimale Subvention in den Wohlfahrtsgewinn der Gleichung (3.38) ein, so erhalten wir:

$$w = \frac{(V_{opt}^{soz} - P)^2}{V_{opt}^{soz}} \quad (3.41)$$

Gleichung (3.41) gibt den Wert der maximal erreichbaren Wohlfahrtssteigerung oder in anderen Worten die Wohlfahrtssteigerung unter einer optimalen Subventionshöhe wieder.

Kapitel 4

Fazit und Ausblick

In diesem Teil der Arbeit diskutierten wir ein spezielles Problem im Zusammenhang mit Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energie. Es wurden bisher nur wenige Erfahrungen mit diesen Technologien gesammelt und so liegen derzeit wenig Informationen darüber vor, was diese Technologien leisten können und was sie nicht leisten können. Aufgrund der Risikoaversion der Endnutzer solcher Technologien ist es nun notwendig, Informationen über die Leistungsfähigkeit dieser Technologien zu generieren, um eine Initialzündung für ihre weitere Verbreitung zu geben. Eine solche Initialzündung kann durch erste Experimente mit diesen Technologien erfolgen. Solche ersten Experimente nennt man in der Praxis Pilot- oder Demonstrationsprojekte.

Ein Demonstrationsprojekt beinhaltet für den Produzenten der Technologie eine sogenannte Realoption. Er hat die Option, nach erfolgreichem Demonstrationsprojekt die Technologie in großem Maßstab zu implementieren. Man spricht hier von einer Erweiterungsoption. Der Wert dieser Erweiterungsoption entspricht der Bewertung der Information, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird, durch den Produzenten. Der Konsument oder der Endnutzer der Technologie hat nach erfolgreichem Demonstrationsprojekt keine oder im besten Fall eine geringere Erweiterungsoption als der Produzent. Die Bewertung der durch das Demon-

strationsprojekt generierten Information durch den Konsumenten wird also viel geringer sein als die Bewertung durch den Produzenten. Die Bereitschaft des Konsumenten, das Risiko eines Demonstrationsprojektes auf sich zu nehmen, wird demnach ebenfalls viel geringer sein als die des Produzenten. Der Konsument übt, wenn er das Risiko eines Demonstrationsprojektes trägt, einen positiven externen Effekt auf andere Marktteilnehmer aus, da diese von der Information, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird, profitieren. Diese Tatsache legitimiert eine Subvention des Konsumenten. Jedoch kann durch eine geeignete Vertragsausgestaltung das Risiko auf den Produzenten übertragen werden. Der Produzent profitiert selbst von der generierten Information. Dennoch kann auch hier eine Subventionierung des Produzenten gerechtfertigt sein.

Falls sich die Technologie durch das Demonstrationsprojekt als so leistungsfähig herausstellen sollte, dass die Kostensenkung der Energieerzeugung bei einem weiteren Ausbau der Technologie an den Konsumenten weitergegeben wird, so profitieren auch die Endverbraucher von der Information, die das Demonstrationsprojekt generiert. Dieser sogenannte Consumer-Surplus, der hier durch die Durchführung des Demonstrationsprojektes entsteht, wird vom Produzenten bei seiner Investitionsentscheidung nicht berücksichtigt. Der gesamtwirtschaftliche Wert der generierten Information ist dadurch höher als die Bewertung dieser Information durch den Produzenten. Der Produzent übt demnach durch die Investition in das Demonstrationsprojekt einen positiven externen Effekt auf die Konsumenten aus. Dieser positive externe Effekt kann, wie wir im Abschnitt 2.3 zeigten, die Subvention eines Demonstrationsprojektes rechtfertigen.

Außerdem kann es vorkommen, dass auch Konkurrenten des Unternehmers, welcher in das Demonstrationsprojekt investiert, von der generierten Information profitieren. Falls diese Konkurrenten über gleiche oder ähnliche technologische Anlagen verfügen, so lässt die im Demonstrationsprojekt offenbarte Leistungsfähigkeit der erprobten Technologie Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Technologie der Konkurrenten zu. Hier übt ein Unternehmer einen positiven

externen Effekt auf seine Konkurrenten aus. Wir sprechen bei solch einem positiven externen Effekt von einem Informationsspillover. Wie wir in Kapitel 3 zeigten, kann dieser Informationsspillover ebenfalls die Subventionierung eines Demonstrationsprojektes rechtfertigen.

Wenn man aus dem Kreis der Produzenten mit gleicher oder ähnlicher Technologie nur jeweils einen einzigen herauspicks und dessen Demonstrationsprojekt subventioniert, so sprechen wir von einer gezielten Subvention. Solch eine gezielte Subvention ist einer Pauschalsubvention, bei der jedes Demonstrationsprojekt aus dem Kreis der Produzenten mit gleicher oder ähnlicher Technologie subventioniert wird, vorzuziehen, weil durch die gezielte Subvention höhere Wohlfahrtseffekte erzielt werden. Um eine gezielte Subvention jedoch sinnvoll durchführen zu können, muss der Regulator wissen, wer zum Kreis der Produzenten mit gleicher oder ähnlicher Technologie zählt. Ist dem Regulator dies nicht klar, so kann eine Pauschalsubvention immer noch wohlfahrtserhöhend sein.

Wir haben diese letzte Tatsache in einem Modell gezeigt, in dem immer zwei Produzenten zu einem Kreis von Produzenten mit ähnlicher Technologie gehörten. Eine interessante Erweiterung wäre hier, den Kreis der Produzenten zu vergrößern und zu betrachten, welche Implikationen eine solche Erweiterung für die politischen Entscheidungsträger hätte. Zum einen ist es klar, dass der externe Effekt, den ein Unternehmer durch die Investition in ein Demonstrationsprojekt ausübt, größer wird, weil nun der Kreis der Mitkonkurrenten größer ist und deshalb der gesamtwirtschaftliche Optionswert auf mehr Unternehmer verteilt wird. Außerdem wird bei einer größeren Anzahl von Unternehmern, die mit gleicher oder ähnlicher Technologie produzieren, die Wettbewerbssituation verschärft, was wiederum eine Preissenkung und damit einen Consumer-Surplus wahrscheinlicher macht. Jedoch muss nun, anders als im Zwei-Produzenten-Fall nicht mehr unbedingt an jeden Unternehmer pauschal eine Subvention vergeben werden. Nehmen wir an, es gäbe zwei große Gruppen von Unternehmern, innerhalb derer nach einem erfolgreichen Demonstrationsprojekt potentiell mit gleicher oder ähnlicher

Technologie produziert wird. Der Regulator weiß wieder nicht darüber Bescheid, welcher Unternehmer zu welcher Gruppe gehört. Er soll nun annahmegemäß nicht pauschal an jeden Unternehmer eine Subvention vergeben, sondern nur an eine begrenzte Anzahl von Unternehmern. Mit steigender Anzahl von subventionierten Unternehmern wird die Wahrscheinlichkeit, dass man nur Unternehmer aus einer Gruppe subventioniert, sehr schnell verschwindend gering. Damit wird auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine der beiden Technologien, welche die Unternehmer der jeweiligen Gruppen potentiell anwenden können, nicht ausgetestet wird, verschwindend gering. Eine Pauschalsubvention jedes Unternehmers wäre hier also unsinnig.

Eine Pauschalsubvention kann jedoch auch aus anderen Gründen sinnvoll sein. Schon in Cowan (1991) wird herausgestrichen, dass ein einmaliges Austesten einer Technologie noch keine Gewissheit über die Leistungsfähigkeit dieser Technologie gibt. Jedes Ergebnis eines Experiments mit einer neuen Technologie ist nach Meinung von Cowan eine Zufallsvariable. Durch die Experimente mit der neuen Technologie soll jedoch der unbekannte Erwartungswert der Leistungsfähigkeit dieser Technologie ermittelt werden.

Hier greift die Definition der KfW darüber, wann ein Projekt tatsächlich Demonstrationscharakter hat, zu kurz. Ein Demonstrationscharakter ist nicht nur durch eine erstmalige Anwendung einer Technologie oder durch eine Anwendung in einer neuen verfahrenstechnischen Anordnung gegeben. Auch dann, wenn eine bereits bekannte Technologie, schon in anderen Anwendungen ausgetestet wurde oder in einer hinlänglich ausgetesteten verfahrenstechnischen Anordnung angewendet wird, kann ein Demonstrationscharakter vorliegen. Die Leistungsfähigkeit einer jeden Technologie hängt nämlich auch vom Umfeld ab, in dem sie angewendet wird. Die Anwendung eines Solarpanels in Brasilien zum Beispiel, sagt wenig über die Leistungsfähigkeit des selben Solarpanels in Grönland aus. Auch die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Biomasseanlage ist in einem ländlichen Gebiet sehr viel höher als in einem städtischen. Wenn nun eine Biomasseanlage

in einem ländlichen Gebiet bereits hinreichend getestet wurde, so kann trotz allem ein Projekt in einem städtischen Gebiet einen Demonstrationscharakter haben.

Möchte ein Regulator solche Rahmenbedingungen, die der Technologie vom Umfeld auferlegt werden, bei der Subventionsvergabe berücksichtigen, dann hat er unter Umständen das Problem, dass er einige dieser Rahmenbedingungen, welche die Leistungsfähigkeit der Technologie maßgeblich beeinflussen, nicht kennt. Die Leistungsfähigkeit der Technologie wird dann aus Sicht des Subventionsgebers zur Zufallsvariable. Außerdem weiß er unter diesen Umständen nicht, wer außer dem Investor sonst noch vom Projekt aufgrund des Informationsspillovers profitiert. Beschränkt sich der Subventionsgeber hier auf die Definition des Demonstrationscharakters, wie ihn die KfW vorgibt, so hat dies für ihn den Vorteil, dass er die Demonstrationsprojekte gezielt subventionieren kann. Falls jedoch die Rahmenbedingungen des Umfeldes eine Rolle spielen, so werden wiederum tendenziell zu wenig Demonstrationsprojekte durchgeführt.

Auch nach mehreren Experimenten die mit ein und derselben Technologie durchgeführt wurden, kann also ein erneutes Projekt immer noch einen Demonstrationscharakter haben. Dies legitimiert unter Umständen eine pauschale Subventionierung einer jungen Technologie. Auch in Cowan (1991) wird entsprechend die Wirkung solch einer Pauschalsubvention analysiert.

Es passt in dieses Bild, dass in Großbritannien ein Programm zur Demonstration der Photovoltaik existiert, bei dem die Projekte nicht wie bei den zuvor betrachteten Programmen gezielt subventioniert werden, sondern hier erhalten alle Photovoltaik-Projekte eine Pauschalsubvention. Dieses Programm wurde 2002 unter dem Namen „Major PV Demonstration Programme“ aufgelegt¹. Das erklärte Ziel ist hierbei ein langfristiger und nachhaltiger Ausbau der Photovoltaik. Im Jahr 2002 wurde im Rahmen dieses Programms ein Budget in Höhe von 20 Mio £ zur Subventionierung photovoltaischer Anlagen zur Verfügung gestellt. Im

¹siehe JREC

Jahr 2004 wurde dieses Budget um 5 Mio £ auf 25 Mio £ aufgestockt.

Ein Teil dieser Gelder wird für kleine Anwendungen der photovoltaischen Technologie mit einer Kapazität zwischen 0,5kW und 5kW bereit gestellt. Zielgruppen sind hier Haushalte, kleine und mittlere Betriebe und öffentliche Einrichtungen, wie z.B. Schulen. Die Subventionshöhe variiert bei diesen kleineren Anwendungen je nach dem, ob es sich um integrierte oder um hinterlüftete photovoltaische Anlagen handelt. Für beide Anlagentypen werden grundsätzlich 50% der förderungswürdigen Kosten übernommen, solange sie nicht einen bestimmten Höchstbetrag überschreiten. Dieser Höchstbetrag entspricht 3000 £ pro kW Kapazität bei hinterlüfteten Anlagen und 4250 £ pro kW Kapazität bei integrierten Anlagen.

Bei einem weiteren Teil der Gelder des „Major PV Demonstration Programme“ liegt der Fokus bei Anlagen von Wohnungseigentümergeinschaften, bei Anlagen von lokalen Behörden und bei Anlagen von größeren Unternehmen. Die Verteilung dieser Gelder erfolgt über eine vierteljährliche Ausschreibung, bei der Kriterien, wie z.B. Kosten und Innovationsgrad, berücksichtigt werden.

Schließlich werden über das „Major PV Demonstration Programme“ noch mittlere bis große Anlagen mit einer Kapazität zwischen 5KW und 100kW subventioniert. Die Subventionen betragen hierbei 60% der Investitionskosten bei Projekten von öffentlichen Körperschaften, 50% der Investitionskosten bei Projekten von kleinen Unternehmen und 40% der Investitionskosten bei Projekten von großen Unternehmen.

Unter dem Aspekt der unbekanntenen Leistungsfähigkeit lässt sich also unter Umständen die pauschale Subventionierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie, wie sie in vielen Ländern vorgenommen wird, rechtfertigen. Obwohl es sich hier nicht explizit um die Subventionierung von Demonstrationsprojekten handelt, haben die geförderten Projekte dennoch Demonstrationscharakter, einfach deshalb, weil es sich bei den Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie um verhältnismäßig junge Technologien handelt. Eine De-

monstrationskomponente ist hier also bei allen Anwendungen solcher Technologien mit inbegriffen und damit ist eine Subventionierung unter Wohlfahrtsaspekten unter Umständen auch legitim.

Dabei muss die Subventionierung aber nicht, wie von uns in diesem Teil der Arbeit aus Vereinfachungsgründen angenommen, zwingend durch einen Investitionskostenzuschuss erfolgen. In der Praxis existiert eine Fülle von Instrumenten zur Subventionierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie. Während in diesem Teil der Arbeit die ökonomische Legitimation einer Subventionierung von erneuerbarer Energie im Vordergrund stand, wollen wir im nächsten Teil der Arbeit diese Instrumente, die dem Regulator zur Subvention zur Verfügung stehen, genauer betrachten.

Es ist uns klar, dass mit diesem Beitrag die Diskussion um die ökonomische Rechtfertigung einer Subventionierung von erneuerbarer Energie längst nicht abgeschlossen ist. Zu viele Faktoren, die mit diesem Thema in Zusammenhang stehen und die einen Einfluss auf die sich ergebenden Wohlfahrtseffekte haben, wurden von uns ausgeblendet.

Der kritischste Punkt, der hier zu nennen ist, ist die Annahme, dass Subventionsgelder in unbegrenztem Maß zur Verfügung stehen. Diese Annahme setzt die Kosten der Subventionierung, die in Form von Wohlfahrtsverlusten auftreten, gleich null. In der Realität und vor allem in der heutigen Zeit hoher Staatsdefizite sind die potentiellen Subventionsgelder knapp bemessen. Der Staat muss sich genau überlegen, für welche Zwecke er knappe Steuergelder verwendet. Somit konkurrieren die erneuerbaren Energien mit anderen potentiellen staatlichen Betätigungsfeldern. So muss sich der Staat, wenn er eine Anlage zur Erzeugung von erneuerbarer Energie subventioniert, überlegen, woher er das Geld nehmen soll. So muss eventuell eine Steinkohlegrube geschlossen werden, weil der Staat die Subventionierung der erneuerbaren Energie über eine Kürzung der Steinkohlesubvention finanziert. Finanziert er es über eine Kürzung des Bildungshaushaltes, so muss er vielleicht eine Ganztageschule schließen. Der eventuelle

Wohlfahrtsverlust, der sich aus diesen Ausgabenkürzungen ergibt, sind nun die Opportunitätskosten der Subventionierung. Dieser Wohlfahrtsverlust müsste nun mit dem Wohlfahrtsgewinn, der sich durch die Subventionierung einer Anlage zur Erzeugung von erneuerbarer Energie ergibt, verglichen werden. Nur wenn dieser Wohlfahrtsgewinn den Wohlfahrtsverlust, der durch die Ausgabenkürzung entsteht, übersteigt, wäre die Subvention der Anlage zur Erzeugung von erneuerbarer Energie sinnvoll.

Ein weiterer Punkt ist die schwierige Abschätzung der Frage, wie viele andere Produzenten die durch ein Demonstrationsprojekt generierte Information nutzen können. Dieser Punkt gewinnt noch an Bedeutung, wenn tatsächlich, wie oben diskutiert, die Mittel der öffentlichen Hand knapp sind. Nehmen wir an, der Regulator vermutet, dass eine bestimmte Technologie auf zahlreiche andere Produzenten übertragbar ist. Aus diesem Grund möchte er nun ein Demonstrationsprojekt fördern, das Klarheit über die Leistungsfähigkeit dieser Technologie bringen soll. Weil seine Mittel jedoch knapp sind, muss er eine Ganztageschule schließen, um sich die nötigen Subventionsgelder zu beschaffen. Nach erfolgtem Demonstrationsprojekt stellt sich die Technologie tatsächlich als leistungsstark heraus, jedoch zeigt sich auch, dass die generierte Information von keinem anderen Produzenten genutzt werden kann. Der Wohlfahrtsgewinn, der durch die Subvention erzielt wurde, ist damit gleich null. Jedoch wurde hier womöglich die Wohlfahrt durch die Schließung der Ganztageschule gemindert.

Eine Subvention kann auch einen Anreiz zur Minderung der unternehmerischen Anstrengungen mit sich bringen. Ein Produzent, der das Kapital, das zur Herstellung einer Anlage zur Erzeugung von erneuerbarer Energie notwendig ist, vollständig selbst aufbringen muss, wird tendenziell höhere unternehmerische Anstrengungen erbringen als ein Produzent, der aufgrund der Subvention nur einen Teil dieses Kapitals aufbringen muss. Auch dies ist ein Argument, das in unserer Analyse nicht berücksichtigt wurde und das gegen eine Subventionierung spricht.

Ein weiteres Argument gegen eine Subvention ist ein eventueller First-Mover-

Advantage² des in das Demonstrationsprojekt investierenden Produzenten. Dieser Produzent kann nach erfolgreichem Demonstrationsprojekt eventuell viel schneller Produktionskapazitäten und Vertriebsstrukturen aufbauen als seine Konkurrenten. Deshalb profitiert er auch in sehr viel stärkerem Maße von der Information, die durch das Demonstrationsprojekt generiert wird. Dies mindert den positiven externen Effekt, den der in das Demonstrationsprojekt investierende Produzent auf seine Konkurrenten ausübt, und dies wiederum mindert die Notwendigkeit einer Subvention.

Allerdings existieren auch noch zusätzliche Argumente, die für einen Eingriff zu Gunsten der erneuerbaren Energien sprechen. So kann der Investitionsbetrag, den ein Unternehmer zur Finanzierung eines Demonstrationsprojektes aufbringen muss, im Verhältnis zu seinem Vermögen sehr groß sein. Dies macht eine Investition in das Demonstrationsprojekt sehr riskant, falls er bei der Finanzierung aufgrund von Unvollkommenheiten des Kapitalmarkts nicht auf externe Mittel zurückgreifen kann. In solch einem Fall könnte es sein, dass ein an sich rentables Demonstrationsprojekt nur mit Hilfe eines regulatorischen Eingriffs ermöglicht wird.

Auch kann es sein, dass der Regulator in seiner Eigenschaft als sozialer Planer über einen sehr viel längeren Zeithorizont planen wird als ein privates Individuum. Wenn nun die Gewinne, die sich durch die Investition in ein Demonstrationsprojekt realisieren lassen, erst in ferner Zukunft anfallen, so kann es sein, dass ein privater Unternehmer diese Investition aufgrund seines kurzfristigen Planungshorizontes unterlässt, obwohl diese Investition aus der langfristigen Sicht des sozialen Planers sinnvoll gewesen wäre. Auch hier kann ein regulatorischer Eingriff unter Umständen die Wohlfahrt erhöhen.

Es ist wohl noch viel Forschungsarbeit von Nöten, um irgendwann genaue Angaben darüber machen zu können, unter welchen Umständen die Subventio-

²zu einer analytischen Darstellung des First Mover Advantage siehe Stackelberg

nierung einer Technologie zur Erzeugung von erneuerbarer Energie sinnvoll ist und wann nicht. In diesem ersten Teil der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein Beitrag zur Erörterung dieser Frage geleistet. Mit dem Consumer-Surplus und den Informationsspielformen wurden zwei Gründe identifiziert, die für die gezielte Subventionierung von Demonstrationsprojekten sprechen. Außerdem wurden die Umstände diskutiert, die eine pauschale Subventionierung von erneuerbarer Energie rechtfertigen. Diese Ergebnisse bereiten den Boden für künftige Forschungsarbeiten.

Teil II

Subventionen zur Unterstützung der Markteinführung

„Es muss eine hohe Sensibilität für die Frage geben, wie erneuerbare Energien gefördert werden. Zwar besteht parteiübergreifend kaum Dissens über das Ziel erneuerbare Energien zu fördern. Der Politik fehlt aber das Gespür dafür, welche unmittelbaren Auswirkungen Änderungen am Erneuerbaren-Energie-Gesetz hätten.“

Johannes Lackmann, Präsident des Bundesverbands erneuerbare Energie

Kapitel 5

Einführung und Fragestellung

Im ersten Teil dieser Arbeit haben wir uns mit der Frage beschäftigt, warum Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energien staatlich gefördert werden sollen. Im zweiten Teil dieser Arbeit wollen wir uns nun damit beschäftigen, wie ein Subventionsregime zur Förderung von erneuerbaren Energien ausgestaltet sein sollte. In diesem einleitenden Kapitel werden wir im Folgenden darlegen, warum die Erörterung der Frage eines optimalen Subventionsdesigns von Bedeutung ist.

Dazu werden wir im folgenden Abschnitt die existierenden Subventionsinstrumente systematisieren und kategorisieren. Danach werden wir in Abschnitt 5.2. darlegen, welche Subventionsinstrumente in welchen Ländern der Europäischen Union zur Anwendung kommen. In Abschnitt 5.3. werden wir zwei wissenschaftliche Beiträge betrachten, die sich ebenfalls mit der Frage des optimalen Subventionsdesigns auseinandersetzen. Hier werden wir ein besonderes Augenmerk auf die Frage legen, welche Kriterien ein gutes Subventionsregime erfüllen sollte. In Abschnitt 5.4. werden wir diese wissenschaftlichen Beiträge kritisch diskutieren.

5.1 Formen der Subventionierung

Die Subventionen, die zur Förderung von Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Energie geleistet werden, können nach Output- und Inputs-Subventionen unterschieden werden. Mit Outputsubventionen wird das Endprodukt, also der regenerativ erzeugte Strom, subventioniert. Existierende Beispiele für derartige Subventionsregime sind die Einspeisevergütung und das Quotenmodell. Mittels Inputsubventionen werden die bei der Produktion eingesetzten Faktoren subventioniert. Unter diese Subventionen fallen Investitions- und Betriebskostenzuschüsse sowie verbilligte Kredite.

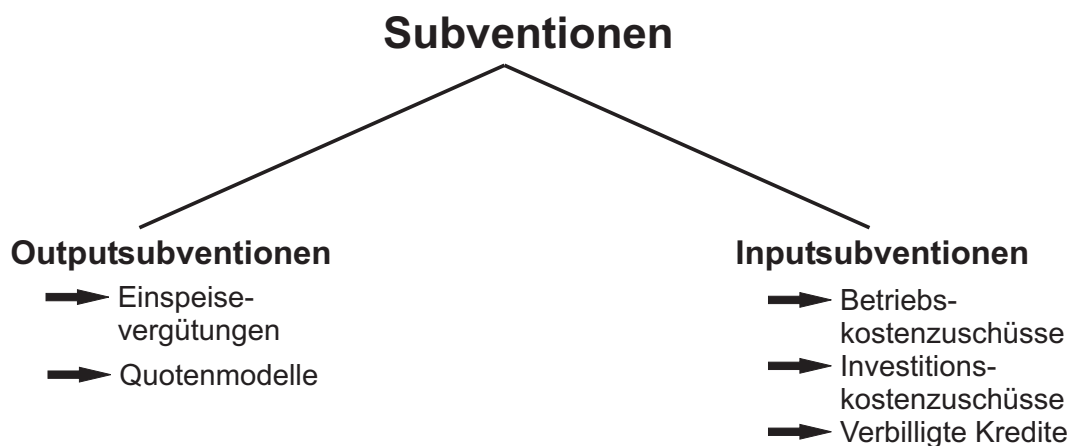


Abbildung 5.1: Unterscheidung in Output- und Inputsubventionen

Ferner können die Subventionsregime zur Förderung von erneuerbarer Energie in preisregulierende und mengenregulierende Subventionsregime unterteilt werden. Ein preisregulierendes Subventionsregime ist die Einspeisevergütung. Mengenregulierende Subventionsregime hingegen sind Quoten- und Ausschreibungsmodelle. Im Rahmen eines preisregulierenden Subventionsregimes wird der Preis für erneuerbare Energie vom Regulator exogen bestimmt. Die aggregierte Grünstrommenge wird sich unter diesem Markteingriff endogen einstellen. Im Gegensatz hierzu bestimmt der Regulator unter einem mengenregulierenden Subventionsre-

gime exogen die aggregierte Grünstrommenge und es wird sich dann am Markt endogen der Grünstrompreis bilden.

Bei einer Einspeisevergütung wird in der Regel vom Regulator ein fixer Preis gesetzt, zu dem ein Produzent regenerativen Strom ins Netz einspeisen kann. Hier spricht man auch von einer Einspeisevergütung mit festem Vergütungssatz. Außer einem Preisvorteil verschafft diese Subventionsform einem Produzenten von regenerativem Strom eine Preissicherheit. Mit anderen Worten werden die Preise unter diesem Fördersystem nicht nur höher sein als unter *laissez faire* Bedingungen, sondern es werden zusätzlich auch Preisschwankungen beseitigt. Eine Einspeisevergütung kann aber auch zu einem relativen Vergütungssatz erfolgen. Hierbei bestimmt sich die Preissubvention prozentual zur Vergütung von konventionellem Strom. Dadurch realisiert der Grünstromproduzent zwar einen Preisvorteil, eine Preissicherheit wird ihm jedoch nicht gewährleistet. Oft werden bei einer Einspeisevergütung die Vergütungssätze im Zeitablauf degressiv gesenkt.

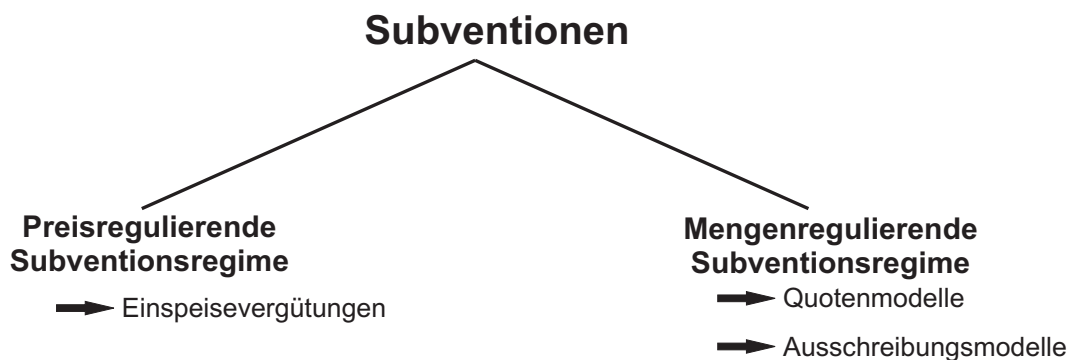


Abbildung 5.2: Unterscheidung in preis- und mengenregulierende Subventionen

Meistens wird die Einspeisevergütung durch ein Umlageverfahren zu gleichen Anteilen von den Energieversorgern finanziert. Es ist jedoch auch eine Finanzierung aus öffentlichen Mitteln denkbar. Da beim Umlageverfahren Energieversorger und Produzenten von regenerativem Strom gegensätzliche Interessen haben, verschiebt sich bei diesem Verfahren die Kontrolle eines Subventionsmissbrauchs

von staatlicher Ebene auf die Ebene der Energieversorger.¹

Im Quotenmodell werden Endverbraucher oder Energieversorgungsunternehmen vom Regulator dazu verpflichtet, einen gewissen Anteil ihres Stromkontingents mit regenerativem Strom zu decken. Dieser Anteil kann vom Regulator als relativer Wert zum gesamten Stromverbrauch oder auch als absoluter Wert vorgegeben werden. Mit einem System grüner Zertifikate im Rahmen eines Quotenmodells wird gewährleistet, dass die zur Quotenerfüllung Verpflichteten ihre Quoten untereinander handeln können. Ein Quotenverpflichteter erhält bei diesem System für eine bestimmte Menge Strom, die er den Grünstromproduzenten abnimmt, ein grünes Zertifikat. An einem bestimmten Stichtag müssen alle Quotenverpflichteten eine bestimmte Menge an Zertifikaten vorweisen können. Fehlende Zertifikate können dann von Verpflichteten, welche die Quote übererfüllen, abgekauft werden. Man spricht hier auch von einer Trennung von Commodity und Service. Unter Commodity versteht man dabei das physische Produkt Strom, während man unter Service die umweltfreundliche Gestehung dieses Stroms versteht. Eine solche Handelbarkeit von Quoten mittels grüner Zertifikate erhöht die allokativen Effizienz, da die Quoten des physischen Produkts dort erfüllt werden können, wo ihre Stromgestehungskosten am geringsten sind².

Das sogenannte Ausschreibungsmodell stellt eine Besonderheit unter den Subventionsregimen dar. Es ist ein mengenregulierendes Subventionsregime, mit dem sowohl eine Input- als auch eine Outputsubvention vorgenommen werden kann. Im Rahmen eines solchen Systems werden in Auktionen Erzeugungskapazitäten für regenerative Energie ausgeschrieben. Je nach dem, ob es sich um eine Output- oder Inputsubventionierung handelt, erhalten die Gewinner dieser Auktionen langfristige Verträge mit festen Vergütungssätzen wie beim Einspeisemodell, oder sie erhalten Betriebs- oder Investitionskostenzuschüsse für ihre Anlagen. Entsprechend werden dann die Gebote der Auktionsteilnehmer bei der Outputsubvention

¹siehe Bräuer und Kühn (2001)

²siehe Bräuer und Kühn (2001)

über die Vergütungssätze und bei der Inputsubvention über die Betriebs- oder Investitionskostenzuschüsse, welche die Teilnehmer jeweils erhalten möchten, abgegeben. Der Zuschlag erfolgt dann für das niedrigste Gebot. Die Mengenregulierung erfolgt durch den Umfang der Erzeugungskapazitäten, die vom Regulator ausgeschrieben werden.

Obwohl das Ausschreibungsmodell in der Literatur als eigenständiges Subventionsgrundmodell behandelt wird, kann man es auch als einen speziellen Mechanismus sehen, mit dem die Förderung aus anderen Subventionsmodellen zugeteilt wird. Abbildung 5.3 ergänzt die in Abbildung 5.1 dargestellte systematische Einteilung der Subventionsformen um diesen speziellen Zuteilungsmechanismus.

	Outputsubventionen	Inputsubventionen
Zuteilung ohne Ausschreibung	<ul style="list-style-type: none"> → Einspeisevergütungen → Quotenmodelle 	<ul style="list-style-type: none"> → Betriebskostenzuschüsse → Investitionskostenzuschüsse → Verbilligte Kredite
Zuteilung mit Ausschreibung	<ul style="list-style-type: none"> → Einspeisevergütungen 	<ul style="list-style-type: none"> → Betriebskostenzuschüsse → Investitionskostenzuschüsse → Verbilligte Kredite

Abbildung 5.3: Unterscheidung nach dem Zuteilungsmechanismus

Die Einspeisevergütung sowie die Quoten- und Ausschreibungsmodelle bezeichnet man als die Grundmodelle der Subventionierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie. Zusätzlich zu den bereits diskutierten Ausgestaltungsspielräumen lässt sich die Einspeisevergütung auch im Hinblick auf den Marktzugang der Grünstromanbieter unterschiedlich ausgestalten. Es ist üblich, dass die Grünstromproduzenten unter einem Quotenmodell ihren Strom

selbst vermarkten und dass unter einer Einspeisevergütung die Energieversorger zu einer Abnahme des Grünstroms verpflichtet werden. Es ist jedoch ebenso denkbar, dass die Grünstromanbieter auch unter einer Einspeisevergütung ihr Produkt selbst vermarkten müssen. Die Anbieter werden in diesem Fall den Strom an die Endkunden oder an einen Zwischenhändler zu einem vertraglich vereinbarten Preis verkaufen. Sie erhalten dann zusätzlich zu dieser vertraglich ausgehandelten Preiskomponente einen gesetzlich festgelegten Zuschlag.³

5.2 Anwendungen in der Europäischen Union

regenerative Energiequellen sind im allgemeinen unregelmäßig über eine geografische Fläche verteilt. Um Kosten zu minimieren sollten Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie dort Anwendung finden, wo regenerative Energiequellen reichlich vorhanden sind. Aus diesem Grund sollte für eine möglichst große geografische Fläche ein einheitliches Subventionsregime implementiert werden, damit die Entscheidung, wo Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie Anwendung finden, nicht durch Unterschiede in Förderbedingungen verzerrt wird. Aus diesem Grund wäre eine Harmonisierung der nationalen Subventionsregime innerhalb der Europäischen Union ökonomisch sinnvoll. Leider zeigt der nun folgende Blick in die Wirklichkeit, dass Europa von solch einer wünschenswerten Harmonisierung noch weit entfernt ist.

In fast allen Ländern der Europäischen Union werden Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie mit einer Kombination aus Input- und Outputsubventionen gefördert. Wie die meisten Länder der Europäischen Union hat sich auch die Bundesrepublik Deutschland bei den Outputsubventionen auf eine Einspeisevergütung festgelegt. Lediglich in Großbritannien und Schweden erfolgt die Outputsubventionierung ausschließlich mittels eines Quotenmodells. In Österreich, Italien und Belgien existieren beide Modelle der Outputsubventionierung

³siehe Bräuer und Kühn

parallel⁴.

Die Förderung über Ausschreibungsmodelle wird derzeit nur noch in Frankreich und Irland praktiziert. In Großbritannien wurde ein solches Modell im April 2002 beendet und durch das derzeit bestehende Quotenmodell ersetzt.

Die Grundlage der Einspeisevergütung in der Bundesrepublik ist das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG), das am 1. April 2000 in Kraft trat und das bis dahin geltende Stromeinspeisegesetz ablöste. Während das Stromeinspeisegesetz relative Vergütungssätze vorsah, gelten nun unter dem EEG feste Vergütungssätze. So wurde für Strom aus neu erstellten Windkraftanlagen eine Vergütung von 9,1ct/kWh garantiert⁵. Seit dem 01.01.2002 sinkt diese Vergütung um jährlich 1,5%, sodass sie aktuell nur noch bei 8,7ct/kWh liegt. Der Vergütungssatz für Strom aus Photovoltaischen Anlagen betrug mit Einführung des EEG 50,6ct/kWh und wurde ebenfalls seit dem 01.01.2002 um 5% jährlich gesenkt. Durch das Photovoltaik Vorschaltgesetz vom 01.01.2004 werden die Vergütungssätze von photovoltaischen Anlagen differenziert nach der jeweiligen Anlagengröße festgesetzt. So wird heute eine Anlage unter 30kW mit 57,4ct/kWh vergütet und Anlagen über 100kW mit 54ct/kWh. Anlagen mit einer Kapazität zwischen 30kW und 100kW erhalten einen Vergütungssatz in Höhe von 54,6ct/kWh. Außerdem gibt es für Fassadenanlagen noch einen zusätzlichen Bonus von 5ct/kWh. Das Ziel des EEG ist es, den Anteil erneuerbarer Energien am vollständigen Energieportfolio bis 2010 auf 6% zu erhöhen. Außer für Strom aus Windkraft und Solarstrom werden im Rahmen des EEG auch feste Vergütungssätze für Strom aus Biomasse, aus Geothermie und aus Wasserkraft gewährt.

Inputsубventionen erfolgen in der Bundesrepublik über Investitionskostenzuschüsse und verbilligte Kredite. So wurden im Zeitraum von 1999 bis 2004, im Rahmen des 100.000-Dächer-Programms, verbilligte Kredite bis maximal 500.000 Euro zur Finanzierung von photovoltaischen Anlagen bereitgestellt. Der Zinssatz

⁴siehe Energy research Centre of the Netherlands

⁵siehe Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien

betrug im Jahre 2002 1,9%. Die Rückzahlungsdauer betrug 10 Jahre. Des weiteren werden seit 1998 und noch bis 2006 Windkraftanlagen im Rahmen des „250MW Windprogramms“ mit einem Betrag von bis zu 25% der Investitionskosten, maximal jedoch mit 46.000 Euro, bezuschusst.⁶

Die so genannte „New & Renewables Obligation“ schafft die rechtliche Grundlage für das britische Quotenmodell. Damit soll in Großbritannien bis 2010 eine Quote an Grünstrom von 10% des Gesamtstroms erreicht werden. Die Quoten werden durch ein System grüner Zertifikate handelbar gemacht. Bei Nichterfüllung der Quote muss der Quotenverpflichtete eine Strafe in Höhe von 30£ pro fehlender MWh entrichten. Dies entspricht ungefähr 4,5ct/kWh.⁷

Die Inputsubventionen in Großbritannien wurden im so genannten National Lottery Act von 1998 geregelt. Im Rahmen dieses Gesetzes werden durch den New Opportunities Fund Investitionszuschüsse in Höhe von 3 Mio £ für kleine Biomasse- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bereitgestellt. Es werden dabei vom New Opportunities Fund 40% der Investitionskosten eines Projektes übernommen. Außerdem regelt der National Lottery Act Investitionskostenzuschüsse durch das DTI Offshore Wind Scheme. Hierbei werden Mittel in Höhe von 39 Mio £ für Offshore Windanlagen zur Verfügung gestellt. Auch hier werden pro Projekt, bis zu einer Obergrenze von 10 Mio £, 40% der Investitionskosten übernommen.⁸

Im Swedish Government Energy Bill von 2002 wurden die gesetzlichen Grundlagen für das Electricity Certificate Trading System, das Schwedische Quotenmodell, geschaffen. Wie der Name schon besagt, handelt es sich auch beim Electricity Certificate Trading System wie bei der Renewables Obligation um ein Quotenmodell mit handelbaren grünen Zertifikaten. Dieses Modell wurde im Mai 2003 mit einer Quote von 7,4% eingeführt. Es ist geplant, bis zum Jahr 2010 eine Quote

⁶siehe Energy research Centre of the Netherlands

⁷siehe Energy research Centre of the Netherlands

⁸siehe Energy research Centre of the Netherlands

von 16,9% zu erreichen. Bei diesem System beschaffen und handeln die Energieversorger die grünen Zertifikate und können versuchen, diese Kosten durch eine fakturierte Gebühr an die Endverbraucher zu überwälzen. Es wird geschätzt, dass diese Gebühr derzeit durchschnittlich ca. 0,55ct/kWh beträgt. Die schwedische Regierung garantiert, jedes Zertifikat zu einem Preis von 0,66ct/kWh aufzukaufen. Der Marktpreis für grüne Zertifikate kann also in diesem System nie unter diesen von der Regierung gesetzten Mindestpreis fallen. Bei Nichterfüllung der Quote wurde 2003 eine Strafzahlung von 1,93ct pro fehlender kWh fällig. Für 2004 ist eine Strafzahlung von 2,63ct pro fehlender kWh festgelegt worden.⁹

Für die Inputsubventionierung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie wurde in Schweden im Zeitraum von 1997 bis 2002 ein Budget von fast 50Mio Euro zur Verfügung gestellt. Damit wurden Investitionskostenzuschüsse für Onshore Windkraftanlagen mit einer Kapazität von mehr als 200kW, für kleine Wasserkraftwerke mit einer Kapazität von weniger als 1500kW und für Kraftwärmeanlagen vergeben. Die Zuschüsse betragen 10-15% der Investitionssumme bei Windanlagen und 15% bei kleinen Wasserkraftwerken. Für Kraftwärmeanlagen wurde maximal ein Zuschuss von 25% der Investitionssumme gewährt, grundsätzlich jedoch betrug die Subvention hier 330Euro pro installiertem kW Kapazität.¹⁰

Irland ist das einzige Land der europäischen Union, das bei der Förderung von regenerativer Energie weder auf eine Einspeisevergütung noch auf eine Quotenregelung zurückgreift. Außer über steuerliche Vergünstigungen wird in diesem Land erneuerbare Energie über ein Ausschreibungsmodell, das sogenannte Alternative Energy Requirement, gefördert. Im Rahmen dieses Modells wurde im Jahr 1994 eine Erzeugungskapazität von 111MW für Windanlagen, Wasserkraftanlagen, Biomasseanlagen und Kraftwärmeanlagen ausgeschrieben. Ziel war hierbei nach einkalkulierten Anlageausfällen immer noch eine Kapazität von 75MW zu

⁹siehe Energy research Centre of the Netherlands

¹⁰siehe Energy research Centre of the Netherlands

implementieren. Im Jahr 1997 konnte dann eine Implementierung von 76,5MW verzeichnet werden. Grundlage für den Zuschlag bei der Auktion waren feste Vergütungssätze, mit denen die Auktionsteilnehmer sich beim Electricity Supply Board bewerben mussten.¹¹

In Österreich wird Windenergie, geothermische Energie sowie Energie aus Biomasse und photovoltaischen Anlagen im Rahmen des Ökostromgesetzes durch eine feste Einspeisevergütung gefördert. Für Strom aus Windenergie erhalten die Erzeuger dabei 7,8ct/kWh, für Strom aus Biomasse abhängig von der installierten Kapazität 10,2-16,5ct/kWh, für geothermisch erzeugten Strom 7ct/kWh und schließlich für Strom aus photovoltaischen Anlagen 47-60ct/kWh, ebenfalls in Abhängigkeit der installierten Kapazität.¹²

Außerdem existiert speziell für Strom aus kleinen Wasserkraftwerken zwischen 10kW und 10MW Kapazität ein Quotenmodell mit einem System grüner Zertifikate. Ein Anteil von mindestens 8% von der an den Endverbraucher abgesetzten Energiemenge muss aus der Erzeugung solcher kleinen Wasserkraftwerke stammen.¹³

In Italien wurde im Januar 1991 eine Einspeisevergütung für Strom aus allen erneuerbaren Energiequellen eingeführt. Die Vergütungssätze werden für jede Anlage unter anderem in Abhängigkeit der Kapital-, Betriebs- und Unterhaltungskosten festgelegt. Außerdem wurde 1999 durch die sogenannte „Bersani Verordnung“ ein Quotenmodell mit einem System grüner Zertifikate eingeführt. Seitdem müssen Stromerzeuger einen Anteil an regenerativ erzeugtem Strom in Höhe von 2% der gesamten Stromerzeugung mittels grüner Zertifikate nachweisen.¹⁴

Das Green Franc System regelt die Einspeisevergütung in Belgien. Dieses System wurde 1995 für Strom aus allen erneuerbaren Energien eingeführt.

Zusätzlich existiert in Flandern seit 2002 ein Quotenmodell mit handelbaren

¹¹siehe Energy research Centre of the Netherlands

¹²siehe Energy research Centre of the Netherlands

¹³siehe Energy research Centre of the Netherlands

¹⁴siehe Energy research Centre of the Netherlands

grünen Zertifikaten. Die Quote wurde bei Einführung des Programms auf 1,4% festgelegt und wird jährlich angehoben. Im Jahr 2003 lag die Quote bei 2,05% und in 2004 bei 3%. Für das Jahr 2010 wird eine Quote von 10% anvisiert. Zur Quotenerfüllung ist nur in Flandern produzierter Strom zugelassen.

In Wallonien wurde dieses Jahr ebenfalls ein Quotenmodell mit grünen handelbaren Zertifikaten eingeführt. Die Quote beträgt 4% und soll bis 2010 auf 12% ansteigen. Auch hier ist nur in Wallonien produzierter Strom zur Quotenerfüllung zugelassen.

Auch für die Region um Brüssel ist ein Quotenmodell geplant. Wann jedoch auch für die Hauptstadt dieses System implementiert wird, ist nicht sicher.¹⁵

Mit der EU-Elektrizitätsbinnenmarkt-Richtlinie wird ein gemeinsamer europäischer Strommarkt ohne Handelshemmnisse und Wettbewerbsverzerrungen angestrebt. Im Zuge dieser Richtlinie unternahm die Europäische Kommission mehrfach Versuche, die unterschiedlichen nationalen Subventionsregime für erneuerbare Energie zu harmonisieren. Die Mitgliedsstaaten konnten sich bisher jedoch mit ihrer Forderung nach Subsidiarität gegenüber der Europäischen Kommission durchsetzen¹⁶. Damit obsiegten nationale Egoismen oder wie im Falle Belgiens sogar regionale Egoismen zu Lasten einer ökonomisch sinnvollen Förderung von erneuerbaren Energien.

Das unerwünschte Subventionschaos in der Europäischen Union im Zusammenhang mit regenerativen Energien spiegelt die Verunsicherung wider, die in Bezug auf dieses Thema besteht. Jeder Mitgliedsstaat „kocht sein eigenes Subventionsüppchen“ und hofft, für sich die beste Lösung gefunden zu haben. Leider gibt die Wissenschaft bisher wenig Auskunft darüber, was denn nun ein geeignetes Subventionregime ist. Um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie vage sich die Forschung bisher geäußert hat, betrachten wir im nächsten Abschnitt zwei wissenschaftliche Beiträge. Diese beiden Beiträge sind unseres Wissens nach

¹⁵siehe Energy research Centre of the Netherlands

¹⁶siehe Bräuer und Kühn (2001)

Land	Subventionsgrundmodelle			Flankierende Inputsubventionen	
	Einspeisevergütung	Quotenmodell	Ausschreibungsmodell	Investitionskosten-zuschüsse	Verbilligte Kredite
Deutschland	Erneuerbare-Energie-Gesetz	—	—	250MW Windprogramm	100.000-Dächer photovoltaik Programm
Österreich	Ökostromgesetz	Grüne Zertifikate für kleine Wasserkraftwerke	—	Umweltförderungsgesetz	—
Belgien	Green Franc System	Regional beschränkte Systeme in Wallonien und Flandern	—	In der Vergangenheit existierten regional unterschiedliche Systeme	—
Italien	Gesetz 9/91 und CIP Provision 6/92	Bersani Verordnung	—	Gesetz 10/91	photovoltaik Dachspitzenprogramm
Schweden	—	Electricity Certificate System	—	Verordnung 1998:22	—
Großbritannien	—	New & Renewable Obligation	—	National Lottery Act	—
Irland	—	—	Alternative Energy Requirement	—	—
Frankreich	Elektrizitätsgesetz 2000	—	EOLE 2005	FACE Fund	—
Dänemark	Relative Vergütungssätze für Strom aus Windkraftanlagen im Rahmen des Repowering for wind scheme	—	—	Gesetz über die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen	—
Finnland	Motion 510/98	—	—	Staatsentscheid 29/99	—
Griechenland	Gesetz2244/1994 Gesetz2773/1999	—	—	Entwicklungsgesetz2601/1998 New Operational Programme for Energy	—
Niederlande	MEP	—	—	EINP	—
Luxenburg	Rahmengesetz von 1993	—	—	Skeleton Gesetz und Grand Ducal Regulierung	Kredite der SNCI
Portugal	Gesetzeserlass 339-C/2001	—	—	MAPE/POE Programm	—
Spanien	Royal-Decree 2818/1998	—	—	IDEA	—

Abbildung 5.4: Subventionsregime in der Europäischen Union - Quelle: Energy research Centre of the Netherlands

die einzig existierenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Thema.

5.3 Beurteilung bestehender Subventionsregime

5.3.1 Der Beitrag von Bräuer und Kühn

Bräuer und Kühn vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung beurteilen die Qualität von Subventionsprogrammen mittels eines von Rennings et. al (1997) entwickelten ordnungspolitischen Analyserasters.

Im Rahmen dieses Analyserasters werden in einem ersten Schritt Ziele, die mit einem ordnungspolitischen Eingreifen in das Wirtschaftsgeschehen erreicht werden sollen, formuliert und operationalisiert. Bräuer und Kühn führen hier den Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutz als Hauptziel der Subventionierung von regenerativer Energie an. Für die Operationalisierung dieses Ziels wählen sie den Umfang des Ausbaus an regenerativer Energie, welcher mit der jeweiligen Subvention erreicht wird. Hier ist die tatsächliche Grünstromproduktion dem Ausbau von Erzeugungskapazitäten als Indikator der Zieloperationalisierung vorzuziehen.

Desweiteren identifizieren sie die forschungs- und industriepolitischen Ziele „Technologieförderung“ und „Wirtschaftsförderung“. Das konkrete Ziel der Technologieförderung ist die langfristige Kostensenkung von regenerativer Energie. Entsprechend vertreten Bräuer und Kühn die Auffassung, dass die Zieloperationalisierung über die Kosten pro kW installierter Leistung oder über die spezifischen Stromgestehungskosten erfolgen sollte.

Aus dem Ziel Wirtschaftsförderung, lassen sich die beiden Unterziele „Arbeitsmarktförderung“ und „Exportförderung“ ableiten. Über die Arbeitsmarktförderung soll eine möglichst große Zahl an Arbeitsplätzen in der Erneuerbaren-Energien-Industrie geschaffen werden. Mit der Exportförderung soll erreicht werden, dass die inländische Erneuerbare-Energien-Industrie einen möglichst hohen Weltmarktanteil und eine möglichst hohe Exportquote realisiert. Bräuer und Kühn hal-

ten jedoch eine Zieloperationalisierung über die Zahl der Arbeitsplätze sowie über Weltmarktanteile und Exportquoten für problematisch, da diese Indikatoren für den Regulator als Steuerungsgrößen ungeeignet sind. Sie schlagen aus diesem Grund qualitative Indikatoren wie Verlässlichkeit und Vorhersehbarkeit der Förderbedingungen bzw. Sicherheit des Stromabsatzes vor.

In einem zweiten Schritt wird im ordnungspolitischen Analyseraster von Rennings nach einer vertragstheoretischen Legitimation eines ordnungspolitischen Eingriffs gesucht. Über eine hypothetische Rechtfertigung soll dabei die reale Akzeptanz des oben formulierten Zielsystems als Gemeinwohlziel überprüft werden. Das Ziel des Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutzes wird von Bräuer und Kühn über die negativen externen Effekte legitimiert, die mit der konventionellen Energieerzeugung einhergehen. Die Technologieförderung legitimieren sie mit den positiven externen Effekten von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und die Wirtschaftsförderung wird über die stabilisierende Wirkung einer staatlichen Konjunkturpolitik legitimiert.

In einem dritten Schritt des Analyserasters von Rennings et al. wird die politische Entscheidungsebene gesucht, die den ordnungspolitischen Eingriff bestimmen soll. Bräuer und Kühn vertreten hier die Auffassung, dass die Entscheidung für ein Subventionsregime für Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie in Deutschland auf Bundesebene fallen sollte. Sie verweisen dabei auf einen Richtlinienentwurf der EU, der den Mitgliedstaaten freie Wahl bei der Ausgestaltung der Subventionsregime lassen soll. In Ermangelung einer internationalen Harmonisierung gewährleistet eine Ausgestaltung des Subventionsregimes durch den Bund wenigstens eine effiziente Ressourcenallokation auf nationaler Ebene. Nur in diesem Fall wird garantiert, dass Erzeugungskapazitäten von erneuerbarer Energie an den jeweils günstigsten Standorten zugebaut werden.

Im vierten Schritt des Analyserasters erfolgt die ökonomische Legitimation des ordnungspolitischen Eingriffs. Erst an dieser Stelle werden die unterschiedlichen Subventionsregime ökonomisch bewertet. Hier wird zunächst eine Auswahl

denkbarer Instrumente zur Zielrealisation getroffen. Im Anschluss daran werden diese Instrumente auf Konformität mit den unter Schritt eins formulierten Zielen überprüft. Danach erfolgt eine Überprüfung auf Konformität mit dem vorherrschenden Wirtschaftssystem. Zuletzt werden die denkbaren Instrumente anhand der Kriterien ökonomische Effizienz und institutionelle Beherrschbarkeit bewertet.

Bei der Überprüfung auf Zielkonformität werden die drei Subventionsgrundmodelle - Einspeisevergütung, Quoten- und Ausschreibungsmodell - sowie deren Ausgestaltungsvarianten zunächst auf Konformität mit dem Umweltziel bewertet. Hier schneidet das Quotenmodell am besten ab, da hier der geeignetste Indikator der Zieloperationalisierung, nämlich der Anteil des grünen Stroms an der gesamten Stromproduktion, exakt gesteuert werden kann.

In Bezug auf das industriepolitische Ziel der Wirtschaftsförderung ist es das Einspeisemodell, das nach Meinung von Bräuer und Kühn die höchste Zielkonformität aufweist. Sie begründen das mit den sicheren Investitionsbedingungen, die durch eine Preisfestschreibung hergestellt werden.

Das forschungspolitische Ziel der Technologieförderung wird nach der Auffassung von Bräuer und Kühn am besten durch solche Subventionsregime erfüllt, die einen möglichst hohen Kostendruck auf die Subventionsnehmer ausüben. Ein hoher Kostendruck wird vor allem durch Quoten- und Ausschreibungsmodelle entfaltet, da hier die Wettbewerbssituation unter den Subventionsnehmern ausgeprägter ist als bei einem Einspeisemodell. Aufgrund der ausgeprägten Wettbewerbssituation wird bei den mengenregulierenden Subventionsregimen das Verschlafen einer technologischen Entwicklung über den Preismechanismus mit einer Verdrängung vom Markt bestraft. Da beim Einspeisemodell der Preis fixiert ist, greift der Preismechanismus nicht, und es droht den ineffizienteren Technologien deswegen auch keine Marktverdrängung. Diese Marktverdrängung kann jedoch auch unter der Einspeisevergütung durch ein zeitliches Absenken der Vergütungssätze herbeigeführt werden. Aus diesem Grund vertreten Kühn und

Bräuer die Auffassung, dass durch ein degressives Absenken der Vergütungssätze möglicherweise ein technischer Fortschritt herbeigeführt wird, solange die Innovationstätigkeit der Grünstromproduzenten mit der festgeschriebenen Degression Schritt halten kann. In solch einem Fall kann nach Meinung von Bräuer und Kühn ein Kostensenkungsziel exakt angesteuert werden. Sie betonen, dass der Kostendruck, den diese Modelle entfalten, vollkommen im Ermessen des Gesetzgebers liege. Ohne weitere Begründung gehen Kühn und Bräuer davon aus, dass in dieser Art ausgestaltete Einspeisemodelle das Technologieziel am besten erfüllen. Danach folgen die Ausschreibungsmodelle und dann die Quotenmodelle.

In Bezug auf die Konformität mit dem vorherrschenden Wirtschaftssystem sind Subventionsmechanismen, die geeignet sind, wettbewerblich organisierte Märkte zu schaffen, am vorteilhaftesten. Unter diesem Aspekt schneiden Einspeisevergütungen am schlechtesten ab, da hier die Anbieter von grünem Strom nicht in direkten Wettbewerb zueinander treten. Dieser unter dem Kriterium der Systemkonformität erwünschte Wettbewerbsdruck ist, wie schon erwähnt, bei Quoten- und Ausschreibungsmodellen am ausgeprägtesten. Aus diesem Grund sind Quoten- und Ausschreibungsmodelle die Subventionsregime, die das Kriterium Systemkonformität am besten erfüllen.

Die ökonomische Effizienz unterteilen Rennings et al. in die statische und die dynamische Effizienz. Die statische Effizienz ist eine Übertragung des ökonomischen Prinzips auf den Einsatz ordnungspolitischer Instrumente. Unter dem Umweltziel ist ein Subventionsregime unter dem Aspekt der statischen Effizienz dann am vorteilhaftesten, wenn mit einem gegebenen Subventionsaufwand der größtmögliche Effekt erzielt wird bzw. wenn ein gegebenes Niveau an regenerativer Energie mit dem kleinsten möglichen Subventionsaufwand erzielt werden kann. Unter der dynamischen Effizienz versteht man die Fähigkeit eines Subventionsregimes, Innovationen in den geförderten Technologien hervorzubringen.

Die statische Effizienz unterteilen Bräuer und Kühn in die allokativen Effizienz und in die Minimierung der Transaktionskosten. Allokative Effizienz ist dann ge-

geben, wenn bei einer begünstigten Technologie keine Option ungenutzt bleibt, mit der man den grünen Strom günstiger produzieren könnte. Das Kriterium der allokativen Effizienz wird nach Bräuer und Kühn von allen drei Subventionsgrundmodellen erfüllt. Unter den Transaktionskosten verstehen Bräuer und Kühn Kosten, die sich durch einen Kontrollaufwand aufgrund von Anreizproblemen ergeben. Bezüglich der Transaktionskosten halten Bräuer und Kühn das Ausschreibungsmodell für die schlechteste und die Einspeisevergütung für die beste Alternative, ohne dies jedoch genauer zu begründen.

Bezüglich der Ausgestaltung des Marktzugangs favorisieren Bräuer und Kühn bezüglich der statischen Effizienz grundsätzlich die Selbstvermarktung vor der Abnahmeverpflichtung. Zwar weisen sie darauf hin, dass unter der Abnahmepflicht die Transaktionskosten geringer ausfallen als unter der Selbstvermarktung, jedoch werden unter der Abnahmepflicht die Kosten der Netzbetreiber durch den Zubau von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie nicht berücksichtigt, was schließlich zu einer geringeren allokativen Effizienz führt.

Analog wie beim Ziel der Technologieförderung argumentieren Bräuer und Kühn, dass Subventionsregime, die einen hohen Kostendruck auf die Grünstromproduzenten ausüben, dem Kriterium der dynamischen Effizienz am gerechtesten werden. Jedoch sind es in Bezug auf die dynamische Effizienz Quoten- und Ausschreibungsmodelle, die von Bräuer und Kühn favorisiert werden. Bräuer und Kühn gehen nicht näher darauf ein, warum sie hier zu einem anderen Ergebnis kommen als bei der Beurteilung der Zielkonformität in Bezug auf das Technologieziel.

Bezüglich des Marktzugangs sprechen sich Bräuer und Kühn unter dem Blickwinkel der dynamischen Effizienz erneut für die Selbstvermarktung aus. Die Berücksichtigung der Kosten der Netzbetreiber argumentieren sie, wird Innovationen fördern, welche die Senkung dieser Kosten herbeiführen werden.

In Bezug auf das Ziel der Wirtschaftsförderung bedeutet statische Effizienz, dass mit gegebenen Mitteln möglichst viele Betriebe mit guten Exportaussichten

im Inland etabliert werden bzw. ein vorgegebenes Beschäftigungs- oder Exportziel mit möglichst geringen Mitteln erreicht wird. Auch hier ist es, wie zuvor schon bei der Bewertung der Zielkoformität in Bezug auf das Wirtschaftsförderungsziel, die Einspeisevergütung, die nach Meinung von Kühn und Bräuer am besten abschneidet.

Bezüglich der Technologieförderung bedeutet statische Effizienz schließlich, dass ein gegebenes Kostensenkungsziel mit möglichst geringen Mitteln bzw. mit gegebenen Mitteln eine möglichst große Kostensenkung erreicht wird. Hier erwähnen Bräuer und Kühn, dass Einspeisemodelle die Möglichkeit bieten, Neuentwicklungen mit hohem zukünftigen Kostensenkungspotential frühzeitig am Markt zu erproben. Dennoch bekommen Ausschreibungsmodelle von ihnen die beste Bewertung, da diese Subventionsform es einfach macht, auch im Hinblick auf Neuentwicklungen einen Wettbewerb zu eröffnen.

Unter der institutionellen Beherrschbarkeit verstehen Bräuer und Kühn einerseits die politische Durchsetzbarkeit einer Maßnahme und andererseits die Möglichkeiten zum Schutz vor politischem Missbrauch, die mit einer Maßnahme einhergehen. Bezüglich der politischen Durchsetzbarkeit merken Bräuer und Kühn lediglich an, dass jedes der angesprochenen drei Grundmodelle in den Ländern der Europäischen Union durchgesetzt wurde. In Bezug auf die Möglichkeiten des politischen Missbrauchs argumentieren Bräuer und Kühn, dass Subventionsregime, für deren Funktionieren politische Entscheidungen immer wieder neu gefällt werden müssen, dem Lobbyismus Tür und Tor öffnen. Dieser Logik folgend kommen sie zu dem Urteil, dass Ausschreibungsmodelle mit ihren immer wiederkehrenden Ausschreibungsrunden unter diesem Aspekt am unvorteilhaftesten zu bewerten sind.

5.3.2 Der Beitrag von Voß et al

Eine weitere Bewertung der Ausgestaltung von Systemen zur Förderung von Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie wurde von Voß et al. vorgenommen. Die Kriterien, mittels derer Voß et al. die verschiedenen Subventionsregime bewerten, ähneln in ihrer Systematik den Kriterien von Bräuer und Kühn.

Wie Bräuer und Kühn formulieren auch Voß et al. zunächst Ziele, die durch die Förderung der Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie erreicht werden sollen. Selbstverständlich erwähnen auch Voß et al. hierbei das Ziel des Umwelt- und Klimaschutzes. Gleichzeitig weisen sie jedoch darauf hin, dass dem Umweltziel im Zusammenhang mit der Förderung von erneuerbarer Energie häufig eine zu große Priorität eingeräumt wird. Es wird hier argumentiert, dass der Umwelt- und Klimaschutz auf eine ökonomisch effiziente Art und Weise erreicht werden muss. Dies ist aber durch den Einsatz von erneuerbaren Energien nicht zu erreichen, da die CO₂-Vermeidung durch den Einsatz von erneuerbarer Energie verhältnismäßig kostspielig ist. Voß et al. betonen, dass ein langfristiges Ziel der Förderung von regenerativer Energie nur in einer umweltverträglichen Energieversorgung bestehen kann, die zu vertretbaren Kosten erreichbar ist und eine gewisse Versorgungssicherheit bietet. Es wird also das Ziel in den Vordergrund gerückt, das Bräuer und Kühn mit Technologieförderung bezeichnen. In diesem Zusammenhang betonen Voß et al., dass die ergriffenen Subventionsmaßnahmen nach dem jeweiligen Entwicklungsstand der begünstigten Technologie differenzieren sollten.

Nach der Zielformulierung wird untersucht, inwieweit die verschiedenen Subventionsmodelle geeignet sind, die jeweiligen Ziele zu erreichen. Anschließend untersuchen Voß et al. diese Modelle auf Fördermitteleffizienz. Unter Fördermitteleffizienz verstehen Voß et al. das, was Bräuer und Kühn ökonomische Effizienz nennen. Wie Bräuer und Kühn unterteilen auch Voß et al. dieses Kriterium in

die statische und die dynamische Effizienz.

Auch hier ist das Kriterium der statischen Effizienz nichts anderes als die Übertragung des ökonomischen Prinzips auf die Ausgestaltung ordnungspolitischer Instrumente zur Förderung von erneuerbarer Energie. Ein Unterschied zum Analyseraster von Bräuer und Kühn besteht nun in den Unterkriterien, welche die statische Effizienz herbeiführen sollen. Voß et al. erwähnen hierbei in keiner Weise das Kriterium der allokativen Effizienz. Genau wie Bräuer und Kühn betonen sie jedoch die Bedeutung der Transaktionskosten für die statische Effizienz. Im Gegensatz zu diesen beiden Autoren, verweisen Voß et al. jedoch darauf, dass unter dem Aspekt der statischen Effizienz auch Mitnahmeeffekte zu minimieren sind und Überförderung zu vermeiden ist. Ein Mitnahmeeffekt besteht immer dann, wenn ein Begünstigter eine Subvention für eine Investition erhält, die er auch ohne diese Subvention durchgeführt hätte. Eine Überförderung liegt immer dann vor, wenn die Subvention höher ist, als der zur Durchführung des Investitionsprojektes minimale Subventionsbedarf. Außerdem führen Voß et al. das Unterkriterium der technologischen Treffsicherheit ein. Dies ist eine Konsequenz die sich aus der Priorität des forschungspolitischen Ziels der Technologieförderung ergibt. Falls von einer Fördermaßnahme außer den anvisierten Technologien auch noch andere Technologien begünstigt werden, so ist das auf jeden Fall mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Unter der dynamischen Effizienz verstehen Voß et al. das gleiche wie Bräuer und Kühn. Auch für diese Autoren ist ein Subventionsregime dann dynamisch effizient, wenn es dem Grünstromproduzenten hinreichend Anreize verschafft, durch Innovationen die Kosten einer begünstigten Technologie zu senken.

Nach der Überprüfung der Fördermitteleffizienz erfolgt auch bei Voß et al. eine Überprüfung auf Systemkonformität. Auch hier wird überprüft, wie sich ein Subventionsregime in den bestehenden marktwirtschaftlichen Ordnungsrahmen einfügt. Außerdem überprüfen Voß et al hier die Konformität eines Subventionsregimes mit dem geltenden Recht.

Zuletzt wird von Voß et al. ein Kriterium überprüft, das sie als Praktikabilität des jeweiligen Fördersystems bezeichnen. Hier wird der Regulierungs- und Kontrollbedarf sowie der Organisations- bzw. Verwaltungsaufwand überprüft, der in Zusammenhang mit einem Subventionsregime entsteht. Außerdem wird überprüft, wie gut sich ein Subventionsregime an veränderte Rahmenbedingungen anpasst.

Anhand des beschriebenen Analyserasters werden die drei Subventionsgrundmodelle - Einspeisevergütung, Quoten- und Ausschreibungsmodell - von Voß et al. bewertet. Exemplarisch für die Einspeisevergütung bewerten sie hierbei das Subventionregime der Bundesrepublik, das durch das EEG konstituiert wurde. In §1 des EEG wird als Ziel eine nachhaltige Entwicklung und Energieversorgung im Interesse des Klima- und Umweltschutzes genannt. Aus diesem Grund soll durch das EEG der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 verdoppelt werden. Voß et al. kritisieren an dieser Zielsetzung, dass sie zu einseitig auf den Umwelt -und Klimaschutz abstellt und dabei die Aspekte der ökonomischen Effizienz außer Acht lässt.

Die Fördermitteleffizienz hängt nach Meinung von Voß et al. bei einem Einspeisemodell von der richtigen Höhe des Vergütungssatzes und dessen Anpassung im Zeitverlauf ab. Diese Anpassung muss sich nach den jeweiligen technologiespezifischen Kostensenkungen richten. Warum Voß et al. der Höhe des Vergütungssatzes solch eine Bedeutung beimessen, wird von ihnen nicht weiter begründet. Es ist jedoch klar, dass ein hoher Vergütungssatz Mitnahmeeffekte sowie eine Überförderung verstärkt und damit eine negative Auswirkung auf die statische Effizienz entfaltet. Ob Voß et al. darüber hinaus auch den Standpunkt vertreten, dass die dynamische Effizienz durch eine Absenkung der Vergütungssätze erhöht wird und damit eine identische Argumentation wie Bräuer und Kühn verfolgen, bleibt offen. Voß et al. bemängeln, dass ein dynamisch angepasstes Vergütungssystem sehr schwer zu realisieren ist und damit die Fördermitteleffizienz durch ein Einspeisemodell nur sehr schwach ausgeprägt sein wird.

Einen weiteren Kritikpunkt, den Voß et al. anbringen, betrifft die Subventionierung von Altanlagen mittels einer Einspeisevergütung. Wird eine Einspeisevergütung implementiert, so wird sie auch bestehende Anlagen begünstigen, da ein Ausschluss solcher Anlagen mit zusätzlichen administrativen Aufwendungen verbunden wäre. Die Subventionierung solcher Altanlagen aber ist ein Mitnahmeeffekt, der einen negativen Einfluss auf die Fördermitteleffizienz hat.

Schließlich bemängeln auch Voß et al., dass durch den mangelnden Wettbewerb unter einem Einspeisemodell kein Kostendruck auf die Grünstromanbieter ausgeübt wird. Auch sie folgern daraus genau wie Bräuer und Kühn, dass die Einspeisevergütung unter den Aspekten der dynamischen Effizienz ein unvorteilhaftes Subventionsregime sein muss.

In Bezug auf die Konformität mit dem marktwirtschaftlichen Ordnungsrahmen betonen Voß et al., dass die Einspeisevergütung einen direkten Eingriff in die Preisbildungs- und Allokationsmechanismen mit sich bringt. Sie schließen daraus, dass die Einspeisevergütung unter dem Kriterium der Systemkonformität bedenklich ist.

Unter dem Aspekt der Praktikabilität weisen Voß et al. darauf hin, dass unter dem EEG administrative Aufgaben von den Energieversorgern übernommen werden müssen. So ist im EEG vorgesehen, dass alle Netzbetreiber durch die Einspeisevergütung prozentual zu ihrer durchgeleiteten Strommenge gleich belastet werden. Dafür sind Ausgleichszahlungen zwischen den Netzbetreibern notwendig. Diese Ausgleichszahlungen müssen von den Netzbetreibern selbst erfasst werden.

Bei der Bewertung des Quotenmodells stellen Voß et al. wie schon zuvor Bräuer und Kühn die Exaktheit heraus, mit der ein angestrebtes Mengenziel erreicht werden kann. Anders als Bräuer und Kühn schließen Voß et al. aus dieser Genauigkeit bezüglich des Mengenziels jedoch nicht automatisch auf einen hohen Grad der Zielerreichung bezüglich des Klima- und Umweltschutzes. Sie argumentieren hierbei, dass bei einer vermehrten Nutzung erneuerbarer Energie nicht klar ist, welche konventionellen Energieträger durch die erneuerbaren Ener-

gieträger substituiert werden und deshalb auch unklar bleibt, welche Menge an CO₂ eingespart wird.

In Bezug auf das Ziel der Technologieförderung bemängeln Voß et al., dass in der Ausgestaltung der meisten Quotenmodelle jede Technologie zur Erzeugung von regenerativer Energie zugelassen ist. Es wird nicht nach dem jeweiligen Entwicklungsstand einer Technologie differenziert. Voß et al. schlagen in diesem Zusammenhang vor, dass für jede Technologie eine bestimmte Quote festgesetzt werden soll. Allerdings werfen sie gleichzeitig die Frage auf, ob eine Mengenvorgabe für jede Technologie wirklich so gesetzt werden kann, dass Skalen- und Lerneffekte zur Erlangung der Marktreife effizient erreicht werden.

Die statische Effizienz wird bei Quotenmodellen nach Meinung von Voß et al. durch Mitnahmeeffekte und Transaktionskosten beeinträchtigt. In einem Quotenmodell wird der Preis für regenerative Energie durch den Grenzanbieter bestimmt. Alle Anbieter, die mit ihren Kosten unter den Kosten dieses Grenzanbieters liegen, realisieren Mitnahmegewinne. Die Transaktionskosten bestehen aus Überwachungs- und Kontrollkosten, die nach Voß et al. bei einem Quotenmodell besonders ausgeprägt sind. Diese Kosten entstehen beispielsweise durch die Nachweisführung der Quotenerfüllung oder die Abwicklung von Sanktionsmaßnahmen im Falle einer Nichterfüllung der Quote.

Auch bezüglich der dynamischen Effizienz wird das Quotenmodell von Voß et al. eher schwach eingeschätzt. Ohne es weiter zu begründen, behaupten sie, dass ein Preis, der in einem geschützten Markt durch die Kosten des Grenzanbieters bestimmt wird, wenig Anreize für eine Ausschöpfung von Kostensenkungspotentialen mit sich bringt.

Im Zusammenhang mit der Überprüfung des Quotenmodells auf Systemkonformität, bemerken Voß et al., dass die Festlegung einer Quote einen gravierenden Eingriff in den wettbewerblichen marktwirtschaftlichen Ordnungsrahmen der Elektrizitätsversorgung mit sich bringt. Die höheren Preise eines separaten wettbewerblich geschützten Marktes werden auf den gesamten Elektrizitätsmarkt

überwältigt. Außerdem, bemängeln Voß et al., werde dieser separate Markt auf Dauer Bestand haben, da im Quotenmodell keine Mechanismen zum Überführen von einzelnen Technologien der erneuerbaren Energieerzeugung in den regulären Elektrizitätsmarkt vorgesehen sind.

Die meisten Technologien zur Erzeugung von erneuerbarer Energie sind natürlichen Schwankungen unterworfen. In diesem Kontext merken Voß et al. unter dem Bewertungskriterium der Praktikabilität an, dass die Erfüllung eines Mengenziels, wie es im Quotenmodell festgelegt wird, unmöglich ist. Sie schlagen deshalb die Einführung von Zertifikaten mit einer mehrjährigen Laufzeit vor, um die festgelegte Menge über mehrere Jahre hinweg im Durchschnitt zu erfüllen.

Über das Ausschreibungsmodell bemerken Voß et al., dass es ein besonders geeignetes Instrument ist, um das Ziel der Technologieförderung, das von ihnen eine besonders hohe Priorität zugewiesen bekommt, zu erreichen. Sie halten dieses Subventionsregime für prädestiniert, um Technologien gezielt an ihre Marktreife heranzuführen.

Ausschreibungswettbewerbe bieten nach Meinung von Voß et al. die besten Voraussetzungen, angestrebte Kostenreduktionen effizient zu erreichen. Aus diesem Grund bewerten sie sowohl die statische als auch die dynamische Effizienz dieses Subventionregimes als sehr hoch. Es wird von ihnen die Meinung vertreten, dass keine Mitnahmeeffekte entstehen, da nur Neuanlagen zur Ausschreibung zugelassen werden. Auch heben sie die technologische Treffsicherheit dieses Modells hervor. Transaktionskosten entstehen bei Ausschreibungsmodellen dadurch, dass die Gebote der Unternehmen auf Machbarkeit und Kostenaspekte vom Regulator zu überprüfen sind. Diese Kosten werden von Voß et al. geringer bewertet als die Transaktionskosten des Quotenmodells.

Wenn die Förderung im Zusammenhang mit Ausschreibungsmodellen nicht über eine garantierte Einspeisevergütung, sondern über Investitionskostenzuschüsse erfolgt, so ist dies nach Meinung von Voß et al. kein direkter Eingriff in die Preisbildungs- und Allokationsmechanismen des Elektrizitätsmarktes. Bei einer

derartigen Ausgestaltung wird das Ausschreibungsmodell von ihnen aus diesem Grund in Bezug auf Systemkonformität positiv bewertet.

In Bezug auf die Praktikabilität bemerken Voß et al., dass bei der Durchführung einer Ausschreibung in der Regel auf bestehende Strukturen der Technologieförderung aufgebaut werden kann. Die Schaffung neuer Institutionen zur Überprüfung der Förderungswürdigkeit einer Technologie ist nicht notwendig. Auch in diesem Punkt halten Voß et al. das Ausschreibungsmodell für vorteilhaft.

5.4 Kritische Diskussion der Beiträge

Vielfach herrscht zwischen der von Bräuer und Kühn und der im Beitrag von Voß et al vertretenen Meinung ein Dissens. Der wohl grundlegendste Unterschied besteht in der Betonung der Ziele, die durch die Förderung von regenerativen Energien erreicht werden sollen. So sind Bräuer und Kühn der Meinung, das vorrangige Ziel der Subventionierung wäre das Umweltziel. Nachrangige Ziele wären die Technologie- und Wirtschaftsförderung. Hingegen behaupten Voß et al, dass die Technologieförderung das vorrangige Ziel wäre und das Umweltziel in der politischen Diskussion häufig überbetont wird. Das Ziel der Wirtschaftsförderung wird von Voß et al überhaupt nicht erwähnt.

Dieser Dissens sowie die Kritik von Voß et al an der Überbetonung des Umweltziels erwecken den Eindruck, als ob zwischen dem Umweltziel und dem Technologieziel ein Zielkonflikt bestünde. Zumindest klingt in beiden Beiträgen an, es würde sich bei diesen Zielen um zwei völlig getrennte Ziele handeln. Bei genauerer Betrachtung wird man jedoch feststellen, dass das Umweltziel und das Ziel der Kostensenkung eng miteinander verwoben sind.

In beiden Beiträgen ist das Kriterium der Zielkonformität in Bezug auf das Ziel Technologieförderung aufgrund der Definition identisch zu dem Kriterium der dynamischen Effizienz, das wiederum ein Unterkriterium der ökonomischen Effizienz darstellt. Möchte man das Umweltziel in ökonomisch effizienter Weise

erreichen, so ist man auf Kostensenkungen angewiesen. Dies wiederum wird durch die Erfüllung des Technologiezieles gewährleistet. Das Technologieziel und das Umweltziel stehen also nicht unabhängig nebeneinander, und es besteht auch auf gar keinen Fall ein Zielkonflikt zwischen diesen beiden Zielen. Es handelt sich beim Ziel der Technologieförderung vielmehr um ein Unterziel, das eine ökonomisch effiziente Erfüllung des Hauptzieles Umwelt- und Klimaschutz bewirken soll.

Zudem ist äußerst fraglich, ob dem Ziel der Wirtschaftsförderung im Zusammenhang mit der Subventionierung von regenerativen Energien wirklich Beachtung geschenkt werden sollte. Zwar wird in der politischen Diskussion immer auf die wohltuenden beschäftigungs- und exportpolitischen Effekte solcher Subventionen hingewiesen, jedoch ist es mehr als zweifelhaft, ob es wirklich diese Ziele sind, die mit der Förderung von erneuerbaren Energien erreicht werden sollen. So handelt es sich bei diesen Effekten doch wohl eher um willkommene Nebeneffekte als um die tatsächliche Motivation der Förderung von erneuerbaren Energien. Es ist aus der Wirtschaftswissenschaft hinreichend bekannt, dass mit einer wirtschaftspolitischen Maßnahme jeweils immer nur ein Ziel verfolgt werden sollte. Damit wären, mit der kosteneffizienten Erreichung des Umweltzieles und der dabei notwendigen Erreichung des Unterzieles der Technologieförderung die Möglichkeiten der Förderung erneuerbarer Energien bereits ausgereizt. Möchte die Regierung aktive Wirtschaftsförderung betreiben, so sollte sie hierfür andere ihr zur Verfügung stehende Instrumente nutzen. Aus diesem Grund wird das Ziel der Wirtschaftsförderung zur Bewertung von Subventionsregimen für Technologien zur Erzeugung von regenerativer Energie von uns abgelehnt.

Akzeptieren wir eine kosteneffiziente Erreichung des Umweltzieles als das langfristige Hauptziel der Förderung von erneuerbaren Energien und die Technologieförderung als das kurz- bis mittelfristige Unterziel, das wir auf dem Weg bis zur Erreichung des Hauptzieles erfüllen wollen, so erscheint das Kriterium der Zielkonformität, mit dessen Hilfe sowohl Bräuer und Kühn als auch Voß et al bestehende Subventionsregime beurteilen, als überflüssig. Der schnelle und möglichst

exakt steuerbare Ausbau von erneuerbaren Energien wie ihn Bräuer und Kühn als Indikator zur Messung der Erreichung des Umweltziels fordern, verändert unter unserer Sichtweise seine Bedeutung. Der schnelle Ausbau von Technologien zur Erzeugung von erneuerbaren Energien ist für uns nur insofern wichtig, als dass dabei durch learning by doing Effekte rasche Kostensenkungen herbeigeführt werden können. Wenn wir dem Mengenziel Beachtung schenken, dann nur weil wir glauben, dass dieses Ziel wiederum das Technologieziel beeinflusst.

Wir schließen uns hier Voß et al. an, wenn wir sagen, dass Zielkonformität für uns vor allem Zielkonformität mit dem Technologieziel bedeutet. Allerdings wagen wir zu behaupten, das Kriterium der Zielkonformität in Bezug auf das Technologieziel ist mit dem Kriterium der dynamischen Effizienz identisch. Aus diesem Grund wird das Kriterium der Zielkonformität nicht benötigt, wenn wir statt dessen das Kriterium der ökonomischen Effizienz zur Bewertung von Subventionsregimen heranziehen.

In diesem Punkt stiftet der Beitrag von Bräuer und Kühn mehr Verwirrung als Einsicht in das Problemfeld. Zum einen lassen sie genau wie Voß et al tatsächlich offen, wo denn der genaue Unterschied zwischen dem Kriterium der dynamischen Effizienz und dem Kriterium der Systemkonformität mit dem Technologieziel liegt, zum anderen erhalten sie bezüglich dieser Kriterien auch noch unterschiedliche Resultate. So ist es in Bezug auf die Technologieförderung das Einspeisemodell, welches zu favorisieren ist, während es in Bezug auf die dynamische Effizienz die Ausschreibungs- und Quotenmodelle sind, die am besten abschneiden. Diese Ergebnisse scheinen nun in der Tat etwas willkürlich zu Stande gekommen zu sein. Voß et al präferieren in beiden Kriterien Ausschreibungsmodelle gegenüber Quoten- und Einspeisemodellen. Auch in diesem Punkt herrscht also ein Dissens zwischen Bräuer und Kühn auf der einen und Voß et al auf der anderen Seite, der die Kakophonie der Wirtschaftswissenschaften beim Thema Subvention von regenerativen Energien weiter verdeutlicht.

Bei der Diskussion des Kriteriums der dynamischen Effizienz bleibt sowohl

die Argumentation von Bräuer und Kühn wie auch die Argumentation von Voß et al unvollständig. Beide vertreten die Meinung, dass Subventionsregime, die einen hohen Kostendruck auf die Grüstromanbieter entfalten, grundsätzlich in punkto dynamischer Effizienz positiv zu bewerten sind. Jedoch muss es nicht nur der Kostendruck sein, der über einen drohenden Verlust von Marktanteilen dem Grüstromproduzenten einen Anreiz zur Innovation gibt. Außer durch eine Strafe für zu geringes innovatives Verhalten kann der Innovationsanreiz auch durch eine Belohnung für überdurchschnittliches innovatives Verhalten erfolgen. Anders ausgedrückt verliert ein Produzent nicht nur Marktanteile, wenn er eine Innovation verschläft, sondern er realisiert auch höhere Gewinne, wenn er mit einer Innovation voranschreitet. Im Gegensatz zur Strafe erfolgt diese Belohnung nicht nur ausschließlich über die Marktanteile. Auch bei konstanten Marktanteilen führt nämlich eine Kostensenkung zu höheren Gewinnen des Produzenten. Eine Erörterung des Belohnungseffektes unterbleibt in den diskutierten Beiträgen völlig. Es ist jedoch a priori nicht klar, ob nun die Aussicht auf den höheren Gewinn oder der drohende Verlust einen höheren Innovationsanreiz ausübt. Aus den Äußerungen sowohl von Bräuer und Kühn als auch von Voß et al entnehmen wir, dass sie den drohenden Verlust als den größeren Anreiz ansehen. In beiden Beiträgen wird es jedoch versäumt, diesen Standpunkt näher zu begründen.

Auch im Bezug auf das dem Kriterium der Systemkonformität untergeordneten Kriterium Marktkonformität wird von uns wie zuvor schon beim Kriterium der Zielkonformität die Meinung vertreten, dass es sich hierbei um ein irrelevantes Kriterium handelt. Jeder wirtschaftspolitische Eingriff des Staates ist nicht konform zu einem reinen marktwirtschaftlichen System. Ein solcher Eingriff findet ja eben deshalb statt, weil ein Regulator durch seinen Eingriff einen besseren Zustand herstellen kann, als wenn man den Markt sich allein überlässt. Man spricht hier auch von einem Marktversagen. Das Ziel der Technologieförderung wird durch ein solches Marktversagen legitimiert. Durch die Intervention internalisiert ein Regulator einen positiven externen Effekt, den frühe Produzenten durch

Learning-by-doing-Effekte sowie durch die Offenbarung wichtiger Informationen über die Leistungsfähigkeit der Technologie auf spätere Produzenten ausüben.

Aus dieser Überlegung heraus verwundert es nicht, dass in den diskutierten Beiträgen die Beurteilungen der Marktkonformität willkürlich erscheinen. Auch bei diesem Kriterium herrscht zwischen Bräuer und Kühn auf der einen und Voß et al auf der anderen Seite ein Dissens. So befinden Bräuer und Kühn das Quotenmodell und das Ausschreibungsmodell als am marktkonformsten, wohingegen Voß et al das Quotenmodell unter dem Aspekt der Marktkonformität ablehnen.

Die im Beitrag von Voß et al unter dem Kriterium Praktikabilität abgehandelten Regulierungs-, Kontroll-, Organisations- und Verwaltungskosten werden von Bräuer und Kühn teilweise den Transaktionskosten zugewiesen. Tatsächlich bleibt es bei Voß et al offen, wie sich das Unterkriterium Transaktionskosten vom Kriterium der Praktikabilität unterscheidet. Auch unserer Meinung nach sollten die Punkte, die von Voß et al unter dem Kriterium der Praktikabilität abgearbeitet werden, dem Kriterium der Transaktionskosten zugewiesen werden. Damit können diese Punkte, für die Voß et al das eigenständige Kriterium Praktikabilität einführen, ebenfalls unter dem Kriterium ökonomische Effizienz betrachtet werden.

Bei einer genauen Betrachtung kann die Fülle von Kriterien, anhand derer Bräuer und Kühn sowie Voß et al die einzelnen Subventionsregime bewerten, auf die Kriterien der ökonomischen Effizienz und institutionellen Beherrschbarkeit komprimiert werden. Das letztere Kriterium stammt von Bräuer und Kühn und beschäftigt sich wie schon erwähnt unter anderem mit der politischen Durchsetzbarkeit. Auch das von Voß et al unter dem Kriterium der Systemkonformität eingeführte Unterkriterium Rechtskonformität wäre ebenfalls unter dem Kriterium institutionelle Beherrschbarkeit anzusiedeln.

Das Kriterium der institutionellen Beherrschbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt. Obwohl es sich hier zweifelsfrei um ein interessantes Themenfeld handelt, sind wir der Meinung, dass eine politikwissenschaftliche Arbeit

der bessere Rahmen für die Bearbeitung dieses Kriteriums ist. In unserer Arbeit werden wir unseren Fokus auf das Kriterium der ökonomischen Effizienz legen.

In Bezug auf die statische Effizienz wollen wir nun noch einen weiteren Dissens der beiden wissenschaftlichen Beiträge erwähnen, der bereits in der Vorstellung des Beitrags von Voß et al angeschnitten wurde. Für Voß et al sind Mitnahmeeffekte und Überförderungsaspekte bei der Behandlung der statischen Effizienz zentral. Mit ihrem Fokus auf der allokativen Effizienz und der Minimierung der Transaktionskosten versäumen es hingegen Bräuer und Kühn, Mitnahmeeffekte und Überförderungsaspekte in die Diskussion mit einzubeziehen. Wir schließen uns hier der Auffassung von Voß et al an. Auch wir halten Mitnahmeeffekte und Überförderungsaspekte für ein zentrales Problem, während wir das Problem der allokativen Effizienz aus den im Folgenden näher erläuterten Gründen für wenig relevant halten.

Schon Bräuer und Kühn äußerten, dass jedes der drei Subventionsgrundmodelle das Kriterium der allokativen Effizienz erfüllt. Wenn wir betrachten, wie Bräuer und Kühn die allokativen Effizienz definiert haben, so wird klar, dass nahezu jedes erdenkliche einheitliche Subventionregime dieses Kriterium erfüllen muss. Nach dieser Definition darf keine Option mehr bestehen, mit der regenerative Energie günstiger produziert werden kann als mit den genutzten technischen Optionen. Wäre diese Definition nicht erfüllt, so würde das bedeuten, dass eine Subvention Produzenten einen Anreiz verschafft, mit einer Technologie grünen Strom zu produzieren, die unter Kostenaspekten der Technologie anderer potentieller Produzenten unterlegen ist, bei denen die Subvention jedoch nicht ausreicht, um ihnen einen Anreiz zur Grünstromproduktion zu geben. Das wäre ökonomisch völlig unsinnig. Eine Subvention, die einen bestimmten Produzenten veranlasst, grünen Strom zu produzieren, wird normalerweise auch alle anderen Produzenten dazu veranlassen, die billiger produzieren können als dieser bestimmte Produzent.

In Bezug auf die beiden diskutierten wissenschaftlichen Beiträge zur Beurteilung von Subventionsregimen für erneuerbare Energie wollen wir abschlie-

ßend festhalten: In beiden Beiträgen existiert ein unübersichtliches Chaos von Förderzielen und Bewertungskriterien. Die Bewertungskriterien werden sehr unscharf gegeneinander abgegrenzt. Eventuelle Zielkonflikte sowie Zielharmonien sind sehr schwach herausgearbeitet. Die Festlegung der Zielhierarchien erscheint willkürlich. Außerdem herrscht keine einheitliche Meinung über geeignete Förderregime zur Zielerreichung. Gerade in diesem Punkt liefern die Beiträge schwammige und unzureichende Begründungen. Dies wiederum lässt die abgeleiteten Ergebnisse ebenfalls willkürlich erscheinen.

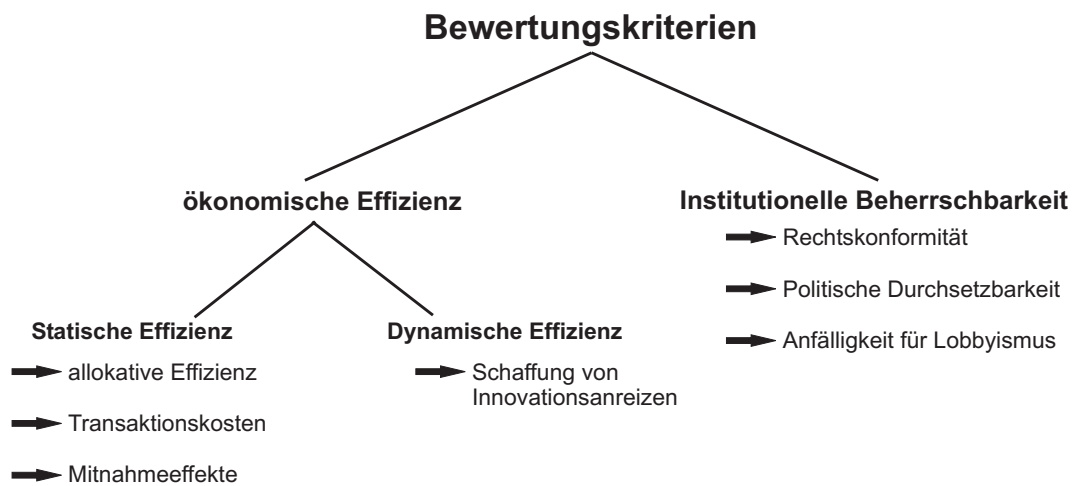


Abbildung 5.5: Kriterien zur Bewertung bestehender Subventionsregime

Abbildung 5.5 gibt nochmals einen Überblick über die von uns vorgenommene Kategorisierung der Bewertungskriterien. Wie bereits erwähnt wollen wir uns nur mit den Kriterien beschäftigen, die nach dem ersten linken Ast folgen, also nur mit den Kriterien der ökonomischen Effizienz. Es klang jedoch bereits an, dass wir nicht alle Kriterien der ökonomischen Effizienz bearbeiten wollen. Das Kriterium der allokativen Effizienz wird aus oben genannten Gründen nicht separat untersucht. Eine Untersuchung der Transaktionskosten wäre zu aufwendig. Hierzu wären detaillierte empirische Untersuchungen notwendig, die einem Praktiker, der über umfangreiche Erfahrungen bezüglich der Institutionen der

Energiewirtschaft verfügt, sicherlich leichter fallen. In unserer eher theoretischen Arbeit wollen wir ausschließlich die Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize, die in den einzelnen Subventionsgrundmodellen anfallen, untersuchen.

Als Benchmark sollen uns hierbei die Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize, die unter einer Einspeisevergütung anfallen, dienen. Dieses in der Bundesrepublik durch das erneuerbare Energie Gesetz implementierte Subventionsregime, wird im folgenden Kapitel detailliert auf diese beiden Kriterien hin untersucht. Außerdem untersuchen wir hier, welche Wirkung eine Inputsubventionierung, die zusätzlich zur Einspeisevergütung vergeben wird, auf Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize hat. Im Kapitel 7 analysieren wir dann die Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize, die unter den Ausschreibungs- und Quotenmodellen also den mengenregulierenden Subventionsregimen anfallen. Wir vergleichen in diesem Kapitel dann Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize der mengenregulierenden Subventionsregime mit den Mitnahmeeffekten und Innovationsanreizen der Einspeisevergütung. In Kapitel 8 untersuchen wir das Quotenmodell unter unvollständiger Information und betrachten dabei die Vorteilhaftigkeit dieses Subventionsregimes gegenüber der Einspeisevergütung in Bezug auf die exakte Mengensteuerung. Im letzten Kapitel erfolgt dann eine Zusammenfassung unserer Ergebnisse und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

Kapitel 6

Analyse der Einspeisevergütung

In diesem Kapitel werden wir die Einspeisevergütung auf Innovationsanreize und Mitnahmeeffekte analysieren. Die Einspeisevergütung ist ein sogenanntes preisregulierendes Subventionsregime. Der exogene Aktionsparameter des Regulators ist in diesem Subventionsregime der Preis. Er legt den Preis, zu dem die Grünstromproduzenten beim Netzbetreiber ihre Menge einspeisen dürfen, exogen fest. Die aggregierte Grünstrommenge wird sich dann endogen ergeben.

In diesem Kapitel und in Kapitel 7 treffen wir die Annahme der vollständigen Information. Der Regulator sowie der Netzbetreiber wissen über die Technologien der Grünstromproduzenten exakt Bescheid. Auch die Grünstromproduzenten kennen die Technologien all ihrer Mitkonkurrenten und können deshalb ihre Stellung, die sie im Wettbewerb einnehmen, exakt abschätzen.

Aufgrund der vollständigen Information, weiß auch der Regulator, welche Grünstrommenge er zu einem gegebenen Vergütungssatz erhalten wird. Diese Annahme ist sehr kritisch und unrealistisch. Wenn wir diese Annahme aufheben, dann wird die Einspeisevergütung unvorteilhafter, wenn wir mit der Subvention ein konkretes Produktionsziel verfolgen. Auf diesen Nachteil des Einspeisemodells werden wir in Kapitel 8 erneut eingehen.

6.1 Das Modell

Wir treffen in unserer Analyse die Annahme, dass ein Grünstromproduzent nur mit einem Faktor, nämlich mit dem Faktor Kapital produziert. Eine zusätzliche Einbeziehung des Faktors Arbeit würde lediglich den Analyseaufwand erhöhen, ohne jedoch zusätzliche Erkenntnisse zu erbringen. Es wird ferner angenommen, dass ein vermehrter Einsatz des Kapitals die Produktion an grünem Strom zwar erhöht, jedoch das Grenzprodukt des Kapitals mit einem vermehrten Kapitaleinsatz abnimmt. Diese Annahme begründet sich aus der heterogenen Verfügbarkeit von regenerativen Energiequellen an unterschiedlichen Standorten für Technologien, welche diese Energiequellen in Strom konvertieren. Bei einer Erzeugung von grünem Strom, so unsere Annahme, werden primär die Standorte genutzt, oder anders ausgedrückt das Kapital des Grünstromproduzenten zuerst an solchen Standorten investiert, an denen regenerative Energiequellen reichhaltig vorkommen und ohne großen technischen Aufwand nutzbar gemacht werden können. Wenn die besten Standorte der Grünstromproduktion ausgeschöpft sind und sukzessive immer schlechtere Standorte ausgewählt werden, dann wird mit zunehmendem Ausbau der regenerativen Energie die Produktivität einer investierten Kapitaleinheit fallen.

Sei $f(k)$ die Produktionsfunktion der Grünstromproduzenten, wobei k für die Menge des einzig und allein eingesetzten Produktionsfaktors Kapital steht, so müssen bei Erfüllung der oben diskutierten Annahmen die folgenden formalen Bedingungen erfüllt sein:

$$\frac{\partial f(k)}{\partial k} > 0 \text{ und } \frac{\partial^2 f(k)}{\partial k^2} < 0$$

Die folgende Wurzelfunktion erfüllt diese beiden Bedingungen und wird deshalb von uns als Produktionsfunktion bei der weiteren Bearbeitung der Analyse verwendet:

$$f(k) = A_i \cdot k_i^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

Hierbei steht A_i für die Produktivität der von Produzent i verwendeten Technologie zur regenerativen Stromgewinnung. Je höher der Wert ist, den dieses A_i annimmt, desto höher ist auch die Produktivität der von Produzent i verwendeten Technologie. Die Variable k_i repräsentiert den vom Produzenten i erbrachten Kapitaleinsatz. Wir nehmen an, dass n Grünstromproduzenten existieren. Der Index i kann also eine natürliche Zahl zwischen 1 und n annehmen.

Sei p der Preis pro erzeugter Einheit grünen Stromes und seien r die Kosten pro investierter Einheit Kapital, dann ist der Gewinn π eines Grünstromproduzenten i durch folgende Gleichung gegeben:

$$\pi_i = pA_ik_i^{\frac{1}{2}} - rk_i \quad (6.2)$$

Bei der Einspeisevergütung ist dabei der Preis p vom Staat exogen vorgegeben. Gegeben diesen Preis und die Produktivität seiner Technologie, wird ein Grünstromproduzent nun seinen Kapitaleinsatz so wählen, dass der in Gleichung (6.2) gegebene Gewinn maximiert wird.

6.2 Mitnahmeeffekte bei Gewährung einer Einspeisevergütung

Die Gewinnfunktion des Grünstromproduzenten in Gleichung (6.2) ist konkav in k_i . Das k_i , das die Bedingung erster Ordnung erfüllt, maximiert also den Gewinn des Produzenten. Dieser gewinnmaximierende Kapitalbetrag ist derjenige, den ein Produzent in seine Technologie investieren wird. Die Bedingung erster Ordnung lautet:

$$\frac{\partial \pi}{\partial k_i} = \frac{pA_i}{k_i^{\frac{1}{2}}} - r = 0$$

Lösen wir diese Gleichung nach k_i auf, um den optimalen Kapitaleinsatz k_i^* des Produzenten zu ermitteln, so erhalten wir:

$$k_i^* = \left(\frac{pA_i}{2r} \right)^2 \quad (6.3)$$

Die Menge q_i die von jedem Produzenten angeboten wird, erhalten wir, wenn wir das optimale Kapital in die Produktionsfunktion einsetzen:

$$q_i = \frac{A_i^2 p}{2r} \quad (6.4)$$

Jeder Grünstromproduzent bietet dabei so an, dass seine Grenzkosten gerade so hoch sind wie der exogen vorgegebene Preis. Aufgrund der Produktionsfunktion in Gleichung (6.1) wissen wir, dass die Kosten eines Produzenten durch folgenden Term gegeben sind:

$$rk_i = r \left(\frac{q_i}{A_i} \right)^2 \quad (6.5)$$

Leiten wir die Kosten nach der Gütermenge q_i ab, so erhalten wir die folgenden Grenzkosten:

$$\frac{\partial rk_i}{\partial q_i} = \frac{2rq_i}{A_i^2} \quad (6.6)$$

Setzen wir diese Grenzkosten gleich dem Preis p und lösen wir dann nach q_i auf, so erhalten wir das optimale, gewinnmaximierende Angebot aus Gleichung (6.4).

Nehmen wir nun an, der Regulator möchte den Preis so setzen, dass die Grünstromproduktion ein Niveau in Höhe von Q erreicht. Die Summe der Produktionsmengen aller Grünstromproduzenten muss also gerade so groß sein, wie das vom Regulator angestrebte Produktionsniveau:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Setzen wir $i = j$ und übernehmen wir für q_j den Wert aus Gleichung (6.4), so erhalten wir:

$$Q = \frac{p \sum_{j=1}^n A_j^2}{2r} \quad (6.7)$$

Lösen wir Gleichung (6.7) nach p auf, so erhalten wir den Preis, den der Regulator im Rahmen einer Einspeisevergütung setzen muss, um ein Produktionsniveau in Höhe von Q erzielen zu können:

$$p = \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (6.8)$$

Setzen wir diesen Preis in die Gleichung (6.4), so erhalten wir für die Produktionsmenge eines gegebenen Produzenten i den Wert:

$$q_i = \frac{A_i^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (6.9)$$

Gegeben ein vom Regulator angestrebtes Produktionsniveau an Grünstrom in Höhe von Q , definieren die Gleichungen (6.8) und (6.9) das Gleichgewicht auf dem Markt für grünen Strom bei Gewährung einer Einspeisevergütung.

Ersetzen wir die in Gleichung (6.2) enthaltene Produktionsfunktion mit q_i und die Kosten in selbiger Gleichung mit dem Ausdruck aus Gleichung (6.5), so können wir den Gewinn π_i eines Produzenten i auch folgendermaßen ausdrücken:

$$\pi_i = pq_i - r \left(\frac{q_i}{A_i} \right)^2 \quad (6.10)$$

Setzen wir in diese Gleichung den gleichgewichtigen Preis und die gleichgewichtige Menge aus (6.8) und (6.9), dann erhalten wir den Gewinn π_i eines Produzenten i in Abhängigkeit des vom Regulators gewünschten Produktionsniveaus Q :

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j \right)^2} \quad (6.11)$$

Dies ist der Gewinn, den ein Grünstromproduzent unter der Gewährung einer Einspeisevergütung und unter einem aggregierten Produktionsniveau der Höhe Q realisieren wird.

Generell treffen wir in unseren Analysen die Annahme, dass der Preis der konventionellen Energie null beträgt. Das bedeutet, dass die Grünstromproduzenten keinen Ertrag erzielen würden, wenn sie gezwungen wären, ihren Strom unter Marktbedingungen zu veräußern. Deshalb werden sie, wenn die Produktion des grünen Stroms Kosten verursacht, die Produktion unterlassen, solange sie keine Subventionen erhalten.

Erzielt ein Produzent jedoch aufgrund der Förderung einen Gewinn, so könnte man die Förderung um diesen Betrag kürzen, ohne dass der Produzent von der Produktion absehen würde. Es wird also eine Handlung gefördert die ein Produzent auch mit weniger Subventionen durchgeführt hätte. Damit sind die

Gewinne aus Gleichung (6.11), welche die Unternehmer unter der Subvention erzielen, Mitnahmegewinne.

Die Annahme, dass der Preis für konventionell erzeugten Strom null beträgt, impliziert, dass die Produktion des konventionellen Stroms keine Kosten verursacht. Wir nehmen also hier implizit an, dass der konventionelle Strom in der Herstellung kostenlos ist. Damit können wir die Kosten, die in unserem Modell bei der Produktion der erneuerbaren Energie anfallen, als Mehrkosten im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung interpretieren.

Indem wir den Preis des konventionellen Stroms auf null normieren, setzen wir für den grünen Strom ein Referenzlevel, das uns die Bestimmung der Mitnahmeeffekte erheblich erleichtert. Wir könnten hier auch einen positiven Preis annehmen und die Produktionsfunktionen der konventionellen und der erneuerbaren Energie so spezifizieren, dass die erneuerbare Energie in der Produktion immer teurer ist. Der analytische Aufwand wäre bei dieser Vorgehensweise größer, ohne dass eine solche Analyse zu einem zusätzlichen Erkenntnisgewinn führen würde.

6.3 Mitnahmeeffekte bei zusätzlicher Inputsubventionierung

In diesem Abschnitt untersuchen wir, welche Auswirkungen auf die Mitnahmeeffekte es hat, wenn zusätzlich zur Förderung über die Einspeisevergütung noch so genannte Inputsubventionen in Form von Investitionszuschüssen oder verbilligten Krediten vergeben werden. Die Wirkung dieser beiden Formen der Inputsubventionierung ist in einem ökonomischen Sinne jeweils die selbe. Die Kapitalkosten, die wir in unserem Modell mit r bezeichnet haben, werden sowohl im Rahmen von verbilligten Krediten als auch bei Investitionszuschüssen gesenkt.

Nehmen wir an, der Anteil des Investitionszuschusses an der Gesamtinvestition, den der Staat gewährt, beträgt δ . Bei einem gegebenen Investitionsniveau

k beträgt die Subvention des Staates δk . Die Kapitalkosten bestehend aus Abschreibung und Verzinsung betragen nun nicht mehr r sondern $(1 - \delta)r$.

Den selben Effekt kann der Staat über die Vergabe der verbilligten Kredite erreichen. Vergibt der Staat Kredite zu einem Zins von $(1 - \delta)r$ obwohl der marktübliche Zins r beträgt, so werden die Kapitalkosten des Grünstromproduzenten von r auf $(1 - \delta)r$ gesenkt, wenn man von Kapitalabschreibungen absieht. Fallen Kapitalabschreibungen an, so muss der Kredit zu günstigeren Konditionen erteilt werden, um eine Senkung der Kapitalkosten auf $(1 - \delta)r$ zu erreichen.

Die Frage nach der Wirkung einer solchen Kapitalsubvention, die zusätzlich zu einem Subventionsgrundmodell vergeben wird, ist von besonderem wirtschafts- und finanzpolitischen Interesse. Die Bundesregierung plant nämlich, bestehende Programme zur Finanzierung von Technologien zur Erzeugung von erneuerbaren Energien über verbilligte Kredite abzuschaffen und dafür im Gegenzug den Vergütungssatz der Grünstromeinspeisung zu erhöhen¹. Mit dieser Maßnahme beabsichtigt die Regierung den Bundeshaushalt zu entlasten. Während die Kosten der Einspeisevergütung von den Energiekonzernen voll auf die Endverbraucher umgelegt werden und somit diese letztlich für die Subventionierung aufkommen, belasten die Finanzierungsprogramme den Bundeshaushalt.

In Gleichung (6.11) fällt auf, dass die Produzentengewinne und damit die Mitnahmeeffekte in den Kapitalkosten r steigen. Diese Feststellung scheint zunächst gegen die ökonomische Intuition zu sprechen. Warum sollte ein Produzent höhere Gewinne verbuchen, wenn seine Kapitalkosten steigen? Diesen Effekt wollen wir nun etwas genauer betrachten.

Es ist klar, dass höhere Kapitalkosten *ceteris paribus* das Angebot an Grünstrom drücken werden. Um ein gewünschtes Mengenziel zu realisieren muss im Einspeisemodell den Produzenten ein höherer Preis geboten werden. Um die Gewinnsteigerungen bei erhöhten Kapitalkosten zu verstehen werden wir das Ausmaß dieser

¹Diese Informationen haben wir bei einem Gespräch mit der Kreditanstalt für Wiederaufbau erhalten

notwendigen Preisanhebung im folgenden genauer untersuchen.

Die Produzenten bieten zu Grenzkosten an. Das bedeutet, dass die zuletzt eingesetzte Einheit Kapital gerade ihre Kosten erwirtschaftet. Das Wertgrenzprodukt des Kapitals $p \cdot f(k)'$ muss also gleich den Kapitalkosten sein. Die physische Menge an Strom, welche die zuletzt eingesetzte Einheit Kapital erwirtschaftet, wird sich bei Erfüllung des Mengenziels trotz gestiegener Kapitalkosten nicht verändern. Das Grenzprodukt des Kapitals bleibt also konstant. Dies liegt daran, dass bei Erfüllung des Mengenziels die Stromproduzenten vor- und nach der Erhöhung der Kapitalkosten denselben Produktionsplan erfüllen, oder anders ausgedrückt, denselben Kapitaleinsatz erbringen müssen, um die selbe Strommenge produzieren zu können.

Stellen wir uns nun *ceteris paribus* eine Verdoppelung der Kapitalkosten vor. Damit das Mengenziel erfüllt bleibt, muss der Strompreis so steigen, dass die zuletzt eingesetzte Einheit Kapital wiederum gerade ihre Kosten erwirtschaftet und die Stromproduzenten somit keine Veränderungen in ihrem Produktionsplan vornehmen. Das Wertgrenzprodukt, bestehend aus dem Produkt von Strompreis und Grenzprodukt, muss sich also ebenfalls verdoppeln. Bei konstantem Grenzprodukt ist dies jedoch nur möglich, wenn sich auch der Strompreis verdoppelt. Verdoppeln sich jedoch Preis und Kosten gleichermaßen, so muss sich auch der Gewinn der Stromproduzenten verdoppeln.

Diese Beobachtung lässt nun eine Schlussfolgerung bezüglich der Wirkung einer Kombination von Einspeisemodellen mit Inputsubventionen auf die Mitnahmeeffekte zu. Nehmen wir an, wir gewähren dem Grünstromproduzenten zusätzlich zur Förderung durch ein Einspeisemodell einen Investitionskostenzuschuss. Der Subventionssatz dieses Zuschusses soll δ betragen. Die Kapitalkosten des Grünstromproduzenten betragen dann nicht mehr r sondern $(1 - \delta)r$. Unter der Erfüllung des Mengenziels wird der Grünstromproduzent damit nur noch einen Gewinn in Höhe von

$$\pi_i = \frac{(1 - \delta)rQ^2A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2} \quad (6.12)$$

erzielen.

Der Mitnahmeeffekt würde damit sinken. Durch eine zusätzliche Inputsubvention wird also der Mitnahmeeffekt verringert. Unter einem extremen Subventionsatz von 100% würde der Mitnahmeeffekt völlig verschwinden. Allerdings würde in diesem Fall der Unternehmer völlig auf Rechnung des Regulators agieren. Damit würden auch alle unternehmerischen Anreize des Produzenten verschwinden. Er wäre beispielsweise nicht mehr daran interessiert die besten Standorte für seine Technologie auszuwählen oder Arbeitsprozesse effizient zu gestalten. Auch hätte der Produzent, wie wir noch sehen werden, keinerlei Anreize mehr, eine Innovation durchzuführen. Solch ein extremer Subventionsatz wäre also nicht sinnvoll, obwohl er die hier betrachteten Mitnahmeeffekte auf ein Minimum reduzieren würde.

6.4 Innovationsanreize im Einspeisemodell

Wir werden in diesem Abschnitt untersuchen, welchen Gewinnzuwachs ein Produzent unter der Einspeisevergütung durch eine Verbesserung seiner Technologie realisiert. Der Gewinnzuwachs bei gegebener Produktivitätsverbesserung dient uns als Maß der Innovationsanreize eines Subventionsregimes. Wir unterscheiden hierbei zwischen einem marginalen Innovationsanreiz und einem absoluten Innovationsanreiz. Der marginale Innovationsanreiz ist der Gewinnzuwachs aus einer marginal kleinen Produktivitätsverbesserung. Der absolute Innovationsanreiz ist der Gewinnzuwachs aus einem Produktivitätssprung.

Wenn wir in späteren Kapiteln die Innovationsanreize der Einspeisevergütung mit denen der Quoten- und Ausschreibungsmodelle vergleichen, dann ist es je nach Fragestellung manchmal einfacher die marginalen Innovationsanreize und

manchmal auch einfacher die absoluten Innovationsanreize zu untersuchen. Aus diesem Grund betrachten wir nun hier für die Einspeisevergütung beide Konzeptionen. In beiden Fällen nehmen wir einen duopolistischen Wettbewerb an.

Des Weiteren untersuchen wir in diesem Abschnitt die Auswirkungen einer Innovation auf die aggregierte Grünstrommenge. Auch betrachten wir die Auswirkung einer Absenkung der Vergütungssätze sowie die Auswirkung einer zusätzlichen Kapitalsubvention auf die Innovationsanreize.

6.4.1 Der marginale Innovationsanreiz

Unter der Einspeisevergütung ist die angebotene Menge eines Produzenten durch Gleichung (6.4) gegeben:

$$q_i = \frac{A_i^2 p}{2r}$$

Setzen wir diesen Ausdruck in die Gewinnfunktion (6.10) eines Produzenten i , dann können wir den Gewinn eines Produzenten i zu folgendem Ausdruck umformen:

$$\pi_i = \frac{A_i^2 p^2}{4r} \tag{6.13}$$

Der Preis ist unter einer Einspeisevergütung durch Gleichung (6.8) gegeben. Im Duopolfall nimmt dieser Ausdruck den folgenden Wert an:

$$p = \frac{2rQ}{A_1^2 + A_2^2} \tag{6.14}$$

Die Produktivitäten beider Produzenten stehen in diesem Ausdruck im Nenner. Die Produktivität A_i eines Produzenten i beeinflusst damit den Preis unter einer

Einspeisevergütung. Dennoch wird eine Veränderung der Produktivität A_i eines Produzenten i den Preis unter einer Einspeisevergütung nicht beeinflussen. Dieser Preis wird nämlich vom Regulator exogen vorgegeben. Dabei beachtet dieser die Produktivitäten aller Produzenten und setzt den Preis so, dass von allen Produzenten ein Produktionsniveau in Höhe von Q produziert wird. Die Produktivität der Produzenten beeinflusst den Preis damit nur zu dem Zeitpunkt, an dem er vom Regulator festgesetzt wird. Danach, so wollen wir annehmen, ist der Preis dann fix. Eine Erhöhung der Produktivität A_i durch den Produzenten i verändert den Preis also nicht mehr. Bleibt der Preis bei einer Erhöhung der Produktivität fix, so wird sich das akkumulierte Produktionsniveau Q ausdehnen.

Die Produktivitäten, die den Vergütungssatz in Gleichung (6.14) determinieren, und die Produktivitäten, welche die angebotene Menge in Gleichung (6.4) sowie den Gewinn in Gleichung (6.13) determinieren, unterscheiden sich damit grundlegend. Der Preis nämlich, den der Regulator im Rahmen der Einspeisevergütung für den grünen Strom bezahlen wird, wird von der Produktivität beeinflusst, die zum Zeitpunkt der Preisfestlegung durch den Regulator vorherrscht. Falls der Produzent seit Festsetzung des Preises durch Innovationen die Produktivität seiner Technologie verbessern konnte, wird die momentane Produktivität höher sein, als die ursprünglich bei Preisfestsetzung vorherrschende Produktivität. Nur falls es seit der Preisfestsetzung keinerlei Produktivitätssprünge gab, ist die momentane Produktivität die gleiche wie die ursprüngliche.

Wir nehmen nun an, dass der Regulator zu dem Zeitpunkt, zu dem er den Vergütungssatz wählt, für jeden Produzent i die Produktivitäten \bar{A}_i beobachtet und entsprechend dieser ursprünglichen Produktivitäten den Vergütungssatz so wählt, dass das Mengenziel in Höhe von Q erfüllt wird. Die momentanen Produktivitäten der Produzenten sind nun die Produktivitäten, die zu einem beliebigen Zeitpunkt nach der Festlegung des Vergütungssatzes vorherrschen. Diese Produktivität eines Produzenten i , wollen wir weiterhin A_i nennen. Hierbei berücksichtigen wir, dass

$$A_i \geq \bar{A}_i$$

gelten muss. Da der Preis aus Gleichung (6.14) von den ursprünglichen Produktivitäten \bar{A}_i abhängt, schreiben wir:

$$p = \frac{2rQ}{\bar{A}_1 + \bar{A}_2} \quad (6.15)$$

Wir werden nun bei der Untersuchung des Gewinnzuwachses aufgrund von Produktivitätssteigerungen diesen Preis konstant halten. Wir leiten deshalb zunächst den Gewinn aus Gleichung (6.13) nach A_i ab:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{A_i p^2}{2r} \quad (6.16)$$

Ersetzen wir in diesem Ausdruck den Preis durch den Ausdruck aus Gleichung (6.15), dann erhalten wir:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2r A_i Q^2}{(\bar{A}_1 + \bar{A}_2)^2} \quad (6.17)$$

Dieser Ausdruck ist der Gewinnzuwachs, den eine marginale Steigerung der Produktivität nach sich zieht. Wir nennen ihn den marginalen Innovationsanreiz eines Duopolisten unter der Einspeisevergütung.

6.4.2 Der absolute Innovationsanreiz

In Gleichung (6.13) ist der Gewinn eines Duopolisten i im Rahmen einer Einspeisevergütung wie folgt gegeben:

$$\pi_i = \frac{A_i^2 p^2}{4r}$$

Nehmen wir nun an, der Duopolist kann nach der Festsetzung des Vergütungssatzes, durch eine Innovation die Produktivität seiner Technologie von \bar{A}_i auf \hat{A}_i erhöhen. Der Gewinn, den er aus dieser Innovation realisiert, lässt sich dann folgendermaßen ausdrücken:

$$\begin{aligned} & \frac{\hat{A}_i^2 p^2}{4r} - \frac{\bar{A}_i^2 p^2}{4r} \\ &= \frac{p^2}{4r} \cdot (\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2) \end{aligned} \quad (6.18)$$

Den Preis p in Gleichung (6.18) können wir aus Gleichung (6.15) entnehmen:

$$p = \frac{2rQ}{\bar{A}_i + \bar{A}_{-i}} \quad (6.19)$$

Setzen wir diesen Preis in Gleichung (6.18) ein, so erhalten wir für den Gewinn, den ein Produzent i bei einer Innovation unter der Einspeisevergütung realisiert, den folgenden Wert:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\bar{A}_i + \bar{A}_{-i})^2} \quad (6.20)$$

Dies ist der Gewinnzuwachs aus einem Produktivitätssprung von \bar{A}_i auf \hat{A}_i oder, wie wir es nennen werden, der absolute Innovationsanreiz unter einer Einspeisevergütung.

6.4.3 Mengenausdehnung in Folge der Innovation

Es klang bereits an, dass sich unter der Einspeisevergütung die aggregierte Grünstrommenge durch die Innovation ausdehnen wird. Wir werden nun untersuchen, auf welches neue Niveau sich die Produktionsmenge einpendeln wird, wenn die beiden Produzenten eine Innovation durchführen.

Wir wollen wieder annehmen, Produzent 1 erhöht seine Produktivität von \bar{A}_1 auf \hat{A}_1 und Produzent 2 erhöht seine Produktivität von \bar{A}_2 auf \hat{A}_2 . Die aggregierte Strommenge, die sich unter der Einspeisevergütung nach dieser Produktivitätsverbesserung einstellt, nennen wir \hat{Q} . Da der Preis p unter der Einspeisevergütung immer konstant bleibt, können wir aus Gleichung (6.14) den folgenden Zusammenhang herleiten:

$$p = \frac{2rQ}{\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2} = \frac{2r\hat{Q}}{\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2} \quad (6.21)$$

Zwischen der aggregierten Strommenge vor und nach der Innovation, besteht also der folgende Zusammenhang:

$$Q = \hat{Q} \cdot \frac{\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2}{\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2} \quad (6.22)$$

Setzen wir (6.22) in (6.17) und setzen wir für \hat{A}_i ein beliebiges $A_i \geq \bar{A}_i$ ein, so können wir den marginalen Innovationsanreiz eines Produzenten $i \in \{1, 2\}$ unter der Einspeisevergütung auch in Abhängigkeit der neuen aggregierten Grünstrommenge ausdrücken:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2rA_i\hat{Q}^2}{(A_1^2 + A_2^2)^2} \quad (6.23)$$

Die Mitnahmeeffekte steigen tendenziell im Zuge einer Innovation um so stärker, je größer der Innovationsanreiz eines Produzenten ist. Dieser Zusammenhang zwischen Innovationsanreizen und Mitnahmeeffekten ist sehr einleuchtend. Je höher die Gewinne sind, die sich ein Produzent aus einer Innovation verspricht, desto größer ist auch sein Anreiz zur Innovation und desto stärker werden die Mitnahmeeffekte in Folge einer Innovation ansteigen. Es besteht also ein gewisser Zielkonflikt zwischen der Minimierung der Mitnahmeeffekte und der Schaffung von Innovationsanreizen.

Wenn sich die aggregierte Grünstrommenge in Folge der Innovation ausdehnt und dabei der Vergütungssatz konstant gehalten wird, dann steigen die Mitnahmeeffekte stärker als bei konstanter Grünstrommenge. Die Einspeisevergütung wirkt also hier ungünstig in Bezug auf die Mitnahmeeffekte und zum Vorteil des Kriteriums der Innovationsanreize. Es ist denkbar, dass die Mengenausdehnung in Folge der Innovation durch eine Absenkung der Vergütungssätze eingedämmt wird. Wir wollen im nächsten Abschnitt untersuchen, welchen Einfluss eine solche Absenkung auf die Innovationsanreize hat.

6.4.4 Innovationsanreiz bei Absenkung des Vergütungssatzes

Auswirkungen auf den marginalen Innovationsanreiz

Der Regulator könnte im Einspeisemodell die aggregierte Strommenge konstant halten, wenn er den Vergütungssatz nach einer Innovation entsprechend absenken würde. Solange die Produzenten diese Absenkung nicht antizipieren, wird sie keinen Einfluss auf ihr Innovationsverhalten haben. Jedoch wird ihr Innovationsanreiz gemindert, wenn sie sich bewusst sind, dass eine Innovation eine Minderung des Vergütungssatzes zur Folge haben wird.

Wir wollen nun den Innovationsanreiz der Produzenten ermitteln, wenn der Regulator durch eine Anpassung des Vergütungssatzes die aggregierte Grünstrom-

menge jederzeit konstant hält und die Produzenten dies antizipieren können. Jeder Produzent soll sich also genau bewusst sein, dass eine Innovation den Vergütungssatz des Einspeisemodells senken wird. Außerdem soll er auch noch das exakte Ausmaß dieser Absenkung kennen.

Diese Annahme ist zugegebenermaßen sehr extrem. Jedoch wäre es ebenso extrem anzunehmen, der Regulator könne in Folge einer Innovation den Preis ständig nach unten anpassen, ohne dass dies von den Produzenten zur Kenntnis genommen wird. Sie werden wohl früher oder später merken, dass ihre Innovationstätigkeit einen Einfluss auf den Vergütungssatz hat und diese Kenntnis dann eben doch in irgendeiner Weise in ihre Innovationsentscheidung mit einfließen lassen. Die Art, wie die Produzenten die Preisanpassung antizipieren, wird also vermutlich zwischen den beiden extremen der totalen Unkenntnis und der absoluten Gewissheit über die Preisanpassung liegen.

Die Innovationsanreize der Einspeisevergütung unter einer konstanten aggregierten Strommenge errechnen wir wieder mittels Gleichung (6.13), die uns die Gewinne des Unternehmers i in Abhängigkeit des vorherrschenden Vergütungssatzes p wiedergibt:

$$\pi_i = \frac{A_i^2 p^2}{4r}$$

Den Preis p in dieser Gleichung entnehmen wir aus Gleichung (6.14), die uns sagt, welchen Vergütungssatz der Regulator zu einer gewünschten, aggregierten Grünstrommenge wählen muss. Der Preis wird nun vom Regulator in Folge von Produktivitätsverbesserungen so angepasst, dass die aggregierte Menge konstant bleibt. Es werden aus diesem Grund nun nicht mehr die ursprünglichen Produktivitäten \bar{A}_i sein, welche diesen Preis determinieren, sondern die tatsächlichen, momentanen Produktivitäten A_i :

$$p = \frac{2rQ}{A_1^2 + A_2^2}$$

Da nun der Regulator bei einer Innovation den Preis senkt, sodass die aggregierte Strommenge konstant bleibt, und ein Produzent dies antizipiert, ist sich ein Produzent bewusst, dass er mit einer Innovation den Preis, den der Regulator bezahlt, beeinflusst. Weil der Preis nun bei einer Innovation nicht konstant bleibt, kann man den marginalen Innovationsanreiz eines Produzenten aus Gleichung (6.13) nicht mehr direkt ermitteln.

Erinnern wir uns: Wir leiteten den Gewinn aus Gleichung (6.13) nach der momentanen Produktivität A_i eines Produzenten i ab, um so den Gewinnzuwachs einer marginalen Produktivitätsverbesserung zu ermitteln. Danach setzten wir den Preis in die Ableitung ein. Auf diese Weise hielten wir den Preis konstant.

Nun nehmen wir jedoch an, dass der Regulator den Preis nach erfolgter Innovation anpasst und der Produzent darüber Kenntnis besitzt. Deshalb setzen wir zunächst den Preis in den Gewinn ein und erhalten dann:

$$\pi_i = \frac{rA_i^2Q^2}{(A_1^2 + A_2^2)^2} \quad (6.24)$$

Ermitteln wir nun aus dieser Gleichung den marginalen Innovationsanreiz, so erhalten wir:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2rA_iQ^2(A_{-i}^2 - A_i^2)}{A_1^2 + A_2^2} \quad (6.25)$$

Bei dieser Vorgehensweise haben wir die Preisanpassung des Regulators voll berücksichtigt. Weil wir den Preis in Abhängigkeit der Produktivität vor der Ableitung in die Gewinnfunktion einsetzen, leiten wir implizit diesen Preis ebenfalls nach der Produktivität ab.

Aus dem marginalen Innovationsanreiz aus Gleichung (6.25) ersehen wir, dass ein Produzent i nur dann einen positiven Gewinn aus einer Produktivitätssteigerung zieht, wenn er derjenige der beiden Produzenten ist, der die kleinere Produktivität hat. Sobald seine Produktivität größer ist als die seines Mitkonkurrenten, wird der Zähler wegen $A_{-i}^2 - A_i^2 < 0$ negativ. Da der Nenner immer positiv sein muss, wird unter $A_{-i}^2 < A_i^2$ der gesamte Ausdruck in Gleichung (6.25) negativ.

Es ist damit klar, dass der Produzent mit der größeren Produktivität nie ein Interesse an einer Innovation haben wird. Wenn überhaupt ein Produzent für eine Innovation in Frage kommt, dann ist es der Produzent mit der kleineren Produktivität. Dessen Anreiz, die Innovation auch tatsächlich durchzuführen, hängt davon ab, wie stark sich die Produktivität seiner Technologie von der des Mitkonkurrenten unterscheidet. Besteht hier eine sehr große Diskrepanz, dann ist der Anreiz zur Innovation für den Produzenten mit der geringeren Produktivität sehr groß.

Haben die Produzenten identische Produktivitäten, so wird keiner der beiden eine Innovationsanstrengung unternehmen. Bei identischen Produktivitäten ist der marginale Innovationsanreiz für beide Produzenten gleich null. Das heißt, eine marginale Steigerung der Produktivität erbringt keinen zusätzlichen Gewinn. Bei einer Steigerung der Produktivität jedoch, die über eine marginale Steigerung hinausgeht, wird der innovative Produzent aufgrund des absinkenden Preises sogar Verluste realisieren. Bei identischen Produktivitäten beider Produzenten wird also die Innovationstätigkeit stagnieren.

Nehmen wir nun an, beide Produzenten starten mit unterschiedlichen Produktivitäten. Der Produzent mit der kleineren Produktivität wird nun höchstens so lange seine Produktivität verbessern, bis er mit seinem Konkurrenten gleichgezogen hat. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wird er seine Innovationstätigkeit einstellen. Jedoch nur wenn die Innovation für diesen Produzenten kostenlos ist, wird er die Innovation so lange betreiben, bis er seinen Konkurrenten eingeholt hat. Bereitet ihm die Innovation Kosten, dann wird er, bevor er seinen Kon-

kurrenten eingeholt hat, einen Punkt erreichen, an dem der zusätzliche Gewinn aus der Produktivitätssteigerung die Kosten dieser Steigerung nicht mehr aufwiegt. In diesem Fall wird die Innovationstätigkeit schon stagnieren, bevor die Produktivitäten der Produzenten einen Gleichstand erreicht haben.

Hier wird nun der Trade-off zwischen geringen Mitnahmeeffekten und hohen Innovationsanreizen sehr deutlich. Beabsichtigt der Regulator die Preise nach einer Innovation so anzupassen, dass die aggregierte Grünstrommenge konstant bleibt, um so die Mitnahmeeffekte im Zaum zu halten, dann kann das zu einer völligen Stagnation der Innovationsanreize führen.

Eine Entschärfung dieses Zielkonflikts könnte durch Einspeisevergütungen mit degressiv sinkenden Vergütungssätzen herbeigeführt werden. Derart ausgestaltete Vergütungssätze sind in der Wirklichkeit ja auch häufig zu finden. Hier werden die Vergütungssätze nicht in Folge einer Innovation abgesenkt, sondern die Absenkung wird von vornherein verbindlich festgelegt. Wir sehen aus Gleichung (6.13), dass die Gewinne und damit die Mitnahmeeffekte sinken, wenn die Vergütungssätze gesenkt werden. Allerdings sinken hier auch die Gewinnzuwächse bei einer gegebenen Produktivitätsverbesserung und damit letztlich die Innovationsanreize. Der Zielkonflikt zwischen Innovationsanreizen und Mitnahmeeffekten bleibt also auch hier grundsätzlich bestehen. Jedoch werden nun die Innovationsanreize bei einer gegebenen Senkung der Mitnahmeeffekte sehr viel weniger stark gesenkt, als wenn die Senkung permanent in Folge einer Innovation durchgeführt wird und die Grünstromproduzenten dies antizipieren können.

Bräuer und Kühn sowie auch Voß et al behaupten, Einspeisevergütungen mit degressivem Vergütungssatz erhöhen durch einen erhöhten Kostendruck den Innovationsanreiz. Wir kommen hier zu dem Ergebnis, dass diese Ausgestaltung einer Einspeisevergütung zwar die Mitnahmeeffekte senkt, mit den Mitnahmeeffekten jedoch auch die Innovationsanreize. Ein Argument warum Bräuer und Kühn sowie von Voß et al doch recht haben könnten, wären sunk-costs in der Regenerativen-Energieindustrie in Verbindung mit einer drohenden Marktverdrängung aufgrund

eines Kostendrucks bei unterlassener Innovation. So detailliert argumentieren sie jedoch nicht. Vielleicht ist es so, dass der Regulator mit solcherart ausgestalteten Einspeisevergütungen intuitiv eine Möglichkeit nutzt, den beschriebenen Zielkonflikt zu entschärfen und die Wissenschaft in dieser Frage mit ihrer Erklärung der Praxis noch hinterher hinkt.

Ein Nachteil von Einspeisemodellen mit sinkenden Vergütungssätzen könnte allerdings in der Unfähigkeit des Regulators liegen, die Innovationskraft der Grünstromproduzenten exakt abzuschätzen. Überschätzt der Regulator beispielsweise die Innovationskraft der Grünstromproduzenten und senkt deshalb den Vergütungssatz zu rasch und in zu hohem Maße ab, dann wird eine Kontraktion der aggregierten Grünstrommenge die Folge sein.

Auswirkungen auf den absoluten Innovationsanreiz

Betrachten wir nun noch die Auswirkungen auf den absoluten Innovationsanreiz, falls der Regulator den Vergütungssatz so anpasst, dass die Grünstrommenge konstant bleibt und die Grünstromproduzenten diese Anpassung antizipieren werden. Wieder wollen wir annehmen, dass ein Produzent im Zuge einer Innovation seine Produktivität von \bar{A}_i auf \hat{A}_i erhöht.

Der Preis, falls keiner der beiden Produzenten die Innovation durchführen wird, ist nach wie vor durch Gleichung (6.19) gegeben. Nehmen wir nun an, ein Produzent i führt die Innovation durch, während sein Mitkonkurrent auf die Innovation verzichtet. In diesem Fall wird der Preis unter der Einspeisevergütung vom Regulator wie folgt angepasst:

$$\hat{p} = \frac{2rQ}{\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2} \quad (6.26)$$

Der Gewinn, den ein Produzent i nun aus der Innovation realisiert, ergibt sich wie folgt:

$$\frac{\hat{A}_i^2 \hat{p}^2}{4r} - \frac{\bar{A}_i^2 \bar{p}^2}{4r} \quad (6.27)$$

Setzen wir in diese Gleichung die entsprechenden Preise aus den Gleichungen (6.19) und (6.26) ein, so erhalten wir für den Gewinn, den ein Produzent i aus einer Innovation unter einer Einspeisevergütung mit Preisanpassung realisiert, nach einigen algebraischen Umformungen den folgenden Ausdruck:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 (\bar{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2 (\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2} \quad (6.28)$$

Dies ist der absolute Innovationsanreiz eines Produzenten, wenn sein Mitkonkurrent die Innovation nicht durchführen wird.

Auch aus (6.28) kann man ersehen, dass identische Produktivitäten der beiden Produzenten zu einer Stagnation der Innovationstätigkeit führen werden. Nehmen wir an, beide Produzenten verfügen über eine identische Produktivität \bar{A} . Nehmen wir außerdem an, der i hätte die Gelegenheit, seine Produktivität auf \hat{A} zu erhöhen. Der Innovationsanreiz in (6.28) kann nun folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$rQ^2 \cdot \frac{2\hat{A}^2 \bar{A}^4 - \bar{A}^2 (\hat{A}^4 + \bar{A}^4)}{(\hat{A}^2 + \bar{A}^2)^2 (\bar{A}^2 + \bar{A}^2)^2}$$

Der Zähler dieses Ausdrucks, kann sehr leicht zu folgendem Ausdruck umgeformt werden:

$$-\bar{A}^2 (\hat{A}^2 - \bar{A}^2)^2$$

Wir sehen also, der absolute Innovationsanreiz ist bei identischen Produktivitäten negativ, wenn der Vergütungssatz in Folge der Innovation, so abgesenkt wird, dass die aggregierte Grünstrommenge konstant bleibt.

Führt auch der Mitkonkurrent $-i$ die Innovation durch, dann wird der Regulator den Vergütungssatz wie folgt anpassen:

$$\hat{p} = \frac{2rQ}{\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2} \quad (6.29)$$

Wollen wir nun die Innovationsanreize in diesem Szenario allgebraisch darstellen, dann müssen wir die Produktivität \bar{A}_{-i} des Mitkonkurrenten in Gleichung (6.28) durch seine neue Produktivität \hat{A}_{-i} ersetzen und erhalten dann:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 (\bar{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2 (\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2} \quad (6.30)$$

Diesen absoluten Innovationsanreiz in Gleichung (6.30), werden wir im nächsten Kapitel heranziehen, um die Einspeisevergütung mit den mengeregulierenden Subventionsregimen zu vergleichen.

6.4.5 Innovationsanreize bei zusätzlicher Inputsubventionierung

Auch im Fall einer zusätzlich zur Einspeisevergütung erbrachten Inputsubventionierung wird der Trade-off zwischen Mitnahmeeffekten und Innovationsanreizen deutlich. Der Gewinn unter einer zusätzlichen Inputsubventionierung ist durch Gleichung (6.12) gegeben:

$$\pi_i = \frac{(1 - \delta)rQ^2 A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2} \quad (6.31)$$

Da der Gewinn sich nun vom Gewinn im Szenario ohne zusätzliche Inputsubvention allein durch den Term $1 - \delta$ unterscheidet, wird dies auch der einzige Unterschied sein, der in Bezug auf die marginalen Innovationsanreize besteht. Der marginale Innovationsanreiz wird nun also den folgenden Wert annehmen:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2(1 - \delta)rA_iQ^2}{(\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)^2} \quad (6.32)$$

Wir sehen, dass der Innovationsanreiz durch die zusätzliche Inputsubventionierung fallen wird. Es fallen also nicht nur die Gewinne der Produzenten bei einem gegebenen Mengenziel des Regulators mit abnehmenden Kapitalkosten. Es fallen auch die Gewinnzuwächse, die sich aus einer produktiveren Technologie ergeben, und damit die Innovationsanreize. Wieder besteht also ein Zielkonflikt zwischen der Minimierung von Mitnahmeeffekten und der Schaffung von Innovationsanreizen.

Als wir die Wirkung der Inputsubventionen auf die Mitnahmeeffekte analysierten, argumentierten wir, dass eine vollständige Kapitalsubventionierung die Mitnahmeeffekte völlig auf null reduzieren würde, dass damit aber zugleich dem Grünstromproduzenten jeder Innovationsanreiz genommen wird. Jetzt ist auch klar, warum das so sein muss. Wenn der Grünstromproduzent nie Gewinne macht, dann realisiert er auch nie Gewinnzuwächse aus einer Innovation und damit auch keine Anreize, diese Innovation durchzuführen.

Kapitel 7

Mengenregulierende Subventionsregime unter vollständiger Information

Unter den Begriff mengenregulierende Subventionsregime fallen Quoten- und Ausschreibungsmodelle. In diesen Modellen ist im Gegensatz zur Einspeisevergütung nicht der Preis die exogene Kontrollvariable des Regulators, sondern das aggregierte Produktionsniveau.

Bei einem Ausschreibungsmodell legt der Regulator ein bestimmtes Niveau einer Leistungskapazität fest, das die Grünstromproduzenten aufbauen sollen. Die Entscheidung, welcher Produzent wieviel von diesem aggregierten Leistungsniveau erhält, wird über eine Ausschreibung geregelt. Die Grünstromproduzenten geben beim Regulator Gebote ab, für welche bereitgestellte Leistungskapazität sie welche Subventionsleistung verlangen.

Die Vergabe einer Subvention für erneuerbare Energieprojekte über einen Ausschreibungsmechanismus entspricht im ökonomischen Sinne einer Auktion, bei welcher der Regulator als Auktionator und die Grünstromproduzenten als Bieter auftreten. In herkömmlichen Auktionen werden jedoch genau definierte einzelne

Objekte an den höchstbietenden Auktionsteilnehmer versteigert. Bei der Subventionsvergabe für erneuerbare Energien durch einen Ausschreibungsmechanismus jedoch wollen die Bieter eine Vielzahl identischer Objekte, nämlich eine bestimmte Menge an Kapazität zur Grünstromerzeugung, veräußern. Eine Auktion, bei der die Bieter nicht ein Gebot für ein bestimmtes genau definiertes Objekt abgeben, sondern ein Gebot auf eine bestimmte Allokation, bei der der Auktionator eine Vielzahl von identischen Objekten auf die Bieter verteilt, wurde von Bernheim und Whinston (1986) Menü-Auktion genannt.

Auch der Preisbildungsprozess im Quotenmodell kann als eine Menü-Auktion aufgefasst werden. Die Rolle des Auktionators nimmt dann der Netzbetreiber ein, der vom Regulator dazu angehalten wird, ein bestimmtes Niveau an grünem Strom ins Netz einzuspeisen. Diesen Strom kauft der Netzbetreiber von den Grünstromproduzenten ein. Auch dies kann wie im Ausschreibungsmodell über ein Art Ausschreibung geschehen. Der Netzbetreiber wird sich in solch einem Fall Angebote bei den Grünstromproduzenten darüber einholen, welche Grünstrommenge sie ihm zu welchem Preis liefern möchten. Danach wird er entscheiden, welcher Produzent welche Menge zu welchem Preis erhält.

Trotz der Ähnlichkeit, die Quoten- und Ausschreibungsmodelle aufweisen, existieren zwischen beiden Modellen auch grundlegende Unterschiede. Ein Unterschied klang bereits an. Im Ausschreibungsmodell nimmt der Regulator selbst die Rolle des Auktionators ein. Im Quotenmodell obliegt diese Aufgabe dem Netzbetreiber.

Ein weiterer Unterschied liegt in den Objekten, die Gegenstand der Versteigerung sind. Im Quotenmodell veräußern die Grünstromproduzenten Energieladungen, also direkt Grünstrommengen, im Ausschreibungsmodell vergibt der Regulator Subventionszahlungen für Leistungskapazitäten, mit denen anschließend Grünstrommengen hergestellt werden können. Welche Grünstrommenge mit einer gegebenen Leistungskapazität produziert wird, hängt vom Auslastungsgrad dieser Kapazität ab. Der Auslastungsgrad wiederum ist gerade bei erneuerbaren

Energien sehr unsicher, da er von natürlichen Faktoren, wie z.B. Sonneneinstrahlung und Windintensität, abhängt. In unserer Analyse werden wir jedoch von einem unsicheren Auslastungsgrad abstrahieren. Wir werden annehmen, dass bei einer bestimmten Leistungskapazität die produzierte Grünstrommenge exakt vorhergesagt werden kann.

Ein weiterer Unterschied besteht in den Aktionsparametern der Grünstromproduzenten. Im Ausschreibungsmodell können die Grünstromproduzenten je nach Ausgestaltung des Modells entweder Gebote über einen Investitionskostenzuschuss abgeben oder sie geben Gebote über einen Vergütungssatz ab. Wird ein Gebot über Vergütungssätze abgegeben, dann bekommt ein Produzent, wenn er den Zuschlag erhält, für seinen Grünstrom künftig den von ihm unterbreiteten Vergütungssatz. Wäre der Auslastungsgrad sicher, dann wüsste er genau, welche Grünstrommenge er liefern wird, und hat er einen festen Vergütungssatz, dann kennt er auch den Preis pro Einheit Grünstrom. Nur in diesem Fall würde der Produzent wie im Quotenmodell dem Auktionator letztlich ein Preisgebot für eine bestimmte Grünstrommenge unterbreiten.

Ein letzter Unterschied könnte in der Fristigkeit der Verträge bestehen, die durch die Auktionen in den beiden Modellen ausgehandelt werden. Ein Ausschreibungsmodell schafft typischerweise die Grundlage für eine sehr lange Vertragsbeziehung zwischen Produzent und Regulator, während im Quotenmodell die Vertragslaufzeiten individuell ausgehandelt werden. Wir werden annehmen, dass die Vertragslaufzeiten im Quotenmodell sehr kurzfristig sind. Wir werden noch sehen, dass die Vertragslaufzeiten einen Einfluss auf die Innovationsanreize haben.

Eine Menü-Auktion unterscheidet sich, wie bereits erwähnt, von einer herkömmlichen Auktion. Die Bieter geben hier zu jeder erdenklichen Allokation, die der Auktionator vornehmen kann, ein Gebot ab. Sie geben also nicht nur ein einziges Gebot ab, sondern ein Menü an Geboten. Bernheim und Whinston (1986) prägen für diese Art von Auktionen einen für unsere Zwecke sehr brauchbaren Gleichge-

wichtsbegriff, nämlich den der „Truthful Nash Equilibria“ oder, wie wir sie nennen werden, der wahrhaften Nash-Gleichgewichte. Außerdem zeigen Bernheim und Whinston (1986) wie das Konzept der Menü-Auktionen auf Ausschreibungsmechanismen anzuwenden ist. Sie zeigen dies am Beispiel der Ausschreibung von öffentlichen Bauaufträgen.

Die Diskussion dieser wahrhaften Nash-Gleichgewichte bleibt bei Bernheim und Whinston (1986) auf die Eigenschaften solcher Gleichgewichte beschränkt. Eine Methodik, wie solche Gleichgewichte zu berechnen sind, findet sich in Bernheim und Whinston (1986) nicht. Eine solche Methodik findet sich jedoch in Bolle (2001). Wie wir noch sehen werden, ist die Methodik von Bolle (2001) sehr gut auf unser Problem anwendbar. Um den Gleichgewichtsbegriff von Bernheim und Whinston (1986) besser zu verstehen und um besser zu verstehen, wie Bolle (2001) solche Gleichgewichte berechnet, wollen wir uns im folgenden Abschnitt die relevanten Inhalte beider Beiträge genauer betrachten.

Alle Akteure, so wollen wir wieder wie in Kapitel 6 annehmen, wissen über einander Bescheid. So kennen Netzbetreiber und Regulator die Technologien der Grünstromproduzenten. Die Grünstromproduzenten kennen ebenfalls ihre eigene Technologie und auch die Technologien aller Konkurrenten. Außerdem kennen die Grünstromproduzenten auch die Sanktion, die dem Netzbetreiber droht, falls er die vom Regulator geforderte Grünstrommenge nicht erbringt. Unter diesem Szenario verstehen wir vollkommene Information.

7.1 Menü-Auktionen und ihre Gleichgewichte

7.1.1 Das Konzept der wahrhaften Nash-Gleichgewichte

Die Menge der Allokationen, die der Auktionator innerhalb einer Menü-Auktion wählen kann, wird formal durch die Menge S beschrieben. Alle Elemente $s \in S$ dieser Menge sind nun mögliche Allokationen, die der Auktionator vornehmen

kann. Das heißt jedes $s \in S$ steht für eine bestimmte Verteilung der zu versteigernden Objekte auf die Bieter. Die Anzahl der Bieter ist durch die Menge $M = \{1, \dots, m\}$ gegeben.

Jeder Bieter $i \in M$ aus dieser Menge hat nun bezüglich jeder Allokation $s \in S$ eine Wertschätzung $\gamma_i(s)$.¹ Dabei wird $\gamma_i(s)$ natürlich von der Anzahl der Objekte beeinflusst, die der Bieter i unter der Allokation s erhält. Jedoch muss dies nicht der einzige Einfluss sein, den die Allokation s auf die Wertschätzung $\gamma_i(s)$ des Bieters i hat. Stellen wir uns beispielsweise eine Versteigerung von UMTS Lizenzen vor. Auch hier handelt es sich um eine Menü-Auktion. Hier wird die Wertschätzung $\gamma_i(s)$ des Bieters i neben den Frequenzen, die er für sich selbst ersteigern konnte, auch davon abhängen, wie die verbleibenden Frequenzen unter seinen Mitkonkurrenten verteilt werden, da dies ganz erheblichen Einfluss auf die Angebotsstruktur des UMTS-Marktes hat.

Jeder Bieter i gibt nun auf jede potentiell mögliche Allokation s ein Gebot $b_i(s)$ ab. Mit diesem Gebot legt sich der Bieter darauf fest, was er dem Auktionator bezahlen möchte, falls dieser die Allokation s wählen wird. Dem Auktionator selbst entstehen durch die Wahl einer Allokation s Kosten in Höhe von $c(s)$. Diese Kosten $c(s)$ entstehen, weil der Auktionator die von den Bietern ersteigerten Objekte nach der Auktion auch tatsächlich liefern muss. Wir können die Kosten $c(s)$ sozusagen als Sachaufwand auffassen.

Die Nettoauszahlung π_A , die der Auktionator unter der Wahl einer Allokation s aus der Menü-Auktion erhält, besteht aus der Summe der Gebote aller Bieter unter dieser Allokation abzüglich dem Sachaufwand, den der Auktionator bei der Wahl dieser Allokation realisiert:

¹Wir lehnen uns hier an die Notation von Bolle (2001) an. Die Notation von Bolle (2001) sowie die von Bernheim und Whinston (1986) weichen in vielen Punkten voneinander ab. Um jedoch die Formalisierung der Menü-Auktion in einer einheitlichen Weise darzustellen haben wir die Notation von Bolle (2001) vollständig übernommen.

$$\pi_A(s) = \sum_{i=1}^m b_i(s) - c(s) \quad (7.1)$$

Die Nettoauszahlung $\pi_i(s)$, die ein Bieter i unter einer Allokation s aus der Menü-Auktion erhält, besteht aus der Wertschätzung $\gamma_i(s)$ der Allokation s durch Bieter i abzüglich dem, was der Bieter i nun für diese Allokation bezahlen muss - also abzüglich seinem Gebot $b_i(s)$:

$$\pi_i(s) = \gamma_i(s) - b_i(s) \quad (7.2)$$

Bernheim und Whinston (1986) bemerken, dass die Variablen $\gamma_i(s)$, $b_i(s)$ und $c(s)$ ihr Vorzeichen wechseln, wenn wir statt einer herkömmlichen Auktion einen Ausschreibungsmechanismus betrachten. Selbstverständlich gilt dies auch für einen Ausschreibungsmechanismus, bei dem von einem Netzbetreiber oder direkt von einem Regulator von verschiedenen Grünstromproduzenten eine bestimmte Grünstrommenge erworben wird. Bernheim und Whinston (1986) führen hier jedoch das Beispiel eines öffentlichen Bauvorhabens an.

Die Wertschätzung $\gamma_i(s)$, die der Bieter einem ersteigerten Objekt entgegenbringt, ist bei der Ausschreibung eines öffentlichen Bauvorhabens negativ und entspricht vom Betrag her den Kosten, die der Bieter aufbringen muss, um den Teil des Bauprojektes, für das er den Zuschlag bekommen hat, fertig zu stellen. Das Gebot $b_i(s)$ das der Bieter i nun abgeben wird, besteht nicht aus einer Zahlung, die er leistet, wenn der Auktionator die Allokation s wählen wird, sondern dieses Gebot ist nun eine Zahlung, die der Bieter unter dieser Allokation vom Auktionator verlangt. Da $b_i(s)$ jedoch als Zahlung vom Bieter an den Auktionator definiert ist, wird $b_i(s)$ unter einem Ausschreibungsmechanismus negativ sein. Der Bieter leistet in diesem Fall also eine negative Zahlung an den Auktionator, was nichts anderes bedeutet, als dass er von diesem eine positive Zahlung erhält.

Die Variable $c(s)$ wird als Sachaufwand des Auktionators aufgefasst. In einer herkömmlichen Auktion, in der er dem Bieter das ersteigerte Objekt oder die ersteigerten Objekte liefern muss, entspricht dies den Tatsachen. Bei einer Ausschreibung hingegen ist es nicht der Auktionator, der das Objekt liefern muss, sondern der Bieter, der die Ausschreibung gewinnt. Der Auktionator realisiert also keinen Sachaufwand, sondern einen Ertrag. Ein Ertrag wiederum ist nichts anderes als ein negativer Aufwand. Wird also $c(s)$ negativ, so handelt es sich bei dieser Variable de facto um einen Ertrag anstatt um einen Aufwand.

Bernheim und Whinston (1986) definieren in diesem Modellrahmen sogenannte „wahrhafte Strategien“. Sie nennen eine Strategie $\hat{b}_i(\cdot)$ eine wahrhafte Strategie relativ zu einer Allokation s^0 falls gilt:

$$\begin{aligned} \gamma_i(s) - \hat{b}_i(s) &= \gamma_i(s^0) - \hat{b}_i(s^0) = \pi_i(s^0) \\ \text{oder } \gamma_i(s) - \hat{b}_i(s) &< \pi_i(s^0) \text{ und } \hat{b}_i(s) = 0 \end{aligned}$$

Bedient sich also ein Bieter einer wahrhaften Strategie relativ zur Allokation s^0 , dann wird die Auszahlung, die er unter der Allokation s^0 realisiert, für ihn einen Referenzwert darstellen. Er ist immer bereit, unter jeder anderen Allokation s so viel zu bieten, dass er die gleiche Auszahlung wie unter der Allokation s^0 realisiert. Sollte seine Wertschätzung bezüglich einer Allokation s jedoch so gering sein, dass die Auszahlung der Allokation s^0 unter keinem Gebot erreichbar ist, dann bevorzugt es der Bieter, gar nichts mehr anzubieten.

Beschränkt sich ein Bieter darauf, solche wahrhaften Strategien zu spielen, dann wird er sich, falls der Auktionator eine andere Allokation als die Referenzallokation s^0 wählt, entweder durch die Abweichung des Auktionators nicht schlechter stellen, oder aber, falls er sich doch schlechter stellt, wird keine Strategie existieren, die ihn besser stellen könnte als die wahrhafte Strategie. Im letzteren Fall wird also die wahrhafte Strategie auch die beste Strategie des Bieters sein. Im Folgenden wollen wir den Beweis für diese Behauptung betrachten.

Nehmen wir an, ein Bieter hat eine beste Strategie $b_i^*(s)$. Die beste Wahl des Auktionators gegeben diese Strategie und gegeben die Strategien der anderen Bieter soll die Allokation s^0 sein. Betrachten wir nun die Auszahlung, die ein Spieler realisiert, wenn er eine wahrhafte Strategie $\hat{b}_i(s)$ relativ zur Allokation s^0 spielt. Unter der Allokation s^0 soll er dabei unter der wahrhaften Strategie genau soviel anbieten wie unter der besten Reaktion. Es soll also gelten:

$$\hat{b}_i(s^0) = b_i^*(s^0)$$

Nehmen wir nun an, dass der Auktionator nun nicht mehr s^0 , sondern eine andere Allokation \tilde{s} wählt. Da $b_i^*(s)$ die beste Strategie des Bieters ist, gilt unter der Allokation \tilde{s} :

$$\hat{b}_i(\tilde{s}) \geq b_i^*(\tilde{s})$$

Diese Bedingung muss gelten, weil der Bieter für eine gegebene Allokation \tilde{s} eine Wertschätzung $\gamma_i(\tilde{s})$ hat. Die Auszahlung des Bieters besteht aus der Differenz der Wertschätzung $\gamma_i(\tilde{s})$ und seinem Gebot $b_i(\tilde{s})$. Unter der besten Strategie $b_i^*(\tilde{s})$ muss diese Auszahlung bei einer gegebenen Allokation \tilde{s} mindestens genau so gut sein wie unter allen anderen Strategien, also auch mindestens so gut wie unter der wahrhaften Strategie $\hat{b}_i(\tilde{s})$. Deshalb darf das Gebot $b_i^*(\tilde{s})$ unter der besten Strategie höchstens so groß sein wie das Gebot unter jeder anderen Strategie und damit auch höchstens so hoch wie das Gebot unter der wahrhaften Strategie.

Falls der Bieter i die wahrhafte Strategie spielt, dann realisiert er unter der Allokation \tilde{s} entweder die gleiche Auszahlung wie unter der Allokation s^0 oder aber er gibt ein Nullgebot für die Allokation \tilde{s} ab. Das folgt eben gerade aus der Definition einer wahrhaften Strategie. Gibt er unter der wahrhaften Strategie unter der Allokation \tilde{s} ein Nullgebot ab, dann tut er dies auch unter der besten Strategie, weil ja das Gebot der besten Strategie nicht größer sein darf als das jeder anderen Strategie. Die wahrhafte Strategie ist also in diesem Fall mit der besten Strategie identisch. In diesem Fall wird also die beste Strategie keine

bessere Auszahlung erbringen als die wahrhafte Strategie. Das bedeutet nun, dass sich der Bieter im neuen Gleichgewicht mit der Allokation \tilde{s} , im Vergleich zum Gleichgewicht mit der Allokation s^0 entweder nicht verschlechtert, wenn er die wahrhafte Strategie spielt, oder aber, falls er sich doch verschlechtert, keine andere Strategie existiert, die ihn besser stellen könnte.

Wenn in einem Nash Gleichgewicht wahrhafte Strategien gespielt werden, dann nennen Bernheim und Whinston (1986) dieses Gleichgewicht ein „wahrhaftes Nash Gleichgewicht“. Weicht der Auktionator in einem wahrhaften Nash-Gleichgewicht von seiner Allokation ab, dann wird, wie wir nun sahen, ein Bieter sich entweder nicht schlechter stellen als im wahrhaften Nash-Gleichgewicht oder aber seine wahrhafte Strategie die im wahrhaften Nash-Gleichgewicht die beste Strategie war, wird auch nach der Abweichung des Auktionators die beste Strategie sein. Das Konzept der wahrhaften Nash-Gleichgewichte ist also eine Verfeinerung des Konzeptes der Nash-Gleichgewichte.

Diese Gleichgewichte weisen eine große Stabilitätseigenschaft auf. Insbesondere zeigen Bernheim und Whinston (1986), dass diese Gleichgewichte das Kriterium der „Coalition-Proofness“ erfüllen. Dieses Kriterium verlangt, dass keine Koalition von Bietern, unter gegebener Strategie aller anderen Bieter, sich auf eine gemeinsame Abweichung einigen können, die jeder bevorzugen würde. Eine solche Abweichung müsste gegeben die Strategie aller Nichtkoalitionäre, ein Nash-Gleichgewicht innerhalb der Koalition darstellen. Bernheim und Whinston (1986) zeigen außerdem, dass in jeder Menü-Auktion wenigstens ein wahrhaftes Nash- Gleichgewicht existiert.

7.1.2 Das Team-Selection-Problem

Bolle (2001) greift bei der Bestimmung dieser wahrhaften Nash-Gleichgewichte auf einen Lösungsansatz des sogenannten „Team Selection Problem“ zurück, der in Bolle (1995) ausgearbeitet wurde. Beim Team Selection Problem geht

es darum, dass ein Teamchef aus einer Menge von potentiellen Teammitgliedern $M = \{1, \dots, m\}$ eine Untermenge T an tatsächlichen Teammitgliedern auswählen muss. Als Beispiel könnte hier ein Filmproduzent dienen, der eine Filmcrew zusammenstellen möchte. Wichtig ist hierbei die Annahme, dass der Teamchef die Teammitglieder nicht sequentiell, sondern simultan auswählt. Jedes Teammitglied kann aufgrund dieser Annahme auch als das zuletzt ausgewählte Teammitglied angesehen werden. Dies ist, wie wir noch sehen werden, entscheidend für die Entlohnung eines jeden Teammitglieds im Gleichgewicht.

Die Zusammenstellung T des Teams wird die Produktivität oder anders ausgedrückt den Wert $V(T)$ des Teams beeinflussen. Darüber, wie der Wert des Teams von der Größe des Teams abhängt, werden nun zwei Annahmen getroffen, die für die spätere Ermittlung des Gleichgewichts von entscheidender Bedeutung sind. Der Wert des Teams, so wird angenommen, ist monoton steigend und konkav in der Teamgröße. Monotonie in der Teamgröße bedeutet, dass jedes neue Teammitglied i den Wert des Teams erhöhen wird. Formal können wir diesen Zusammenhang folgendermaßen ausdrücken:

$$V(T) < V(T + \{i\})$$

Nehmen wir nun an, es existieren zwei Teams K und L . Alle Teammitglieder des Teams K sollen auch Mitglieder des Teams L sein. Allerdings soll das Team L noch einige Mitglieder mehr haben als das Team K . Konkavität in der Teamgröße bedeutet nun, dass wenn ein neues Teammitglied i zu einem der beiden Teams K oder L hinzukommt, der Wert des Teams zwar in beiden Fällen steigt, jedoch das neue Mitglied i beim großen Team L den Wert weniger erhöht als beim kleineren Team K . Formal ausgedrückt lautet dieser Zusammenhang:

$$V(L + \{i\}) - V(L) < V(K + \{i\}) - V(K) \text{ wobei } K \subset L$$

Jedes Teammitglied i erhält nun vom Teamchef eine Vergütung π_i dafür, dass es sich am Team beteiligt. Die Entlohnung des Teamchefs ist nun durch den Wert des Teams abzüglich der Entlohnung der Teammitglieder gegeben:

$$V(T) - \sum_{i=1}^m \pi_i$$

Jedes potentielle Teammitglied $i \in M$ macht dem Teamchef einen Vorschlag über seine Entlohnung π_i falls es sich tatsächlich am Team beteiligen wird. Der Teamchef trifft dann eine Auswahl darüber, wer schließlich an seinem Team teilnimmt. Im Nash Gleichgewicht werden sich nun alle Mitglieder der Menge $M = \{1 \dots m\}$ am Team beteiligen. Jedes Teammitglied i wird eine Entlohnung π_i erhalten, die dem Beitrag entspricht, den dieses Mitglied zur Wertsteigerung des Teams erbringt. Hier wäre es nun aufgrund der Konkavität der Wertfunktion entscheidend, ob ein Teammitglied am Anfang oder am Ende vom Teamchef in das Team nominiert wird. Je früher ein Mitglied im Vergleich zu den anderen Mitgliedern in das Team nominiert wird, desto größer wird seine Produktivität und damit auch seine Entlohnung sein. Weil wir jedoch annehmen, dass die Teammitglieder alle auf einmal, also simultan und nicht sequentiell gewählt werden, wird die Produktivität von jedem Mitglied gerade so groß sein, als ob es das zu letzt gewählte Teammitglied wäre. Entsprechend ist die Entlohnung eines jeden Teammitglieds im Gleichgewicht durch folgende Gleichung gegeben:

$$\pi_i = V(M) - V(M - \{i\}) \quad (7.3)$$

Dieses Nash-Gleichgewicht ist sehr plausibel. Jedes potentielle Teammitglied weiß, dass wenn es eine Entlohnung beanspruchen würde, die über seinem Beitrag zur Wertsteigerung des Teams liegt, der Teamchef besser gestellt ist, wenn er das potentielle Mitglied nicht ins Team aufnimmt. In diesem Fall würde das potentielle Mitglied eine Auszahlung in Höhe von Null realisieren. Es stellt sich also

besser, wenn es seine Ansprüche zurückschraubt und eine Forderung stellt, die der Teamchef gerade noch akzeptieren kann. Der Teamchef hingegen ist aufgrund der Monotonie des Teamwertes am besten gestellt, wenn er alle potentiellen Teammitglieder in sein Team aufnimmt. Schließt er ein potentielles Teammitglied aus der Menge aus, dann wird aufgrund der Konkavität der Beitrag zur Wertsteigerung und damit der Entlohnungsanspruch aller anderen Teammitglieder steigen. Durch die Aufnahme aller potentieller Teammitglieder maximiert der Teamchef, aufgrund der Monotoniebedingung, den Wert des Teams.

7.1.3 Übertragung des Team-Selection-Problems auf die Menü-Auktionen

Bolle (2001) überträgt nun das Gleichgewichtskonzept des Team Selection Problems auf die Menü-Auktionen und erarbeitet damit eine Methodik, mit der man die wahrhaften Nash-Gleichgewichte einer Menü-Auktion bestimmen kann. Der Auktionator nimmt dabei die Rolle des Teamchefs ein und die Bieter die Rolle der potentiellen Mitglieder. Anstatt des Teamwertes $V(T)$ betrachtet man nun den Wert der Menü-Auktion. Dieser besteht aus der Nettoauszahlung des Auktionators zuzüglich den Nettoauszahlungen für all jene Bieter, die vom Auktionator bei der Wahl der Allokation s mit einer positiven Anzahl an Objekten bedacht werden. Die Bieter, die vom Auktionator bei der Wahl der Allokation nicht bedacht werden, geben für solch eine Allokation ein Gebot in Höhe von null ab. Ihre Nettoauszahlung beträgt dann ebenfalls null. Parallel zur Formulierung des Team Selection Problems wird die Menge der Bieter, die eine Nettoauszahlung von größer als null realisieren, Menge T genannt. Der Auktionator wird, gegeben diese Menge T , eine Allokation s^* wählen, die den Wert $V(T)$ der Menü-Auktion maximiert.

Die Nettoauszahlungen der an der Menü-Auktion Beteiligten sind durch die Gleichungen (7.1) und (7.2) gegeben. Beachtet man, dass nur solche Bieter i ,

die Mitglieder der Menge T sind, eine Nettoauszahlung erhalten, dann kann der Wert der Menü-Auktion in Abhängigkeit der Menge T und der Allokation s^* folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$V(T) = \sum_{i \in T} \gamma_i(s^*(T)) - c(s^*(T)) \quad (7.4)$$

Sämtliche Gebote $b_i(s)$ aller Bieter i beeinflussen den Wert der Menü-Auktion nicht. Dies ist plausibel, da sie ja nur einen Transfer von den Bietern zum Auktionator darstellen.

Wenn die Wertfunktion der Menü-Auktion die gleichen Eigenschaften in Bezug auf Monotonie und Konkavität hat wie die Wertfunktion des Team Selection Problems, dann sind die Ergebnisse bezüglich des Gleichgewichts der Menü-Auktion identisch zu den Ergebnissen des Team Selection Problems. Der Auktionator wird alle Bieter der Menge $M = \{1 \dots m\}$ bei der Festlegung der Allokation berücksichtigen, da jeder Bieter den Wert der Menü-Auktion erhöht. Wie ein Teammitglied im Team Selection Problem wird ein Bieter i eine Auszahlung π_i entsprechend seinem Beitrag zur Erhöhung des Wertes der Menü-Auktion erhalten:

$$\pi_i = \sum_{j \in M} \gamma_j(s^*(M)) - c(s^*(M)) - \sum_{j \in M - \{i\}} \gamma_j(s^*(M - \{i\})) - c(s^*(M - \{i\})) \quad (7.5)$$

7.2 Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte im Ausschreibungsmodell

Wir werden nun das Gleichgewichtskonzept von Bolle (2001) auf das Problem der Subventionierung von erneuerbarer Energie mittels eines Ausschreibungsmodells übertragen. Dabei wird exakt das Modellsetting des vorherigen Kapitels

übernommen. Wir nehmen wieder an, der Auktionator möchte eine Menge an Grünstrom in Höhe von Q implementieren.

Wir erwähnten bereits, dass bei einem Ausschreibungsmodell keine Strommengen, sondern Leistungskapazitäten versteigert werden, mit denen man später Strom produzieren kann. Es ist nun nicht sicher, welche Leistungskapazität welche Menge an Grünstrom erbringt, da man nicht weiß, wie hoch die Auslastung der Leistungskapazitäten nach ihrer Installation sein wird. Es besteht also eine Unsicherheit über die produzierte Strommenge. Wir wollen in unserem Modell von dieser Unsicherheit abstrahieren. Es wird angenommen, dass bei einer gegebenen installierten Kapazitätsleistung exakt auf die Strommenge geschlossen werden kann, die mit dieser Kapazität produziert wird. Wir nehmen ferner an, dass bei gleicher Kapazitätsleistung Grünstromproduzenten die gleiche Strommenge produzieren. Unter diesen Annahmen können wir nun die Ausschreibung so modellieren, als ob der Auktionator keine Leistungskapazitäten, sondern tatsächlich produzierte Strommengen der Höhe Q an die Grünstromproduzenten versteigern würde.

Die Mengen der möglichen Allokationen, aus denen der Auktionator auswählen kann, sind nun durch alle Produktionsmengen q_i aller Produzenten $i = \{1 \dots n\}$ gegeben, die sich in der Summe auf das gewünschte Produktionsniveau Q an grünem Strom aggregieren. Über jede dieser Allokationen hat ein Produzent i eine Wertschätzung γ_i . Diese Wertschätzung γ_i hängt allein davon ab, was der Produzent von der gesamten Strommenge Q bekommt - also nur von seiner eigenen Strommenge q_i . Da wir einen Ausschreibungsmechanismus und keine herkömmliche Auktion betrachten, wird diese Wertschätzung negativ sein und ist allein durch die Produktionskosten des Produzenten i gegeben. Diese Produktionskosten bestehen allein aus den Kapitalkosten, da wir wie in Kapitel 6 annehmen, dass der Grünstromproduzent nur mit dem Faktor Kapital produziert. Da jede Kapitaleinheit wieder r kostet und die Produktion wieder durch die Wurzelfunktion $q_i = A_i k_i^{\frac{1}{2}}$ beschrieben wird, sind die Produktionskosten und damit die

Wertschätzung eines Produzenten i in Abhängigkeit seiner Produktionsmenge durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\gamma_i(q_i) = -r \left(\frac{q_i}{A_i} \right)^2 \quad (7.6)$$

Der Auktionator erhält, wenn er eine Ausschreibung mit festem Vergütungssatz durchführt, von den Grünstromproduzenten eine Sachleistung in Form von Q kWh Strom. Nehmen wir an, er könnte diesen Strom zu einem Marktpreis in Höhe von p_M verkaufen, dann wäre der Wert seiner erworbenen Sachleistung durch $p_M Q$ gegeben. Nehmen wir an, es erhalten von den n Grünstromproduzenten $m \leq n$ Grünstromproduzenten einen Zuschlag für ihre Gebote, dann ist die Wertfunktion $V(m)$ der Ausschreibung durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$V(m) = p_M Q - r \sum_{j=1}^m \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 \quad (7.7)$$

Unter einem Ausschreibungsmodell mit pauschaler Subvention, wie z.B. einem Investitionskostenzuschuss, erhält der Regulator von den Grünstromproduzenten keine Sachleistung. Der Wert der Menü-Auktion kann dann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$V(m) = -r \sum_{j=1}^m \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 \quad (7.8)$$

In Kapitel 6 haben wir angenommen, dass der Preis für konventionelle Energie null beträgt. Dieser Preis ist auch der Preis, den der Regulator für die Veräußerung des grünen Stromes erzielen kann. Für den Marktpreis p_M soll also $p_M = 0$ gelten. Die Auktionswerte in den Gleichungen (7.7) und (7.8) sind also absolut identisch.

Man sieht, dass der Auktionswert nun ausschließlich durch die Produktionskosten determiniert ist und immer negativ sein wird. Das ist plausibel. Wir sagten, dass wenn wir den Preis für konventionellen Strom auf null normieren, dann können wir die Produktionskosten der regenerativen Energie als Mehrkosten in Bezug auf die konventionelle Energieproduktion auffassen. Der gesamtwirtschaftliche Wert der Grünstromproduktion ist also negativ und besteht aus den anfallenden Mehrkosten. Dieser gesamtwirtschaftliche negative Wert ist auch der Wert der Menü-Auktion und dieser negative Wert oder Verlust muss nun vom Regulator über die Subvention getragen werden.

Um zu überprüfen, ob das Gleichgewichtskonzept von Bolle (2001) auf unser Problem anwendbar ist, müssen wir untersuchen, ob unsere Wertfunktion in Gleichung (7.8) die notwendigen Eigenschaften bezüglich Monotonie und Konkavität erfüllt. Um das zu überprüfen wollen wir annehmen, dass alle Produzenten mit einer identischen Produktivität A produzieren. Wenn sie identisch produzieren, dann werden alle Produzenten m , die sich an der Auktion beteiligen, eine Zuteilung in Höhe von $\frac{Q}{m}$ erhalten. Die Wertfunktion aus (7.8) lässt sich dann folgendermaßen ausdrücken:

$$V(m) = -rm \left(\frac{Q}{m} \right)^2 \quad (7.9)$$

Leiten wir diese Gleichung nach m ab so erhalten wir:

$$\frac{\partial V(m)}{\partial m} = \frac{rQ^2}{m^2 A} \quad (7.10)$$

Bilden wir die zweite Ableitung nach m so erhalten wir:

$$\frac{\partial^2 V(m)}{\partial m^2} = -\frac{rQ^2}{m^3 A} \quad (7.11)$$

Aus Gleichung (7.10) sehen wir, dass der Wert der Ausschreibung mit der Zahl der daran teilnehmenden Bieter steigt. Die von Bolle (2001) verlangte Monotoniebedingung ist also tatsächlich erfüllt. Auch dies ist sehr plausibel. Da die Produzenten mit steigenden Grenzkosten produzieren, werden die Gesamtkosten um so geringer, je mehr Produzenten in die Produktion eingebunden werden. Da der Wert der Auktion umso größer wird, je kleiner die Produktionskosten sind, so muss der Auktionswert mit den Produzenten steigen.

Aus Gleichung (7.11) sehen wir, dass die Wertsteigerung einen konkaven Verlauf haben muss. Also ist auch die von Bolle (2001) verlangte Konkavitätseigenschaft erfüllt, und wir können deshalb das Gleichgewichtskonzept von Bolle (2001) auf unser Problem anwenden.

Wir wollen nun wieder annehmen, dass sich n Produzenten mit unterschiedlicher Produktivität A_i an der Auktion beteiligen. Wir wissen nun aus Bolle (2001), dass im Gleichgewicht alle n Produzenten vom Auktionator bei der Auswahl der Allokation bedacht werden. Der Auktionator wird die aggregierte Produktionsmenge so unter den Produzenten aufteilen, dass die Wertfunktion (7.8) für $m = n$ maximiert wird. Sein Maximierungsproblem lautet also:

$$\begin{aligned} \text{maximiere: } V(n) &= -r \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 \text{ in } q_j \\ \text{unter der Nebenbedingung: } &\sum_{j=1}^n q_j = Q \end{aligned}$$

Zu diesem Maximierungsproblem bilden wir die Lagrangefunktion:

$$\mathcal{L} = -r \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 - \lambda \left(Q - \sum_{j=1}^n q_j \right)$$

Leiten wir die Lagrangefunktion nach den Aktionsparametern q_j sowie nach dem Lagrangemultiplikator λ ab, so erhalten wir:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_j} = -\frac{2rq_j}{A_j^2} + \lambda = 0 \text{ für alle } j \in \{1 \dots n\} \quad (7.12)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Q - \sum_{j=1}^n q_j = 0 \quad (7.13)$$

Aus der Ableitung (7.12) sehen wir, dass für zwei beliebige Produzenten $i \in \{1 \dots n\}$ und $j \in \{1 \dots n\}$ gelten muss:

$$\frac{2rq_i}{A_i^2} = \frac{2rq_j}{A_j^2} \quad (7.14)$$

Diese Bedingung ist wiederum plausibel. Der Wert der Menü-Auktion wird bei gegebener Produktionsmenge Q allein durch die Produktionskosten der Produzenten beeinflusst. Möchte der Auktionator den Wert der Menü-Auktion maximieren, dann muss er die Summe der Produktionskosten minimieren. In Bedingung (7.14) wird nun verlangt, dass die Grenzkosten aller Produzenten identisch sein müssen. Nehmen wir an, dies wäre bei einer vom Auktionator gewählten Allokation nicht der Fall. Nehmen wir an, die Grenzkosten des Produzenten i wären höher als die des Produzenten j . Würde der Auktionator in diesem Fall eine Einheit Grünstrom vom Produzenten i zum Produzenten j umverteilen, so würde das die aggregierten Produktionskosten senken, da aufgrund der geringeren Grenzkosten der Produzent j diese Einheit Grünstrom billiger produzieren kann als der Produzent i . Eine solche Absenkung der aggregierten Produktionskosten durch eine Umverteilung der Produktionsmengen ist erst dann nicht mehr möglich, wenn die Grenzkosten aller Produzenten gleich sind.

Aus (7.14) können wir den folgenden Zusammenhang herleiten:

$$q_j = q_i \cdot \frac{A_j^2}{A_i^2} \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\} \text{ und für alle } j \in \{1 \dots n\} \quad (7.15)$$

Setzen wir (7.15) in die Ableitung (7.13) so erhalten wir:

$$\begin{aligned}
Q = \sum_{j=1}^n q_j &= q_i \cdot \frac{A_1^2}{A_i^2} + q_i \cdot \frac{A_2^2}{A_i^2} + \dots + q_i \cdot \frac{A_i^2}{A_i^2} + \dots + q_i \cdot \frac{A_n^2}{A_i^2} \\
\leftrightarrow Q &= \frac{q_i}{A_i^2} \cdot \left(\sum_{j=1}^n A_j^2 \right) \\
\leftrightarrow q_i &= \frac{A_i^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \tag{7.16}
\end{aligned}$$

Ersetzen wir q_i in Gleichung (7.6) durch den Ausdruck (7.16) dann erhalten wir für die Produktionskosten des Produzenten i den Wert:

$$-\gamma_i = \frac{r A_i^2 Q^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2 \right)^2} \tag{7.17}$$

Aggregieren wir die Produktionskosten über alle Produzenten $j \in \{1 \dots n\}$, dann erhalten wir:

$$-\sum_{j=1}^n \gamma_j = \frac{r Q^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \tag{7.18}$$

Nehmen wir nun an, ein Produzent i beteiligt sich nicht an der Grünstromproduktion und somit nicht an der Auktion. Die aggregierten Produktionskosten werden in diesem Fall den folgenden Wert annehmen:

$$-\sum_{j=1 \wedge j \neq i}^n \gamma_j = \frac{r Q^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2} \tag{7.19}$$

Die Abhängigkeit des Wertes der Ausschreibung $V(m)$ aus Gleichung (7.8) von der Anzahl m der Produzenten ist allein durch den Einfluss auf die Produktionskosten gegeben. Wollen wir also herausfinden, welchen Beitrag ein Produzent i

zur Werterhöhung der Menü-Auktion leistet, dann müssen wir untersuchen, wie hoch sein Beitrag zur Minderung der aggregierten Produktionskosten ist. Gemäß Bolle (2001) wird der Gewinn des Grünstromproduzenten mit dieser Minderung der Produktionskosten identisch sein. Wir erhalten also den Gewinn eines Produzenten i aus der Differenz der Gleichungen (7.18) und (7.19):

$$\pi_i = \frac{rQ^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2} - \frac{rQ^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2} = \frac{rQ^2 A_i^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2 \left(\sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2 \right)} \quad (7.20)$$

Dieser Ausdruck ist der Mitnahmegewinn eines Produzenten i im Ausschreibungsmodell, wenn der Regulator ein Mengenziel Q verfolgt und erzielt. Vergleichen wir diesen Mitnahmegewinn mit dem eines Produzenten i unter der Einspeisevergütung. In Kapitel 6 wurde gezeigt, dass unter dem Mengenziel Q dieser Gewinn durch den folgenden Ausdruck gegeben ist:

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2 \right)^2}$$

Es ist einfach zu sehen, dass der Gewinn eines Produzenten i unter dem Ausschreibungsmodell größer ist als unter der Einspeisevergütung. Der Zähler ist in beiden Ausdrücken identisch, jedoch ist der Nenner in (7.20) kleiner. Damit sind im Ausschreibungsmodell die Mitnahmeeffekte größer als unter der Einspeisevergütung.

Der Grund dafür, dass der Grünstromproduzent unter dem Ausschreibungsmodell höhere Mitnahmegewinne realisiert, liegt in der im Vergleich zum Einspeisemodell besseren Verhandlungsposition. Unter der Einspeisevergütung unterbreitet der Regulator dem Grünstromproduzenten mit der Festsetzung des Vergütungssatzes ein Angebot, das dieser annehmen kann oder auch nicht. Der Regulator signalisiert unter der Einspeisevergütung glaubhaft, dass er jenseits dieses Vergütungssatzes dem Grünstromproduzenten keine weiteren Zugeständnisse machen wird. Er unterbreitet mit dem Vergütungssatz eine take-it-or-leave-

it-Offer und lässt damit konsequent keine weiteren Verhandlungen über etwaige Subventionen mehr zu.

In einem Ausschreibungsmodell gibt der Regulator diese starke Verhandlungsposition auf und überlässt es dem Grünstromproduzenten seinerseits eine take-it-or-leave-it-Offer zu unterbreiten. Die gestärkte Verhandlungsposition ergibt sich also aus dem Auktionsdesign der Menü-Auktion. In der Menü-Auktion holt sich der Regulator von den Grünstromproduzenten Angebote ein und signalisiert zuvor, dass er auf jeden Fall das Mengenziel Q einhalten möchte. In ihren Angeboten werden dann die Grünstromproduzenten bis ans Äußerste gehen, d.h. sie werden dem Regulator ein Angebot unterbreiten, bei dem sie ihre gesamte Wertschöpfung für sich beanspruchen können. Der Regulator wird diese Gebote annehmen, weil sie eben take-it-or-leave-it-Offerten sind.

In der Realität werden die Verhandlungspositionen der Grünstromanbieter im Ausschreibungsmodell durch ein entsprechendes Auktionsdesign geschwächt. So ist es im irischen Ausschreibungsmodell den Grünstromanbietern beispielsweise nicht erlaubt, dem Regulator jedes beliebige Angebot zu unterbreiten. Das irische Ausschreibungsmodell ist eines, in dem die Grünstromproduzenten ein Gebot über den Vergütungssatz abgeben müssen. Hier werden vom Regulator nur Gebote beachtet, die sich in einer gewissen Preisspanne befinden. Ein Grünstromanbieter kann also in seinem Gebot nicht beliebig hohe Vergütungssätze fordern und damit nicht jede beliebige take-it-or-leave-it-Offer unterbreiten.

Wir sehen außerdem, dass die Unterschiede der Einspeisevergütung und des Ausschreibungsmodells völlig verschwinden, wenn unter den Grünstromproduzenten ein vollkommener Wettbewerb herrscht. Unter einem vollkommenem Wettbewerb verstehen wir eine große Anzahl von Grünstromproduzenten, die sich nicht wesentlich in ihren Produktivitäten unterscheiden. Falls die Produzenten alle über Technologien verfügen, deren Produktivität in gleichen Größenordnungen liegen, dann konvergiert der Nenner in Gleichung (7.20) mit zunehmender

Zahl der Grünstromproduzenten gegen $(\sum_{i=1}^n A_j^2)^2$. Die Mitnahmeeffekte wären in diesem Fall im Ausschreibungsmodell gleich wie unter der Einspeisevergütung.

Durch eine steigende Anzahl der Grünstromproduzenten wird unter ähnlichen Produktivitäten der Beitrag des einzelnen Produzenten zur Minderung der aggregierten Produktionskosten verschwindend gering. Da dieser Beitrag im Gleichgewicht gerade den Gewinn des Produzenten manifestiert, muss der Gewinn mit diesem Beitrag fallen, wenn die Zahl der Grünstromproduzenten zunimmt.

7.3 Innovationsanreize im Ausschreibungsmodell

Für die Innovationsanreize im Ausschreibungsmodell macht es einen Unterschied, ob die Versteigerung der Produktionskapazitäten erst noch bevorsteht oder ob es sich um ein laufendes Ausschreibungsprogramm handelt, bei dem schon alle Produzenten ihre Produktionskapazitäten ersteigert haben. Steht die Auktion erst noch bevor, dann werden die Produzenten mit einer Innovation das Gleichgewicht dieser kommenden Auktion beeinflussen. Eine Innovation wird also Einfluss darauf haben, wieviel von der ausgeschriebenen Produktionskapazität ein Produzent zu welcher Subventionszahlung erhalten wird. Läuft das Ausschreibungsprogramm schon, wurden die Produktionskapazitäten also bereits schon zu entsprechenden Subventionsleistungen an die Produzenten verteilt, dann hat eine Innovation selbstverständlich keinen Einfluss mehr auf diese Allokation.

Hier macht sich ein Unterschied zwischen Quoten- und Ausschreibungsmodell bemerkbar, der von uns bereits angesprochen wurde. Im Ausschreibungsmodell werden die Mengen, die ein Grünstromproduzent liefert, und die dazugehörige Subventionsleistung, über sehr lange Zeiträume festgeschrieben. Ist die Auktion erst mal durchgeführt, dann bleiben diese Mengen und die dazugehörigen Subventionsleistungen über einen langen Zeitraum konstant. Das wäre im Quotenmodell nur dann der Fall, wenn Netzbetreiber und Grünstromproduzenten sich gegenseitig durch lange Vertragslaufzeiten aneinander binden. Durch lange

Vertragslaufzeiten könnten auch im Quotenmodell Mengen und Preise lange festgeschrieben werden. Dann wären die Innovationsanreize auch im Quotenmodell vor und nach Vertragsschluss unterschiedlich. Auch hier würden dann Innovationen vor Vertragsschluss die Allokation beeinflussen, während Innovationen nach dem Vertragsschluss die Allokation nicht mehr beeinflussen würden. Wir werden später in der Analyse des Quotenmodells generell annehmen, dass nur sehr kurze Vertragslaufzeiten vorliegen und dass deshalb Innovationen im Quotenmodell die Allokation generell verändern.

Im folgenden Unterabschnitt werden wir nun zunächst die Innovationsanreize in einem laufenden Ausschreibungsprogramm untersuchen. Danach betrachten wir die Innovationsanreize, die vor Beginn der Auktion vorliegen. In beiden Fällen analysieren wir aus Vereinfachungsgründen eine duoplistische Marktstruktur. Außerdem ziehen wir einen Vergleich zu den Innovationsanreizen unter der Einspeisevergütung.

7.3.1 Innovationsanreize nach der Auktion

Der Gewinn eines Produzenten i kann in einem Ausschreibungsmodell außer durch die Gleichung (7.20) noch durch die folgenden beiden Gleichungen ausgedrückt werden:

$$\pi_i = p_i q_i - r k_i \quad (7.21)$$

$$\text{oder } \pi_i = p_M q_i - r k_i + s_i \quad (7.22)$$

Die Gleichung (7.21) gibt hierbei den Gewinn eines Produzenten i unter einem Ausschreibungsmodell mit garantiertem Vergütungssatz wieder und die Gleichung (7.22) steht für den Gewinn eines Produzenten unter einem Ausschreibungsmodell mit pauschaler Subvention, beispielsweise einem Investitionszuschuss. Die Variable p_i steht hier für den subventionierten Preis, zu dem der

Produzent i sich in der Auktion bereit erklärt hat, die Menge q_i zu produzieren. Entsprechend ist s_i die pauschale Subventionszahlung, zu der sich der Produzent bereit erklärt, ebenfalls die Strommenge q_i zu produzieren. Im Fall der pauschalen Subventionszahlung wird der Produzent seinen Strom zum vorherrschenden Marktpreis p_M verkaufen, für den in unserer Modellwelt $p_M = 0$ gilt.

Sowohl der Umsatz $p_i q_i$ bzw. $p_M q_i$ als auch die Subventionszahlung s_i werden schon vor dem eigentlichen Subventionsprogramm zwischen Produzent und Regulator im Zuge der Auktion vereinbart. Eine Veränderung der Produktivität hat aus diesem Grund nach der Auktion auf diese Größen keinen Einfluss mehr. Diese Größen haben damit umgekehrt auch keinen Einfluss auf den Innovationsanreiz eines Produzenten.

Die einzige Komponente der Gewinnfunktionen (7.21) und (7.22), die von einer Produktivitätserhöhung beeinflusst wird und damit selbst auch einen Einfluss auf den Innovationsanreiz hat, sind die Kapitalkosten $r k_i$. Wenn die Produktivität der Technologie eines Produzenten steigt, so benötigt dieser Produzent anschließend weniger Kapital, um die in der Auktion vereinbarte Strommenge zu produzieren. Dieser geringere Kapitaleinsatz senkt die Kapitalkosten des Produzenten. Der Innovationsanreiz in einem laufenden Ausschreibungsprogramm besteht allein aus dieser Kostenersparnis.

Wir wollen nun wie im Kapitel zuvor zwischen der ursprünglichen Produktivität und der momentanen, tatsächlichen Produktivität unterscheiden. Die ursprüngliche Produktivität eines Produzenten soll dabei die sein, die zu dem Zeitpunkt vorherrscht, an dem der Produzent sein Gebot in der Auktion des Ausschreibungsprogramms abgibt. Diese Produktivität wird somit die angebotene Menge q_i dieses Produzenten sowie den Preis p_i bzw. die Subventionszahlung s_i determinieren. Die tatsächliche, momentane Produktivität resultiert wiederum aus Innovationssprüngen. Sie ist also wieder mindestens genau so groß wie die ursprüngliche Produktivität. Falls der jeweilige Produzent durch Innovationen die Produktivität seiner Technologie erhöht hat, dann ist die momentane

Produktivität höher als die ursprüngliche Produktivität. Wie im Kapitel zuvor werden wir die ursprüngliche Produktivität eines Produzenten i \bar{A}_i nennen und die momentane Produktivität A_i .

Der Kapitaleinsatz k_i , den ein Produzent i erbringen muss, um die Strommenge q_i , zu deren Bereitstellung er sich in der Auktion verpflichtet hat, zu produzieren, hängt bei gegebenem q_i von der momentanen Produktivität A_i des Produzenten i ab. Wir können den Zusammenhang aus Kapital und angebotener Menge aus der Produktionsfunktion entnehmen:

$$k_i = \left(\frac{q_i}{A_i}\right)^2 \quad (7.23)$$

Die Kapitalkosten sind damit durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$rk_i = r \left(\frac{q_i}{A_i}\right)^2 \quad (7.24)$$

Wir sehen nun auch analytisch, dass die Kapitalkosten sich absenken werden, wenn sich die Produktivität A_i erhöht. Die Ableitung der Kapitalkosten nach der Produktivität A_i zeigt uns die Minderung dieser Kosten bei einer marginalen Erhöhung der Produktivität:

$$\frac{\partial rk_i}{\partial A_i} = -2r \cdot \frac{q_i^2}{A_i^3} \quad (7.25)$$

Wie erwähnt ergibt sich bei einem laufenden Ausschreibungsprogramm der Zugewinn einer Innovation allein aus dieser Kapitalkostensenkung. Der marginale Innovationsanreiz ist damit durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = 2r \cdot \frac{q_i^2}{A_i^3} \quad (7.26)$$

Die angebotene Menge q_i des Produzenten i in Gleichung (7.26) können wir durch den Ausdruck in Gleichung (7.16) ersetzen. Die angebotene Menge in Gleichung (7.16) wird allein durch die ursprüngliche Produktivität \bar{A}_i des Produzenten i determiniert. Das Gleichgewicht der Menü-Auktion, in dem jeder Produzent seine Grünstrommenge zugeteilt und seine Subventionszahlung zugesagt bekommt, wird nur von den zum Zeitpunkt der Auktion vorherrschenden Produktivitäten beeinflusst. Beachten wir außerdem die duopolistische Marktstruktur, so können wir die angebotene Menge in Gleichung (7.16) auch folgendermaßen ausdrücken:

$$q_i = \frac{\bar{A}_i^2 Q}{\bar{A}_1 + \bar{A}_2} \wedge i \in \{1, 2\} \quad (7.27)$$

Setzen wir diese Produktionsmenge in den marginalen Innovationsanreiz in Gleichung (7.26) dann erhalten wir:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2r \bar{A}_i^4 Q^2}{A_i^3 (\bar{A}_1 + \bar{A}_2)^2} \wedge i \in \{1, 2\} \quad (7.28)$$

Wir wollen nun die Innovationsanreize des Ausschreibungsmodells mit denen der Einspeisevergütung vergleichen. Betrachten wir hierzu den marginalen Innovationsanreiz der Einspeisevergütung aus Gleichung (6.17):

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial A_i} = \frac{2r A_i Q^2}{(\bar{A}_1 + \bar{A}_2)^2} \quad (7.29)$$

Der marginale Innovationsanreiz der Einspeisevergütung ist größer als der des Ausschreibungsmodells, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{2r A_i Q^2}{(\bar{A}_1 + \bar{A}_2)^2} > \frac{2r \bar{A}_i^4 Q^2}{A_i^3 (\bar{A}_1 + \bar{A}_2)^2} \quad (7.30)$$

Diese Bedingung können wir zu folgender Bedingung umformen:

$$A_i > \bar{A}_i \quad (7.31)$$

Wir sehen, der marginale Innovationsanreiz ist unter der Einspeisevergütung größer als im Ausschreibungsmodell, falls die momentane Produktivität größer ist als die ursprüngliche. Falls ein Produzent seit der Auflage des Subventionsprogramms die Produktivität seiner Technologie verbessert hat, so ist es also fortan die Einspeisevergütung, welche den höheren marginalen Innovationsanreiz mit sich bringt. Fand solch eine Verbesserung der Produktivität nicht statt, so schaffen beide Subventionsregime den gleichen marginalen Innovationsanreiz. Die erste marginale Produktivitätsverbesserung nach Auflage des Subventionsprogramms, bringt also für den Produzenten unter beiden Subventionsregimen den gleichen Gewinnzuwachs, jede weitere Verbesserung hingegen führt unter der Einspeisevergütung zu höheren Zuwächsen.

Jedoch sahen wir in Kapitel 6, dass sich unter der Einspeisevergütung die aggregierte Grünstrommenge in Folge der Innovation ausdehnen wird. Im Ausschreibungsmodell jedoch wird die aggregierte Grünstrommenge immer konstant gehalten. Wir zeigten, dass der Regulator im Einspeisemodell durch eine Anpassung der Vergütungssätze die aggregierte Grünstrommenge ebenfalls konstant halten kann. Wenn die Grünstromproduzenten die Preisanpassung in Folge ihrer Innovation nicht antizipieren, so wird dies keinen Einfluss auf ihren Innovationsanreiz haben. Antizipieren jedoch die Grünstromproduzenten diese Preisanpassung, so kann dies zu einer vollkommenen Stagnation der Innovationstätigkeit führen.

7.3.2 Innovationsanreize vor der Auktion

Wir wollen nun die Innovationsanreize eines Grünstromproduzenten betrachten, die vorliegen, bevor er sich an der Auktion beteiligen wird. Mit einer Innovation

wird er nun anders als im vorhergehenden Abschnitt nicht nur seine Produktionskosten senken, sondern er wird maßgeblich die Allokation der Ausschreibung beeinflussen.

Wieder betrachten wir ein Duopol. Der Gewinn, den ein Produzent i unter einem Ausschreibungsmodell realisiert, kann aus Gleichung (7.20) entnommen werden. Im Duopol wird dieser Gewinn den folgenden Wert annehmen:

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{(A_i^2 + A_{-i}^2) A_{-i}^2} \wedge i \in \{1, 2\} \quad (7.32)$$

Nehmen wir nun an, ein Produzent i könne seine Produktivität vor der Auktion von \bar{A}_i durch eine Innovation auf ein beliebiges \hat{A}_i erhöhen. Sein Konkurrent $-i$, wollen wir annehmen, hat die Möglichkeit zur Innovation nicht. Seine Produktivität bleibt also bei \bar{A}_{-i} . Der Gewinn, den ein Produzent i unter diesen Umständen aus einer Innovation realisieren wird, ist dann durch den folgenden Ausdruck gegeben:

$$\begin{aligned} & \frac{rQ^2 \hat{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2) \bar{A}_{-i}^2} - \frac{rQ^2 \bar{A}_i^2}{(\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2) \bar{A}_{-i}^2} \\ = & rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2) (\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)} \end{aligned} \quad (7.33)$$

Falls auch der Konkurrent $-i$ des Produzenten i eine Innovation durchführt und damit seine Produktivität von \bar{A}_{-i} auf \hat{A}_{-i} erhöht, so können wir den Gewinn, den ein Produzent i aus der Innovation realisiert, folgendermaßen ausdrücken:

$$\begin{aligned} & \frac{rQ^2 \hat{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2) \hat{A}_{-i}^2} - \frac{rQ^2 \bar{A}_i^2}{(\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2) \hat{A}_{-i}^2} \\ = & rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2) (\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)} \end{aligned} \quad (7.34)$$

Es ist in diesem Zusammenhang interessant, dass der Innovationsanreiz eines Produzenten i fällt, wenn der Mitkonkurrent seinerseits die Innovation durchführt.

Nehmen wir an, dass beide Produzenten $i \in \{1, 2\}$ die Innovationskosten C aufbringen müssen, wenn sie ihre Produktivität in der entsprechenden Weise erhöhen möchten. Die Höhe der Innovationskosten C entscheidet nun darüber, wer von den Produzenten die Innovation durchführen wird.

Gilt beispielsweise die folgende Konstellation

$$\begin{aligned} C &> rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{(\hat{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)(\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)} \\ \wedge \quad C &> rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)} \end{aligned} \quad (7.35)$$

dann wird kein Produzent die Innovation durchführen. Die Innovationskosten sind für beide Produzenten in diesem Fall so hoch, dass sie den Innovationsgewinn auch dann übersteigen, wenn der Mitkonkurrent die Innovation nicht durchführen wird.

In der folgenden Situation wird nur der Produzent 1 die Innovation durchführen:

$$\begin{aligned} C &< rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{(\hat{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)(\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)} \\ \wedge \quad C &> rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)} \end{aligned} \quad (7.36)$$

In dieser Konstellation ist für den Produzenten 1 die Innovation auf jeden Fall lohnend, wenn Produzent 2 seinerseits von einer Innovation absieht. Für den Produzenten 2 hingegen ist die Durchführung der Innovation auch dann nicht lohnend, wenn Produzent 1 die Innovation nicht durchführt. Wenn Produzent 1

weiß, dass Produzent 2 die Innovation nie durchführen wird, dann ist es für ihn sinnvoll, seinerseits die Innovation durchzuführen.

Es wird ebenfalls nur der Produzent 1 sein, der die Innovation durchführt, wenn die nachstehende Konstellation gilt:

$$\begin{aligned}
& C < rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{(\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2)(\bar{A}_1^2 + \hat{A}_2^2)} \\
\wedge \quad & rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \hat{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \hat{A}_1^2)} < C < rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)} \quad (7.37)
\end{aligned}$$

In dieser Situation ist es für den Produzenten 1 unabhängig von der Innovationsfähigkeit des Produzenten 2 immer lohnend, wenn er die Innovation durchführen wird. Er wird also die Innovation auf jeden Fall durchführen. Für den Produzenten 2 hingegen ist die Innovation nur lohnend, wenn der Produzent 1 seinerseits von einer Innovation absieht. Also wird Produzent 2 in diesem Fall die Innovation nicht durchführen.

Vertauschen wir in den Konstellationen, die in den beiden Gleichungen (7.36) (7.37) beschrieben werden, die Indizes, so erhalten wir zwei Situationen, in denen nur Produzent 2 die Innovation durchführen wird.

Betrachten wir die folgende Konstellation:

$$\begin{aligned}
& rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{(\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2)(\bar{A}_1^2 + \hat{A}_2^2)} < C < rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{(\hat{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)(\bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2)} \\
\wedge \quad & rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \hat{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \hat{A}_1^2)} < C < rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{(\hat{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)(\bar{A}_2^2 + \bar{A}_1^2)} \quad (7.38)
\end{aligned}$$

In dieser Konstellation wird jeder der beiden Produzenten bereit sein, die Innovation durchzuführen, solange sie der Mitkonkurrent nicht durchführt. In diesem

Fall existiert darum anders als in den zuvor betrachteten Konstellationen kein eindeutiges Nash-Gleichgewicht mehr. Es existieren nun zwei Nash-Gleichgewichte, in denen jeweils nur einer der beiden Produzenten die Innovation durchführen wird. Es wird also entweder Produzent 1 oder Produzent 2 die Innovation durchführen, aber niemals beide zusammen.

Zuletzt wollen wir noch eine Situation betrachten, in der wieder ein eindeutiges Nash-Gleichgewicht vorherrscht:

$$\begin{aligned}
C &< rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_1^2 - \bar{A}_1^2}{\left(\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2\right) \left(\bar{A}_1^2 + \hat{A}_2^2\right)} \\
\wedge \quad C &< rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_2^2 - \bar{A}_2^2}{\left(\hat{A}_2^2 + \hat{A}_1^2\right) \left(\bar{A}_2^2 + \hat{A}_1^2\right)}
\end{aligned} \tag{7.39}$$

Hier wird sich die Innovation für beide Produzenten lohnen, unabhängig davon ob der Konkurrent die Innovation durchführt oder nicht. Im Gleichgewicht werden dann beide Produzenten die Innovation durchführen.

Vergleichen wir nun den Innovationsanreiz eines Produzenten i unter der Einspeisevergütung mit dem des Ausschreibungsmodells.

In Gleichung (6.20) ist der absolute Innovationsanreiz eines Duopolisten i im Rahmen einer Einspeisevergütung wie folgt gegeben:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{\left(\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2\right)^2} \tag{7.40}$$

Ziehen wir zum Vergleich den Innovationsgewinn eines Produzenten i aus Gleichung (7.33) heran. Dies ist der Innovationsgewinn im Ausschreibungsmodell, den der Produzent i realisiert, wenn sein Mitkonkurrent keine Innovation vornimmt. Falls der Innovationsgewinn der Einspeisevergütung größer ist als dieser betrachtete Innovationsgewinn des Ausschreibungsmodells, dann gilt folgende Bedingung

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2} > rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)(\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)} \quad (7.41)$$

Diese Bedingung ist immer erfüllt, solange

$$\hat{A}_i > \bar{A}_i \quad (7.42)$$

gilt, und das ist immer der Fall. Der Innovationsgewinn ist unter der Einspeisevergütung für den Produzenten i größer als unter dem Ausschreibungsmodell, wenn nur er alleine eine Innovation durchführen wird. Führt sein Mitkonkurrent ebenfalls eine Innovation durch, dann wird der Innovationsgewinn unter der Einspeisevergütung davon nicht berührt. Unter dem Ausschreibungsmodell hingegen wird der Innovationsgewinn in diesem Fall geringer. Auch in diesem Fall muss also der Innovationsgewinn der Einspeisevergütung größer sein als der des Ausschreibungsmodells. Wir sehen also, dass es die Einspeisevergütung sein muss, die im Vergleich zum Ausschreibungsmodell die höheren Innovationsanreize generiert.

Jedoch ist es nun auch hier wiederum so, dass sich die aggregierte Strommenge unter der Einspeisevergütung im Zuge einer Innovation ausdehnen wird, während im Ausschreibungsmodell diese Strommenge auch nach der Innovation konstant bleibt. Aus diesem Grund wollen wir nun die Innovationsanreize des Ausschreibungsmodells mit denen der Einspeisevergütung vergleichen und dabei annehmen, dass der Regulator den Vergütungssatz unter der Einspeisevergütung so anpassen wird, dass hier die aggregierte Strommenge ebenfalls konstant bleibt. Außerdem werden wir die Annahme treffen, dass die Produzenten diese Preismin- derung antizipieren werden.

Falls nur ein Produzent die Innovation durchführen wird, ist der absolute Innovationsanreiz des Grünstromproduzenten unter der Einspeisevergütung in dem von uns untersuchten Szenario durch Gleichung (6.28) gegeben:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 (\bar{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2 (\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2} \quad (7.43)$$

Der Innovationsanreiz ist nun im Ausschreibungsmodell größer als unter der Einspeisevergütung mit angepasstem Vergütungssatz, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2) (\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)} > rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 (\bar{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^4 + \bar{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2 (\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2} \quad (7.44)$$

Diese Bedingung lässt sich folgendermaßen allgebraisch umformen:

$$2\hat{A}_i^2 \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2) + \bar{A}_{-i}^2 (\hat{A}_i^4 - \bar{A}_i^4) > 0 \quad (7.45)$$

Diese Bedingung ist immer erfüllt. Damit ist gezeigt, dass die Innovationsanreize im Ausschreibungsmodell für einen Produzenten i größer sind als unter der Einspeisevergütung mit angepasstem Vergütungssatz, wenn der Mitkonkurrent von der Innovation absieht und die Grünstromproduzenten die Preisanpassung antizipieren.

Vergleichen wir noch die Innovationsanreize eines Produzenten i in beiden Subventionsmodellen, wenn der Mitkonkurrent $-i$ ebenfalls eine Innovation durchführt und damit seine Produktivität von \bar{A}_{-i} auf \hat{A}_{-i} erhöht. Diesmal ist der Innovationsanreiz eines Grünstromproduzenten durch Gleichung (6.30) gegeben:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 (\bar{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2 (\hat{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2 (\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2} \quad (7.46)$$

Die Innovationsanreize werden also nun im Ausschreibungsmodell größer sein als unter der Einspeisevergütung, wenn gilt:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)(\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)} > rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2(\bar{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4) - \bar{A}_i^2(\hat{A}_i^4 + \hat{A}_{-i}^4)}{(\hat{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2(\bar{A}_i^2 + \hat{A}_{-i}^2)^2} \quad (7.47)$$

Wie zuvor lässt sich diese Bedingung wie folgt umformen:

$$2\hat{A}_i^2\bar{A}_i^2(\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2) + \hat{A}_{-i}^2(\hat{A}_i^4 - \bar{A}_i^4) > 0 \quad (7.48)$$

Auch diese Bedingung ist genau wie Bedingung (7.45) immer erfüllt. Die Einspeisevergütung generiert also auch, wenn der Mitkonkurrent die Innovation durchführt, den geringeren Innovationsanreiz, falls der Vergütungssatz so angepasst wird, dass die aggregierte Strommenge konstant bleibt und die Grünstromproduzenten diese Anpassung antizipieren.

Möchte der Regulator die aggregierte Strommenge konstant halten und antizipieren die Grünstromproduzenten unter der Einspeisevergütung Anpassungen des Vergütungssatzes, so sollte der Regulator im Hinblick auf die Innovationsanreize das Ausschreibungsmodell der Einspeisevergütung vorziehen.

7.4 Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte im Quotenmodell

Wir sahen, dass im Ausschreibungsmodell durch eine gestärkte Verhandlungsposition der Grünstromanbieter höhere Mitnahmegewinne anfallen werden. Auch im Quotenmodell ist die Verhandlungsposition der Grünstromanbieter für die Höhe der Mitnahmegewinne entscheidend. Wir nehmen an, dass die Grünstromproduzenten sich auch im Quotenmodell genau wie im Ausschreibungsmodell in einer Lage befinden, in der sie dem Auktionator eine take-it-or-leave-it-offer unterbreiten können. Allerdings ist die Verhandlungsposition der Grünstromproduzenten nun auch noch abhängig von der Höhe der Sanktion, die dem Netzbetreiber droht,

falls er die vom Regulator vorgeschriebene Grünstrommenge nicht in sein Netz einspeist.

Generell ist eine Sanktion in der Realität proportional zur Differenz zwischen der vorgeschriebenen und der tatsächlich erbrachten Grünstrommenge, sofern letztere kleiner ist als erstere. Der Netzbetreiber zahlt also hier eine Gebühr für jede fehlende kWh Grünstrom. Im nächsten Unterabschnitt wollen wir uns die Wirkung solch einer proportionalen Sanktion anschauen.

Es wäre auch denkbar, dass der Regulator immer eine Sanktion in Form einer Strafzahlung verhängt, wenn der Netzbetreiber die vorgeschriebene Grünstrommenge nicht erfüllt. Hier wäre also die Strafzahlung unabhängig von der Höhe der fehlenden Grünstrommenge. Es wäre also eine pauschale und keine proportionale Sanktion. Ein solcher Sanktionsmechanismus existiert in der Realität nicht. Wir werden in diesem Abschnitt dennoch die Wirkungen dieser Sanktionsform untersuchen.

7.4.1 Die Wirkungen einer proportionalen Sanktion

Im Quotenmodell geht die Rolle des Auktionators vom Regulator auf den Netzbetreiber über. Wir sahen, dass der Regulator die Auktion auch dann durchführt, wenn sie für ihn einen negative Wert hat. Das liegt daran, dass der Regulator nicht das Ziel der Gewinnmaximierung, sondern das Mengenziel verfolgt. Der Netzbetreiber jedoch ist ein Energieunternehmen, das seine Gewinne maximieren möchte. Deshalb wird der Netzbetreiber anders als der Regulator keine Auktion durchführen, wenn sie für ihn einen negativen Wert hat. Einen positiven Wert bekommt die Auktion für den Netzbetreiber nur durch die drohende Sanktion, die immer dann greift, wenn er die vorgeschriebene Grünstrommenge nicht erbringt.

Nehmen wir an, der Regulator erlegt dem Netzbetreiber eine proportionale Strafgebühr oder einen Sanktionssatz in Höhe von z auf. Für jede Grünstromeinheit, um die er die festgesetzte Menge Q unterschreitet, wird er nun also eine

Zahlung z erbringen müssen. Die Grünstromeinheiten, die unter laissez faire Bedingungen keinen Preis am Markt erzielen würden, weil sie annahmegemäß mit kostenlosem konventionellen Strom konkurrieren müssten, schaffen nun durch den Eingriff des Regulators einen Wert für den Netzbetreiber. Jede Grünstromeinheit hat nun für ihn einen Wert in Höhe von z , solange er die Menge Q noch nicht erfüllt hat.

Solange die Menge Q noch nicht erfüllt ist, wird der Wert der Auktion aus der Sicht des Netzbetreibers der Folgende sein:

$$V = z \sum_{j=1}^n q_j - r \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 \quad (7.49)$$

Dabei ist der erste Ausdruck der Differenz der Wert der vom Netzbetreiber erworbenen Grünstromeinheiten, und der zweite Ausdruck der Differenz sind die Produktionskosten dieser Grünstromeinheiten. Das Maximierungsproblem des Netzbetreibers lautet also:

$$\begin{aligned} \text{maximiere: } V &= z \sum_{j=1}^n q_j - r \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 \text{ in } q_j \\ \text{unter der Nebenbedingung: } &\sum_{j=1}^n q_j \leq Q \end{aligned}$$

Zu diesem Maximierungsproblem bilden wir die Lagrangefunktion:

$$\mathcal{L} = z \sum_{j=1}^n q_j - r \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2 - \lambda \left(Q - \sum_{j=1}^n q_j \right)$$

Die hinreichenden Kuhn-Tucker-Bedingungen zu diesem Maximierungsproblem lauten:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = z - \frac{2rq_i}{A_i^2} - \lambda \leq 0 \quad (7.50)$$

$$\wedge q_i \geq 0 \quad (7.51)$$

$$\wedge q_i \cdot \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = 0 \text{ jeweils für alle } i \in \{1 \dots n\} \quad (7.52)$$

$$\wedge \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Q - \sum_{j=1}^n q_j \geq 0 \quad (7.53)$$

$$\wedge \lambda \geq 0 \quad (7.54)$$

$$\wedge \lambda \cdot \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = 0 \quad (7.55)$$

Wenn der Netzbetreiber die Quote nicht erfüllt, dann gilt Bedingung (7.53) mit Striktheit. Aufgrund der Bedingung (7.55) muss dann $\lambda = 0$ gelten. Unter $\lambda = 0$ müssen die Grenzkosten eines jeden Grünstromproduzenten aufgrund der Bedingung (7.50) mindestens genau so groß sein wie die Strafgebühr z . Sind die Grenzkosten eines Grünstromproduzenten größer als die Strafgebühr, dann muss seine produzierte Menge aufgrund (7.52) gleich null sein. Diesen Fall können wir ausschließen, da die Grenzkosten eines Produzenten null betragen, wenn seine produzierte Menge gleich null ist.

Daraus folgt, dass die Bedingung (7.50) auf jeden Fall mit Gleichheit gelten muss, wenn der Netzbetreiber das Mengenziel nicht erfüllt. In diesem Fall wählt er eine Allokation, so dass die Grenzkosten aller Grünstromproduzenten gerade so hoch sind wie die Strafgebühr:

$$\frac{2rq_i}{A_i^2} = z \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\} \quad (7.56)$$

Wenn der Netzbetreiber die Quote erfüllt, dann gilt Bedingung (7.53) mit Gleichheit. Es darf dann $\lambda > 0$ sein. Wäre (7.50) für einen beliebigen Produzenten mit Striktheit erfüllt, dann wäre seine produzierte Menge aufgrund (7.52) gleich null. Damit wären seine Grenzkosten gleich null und es müsste deshalb $z - \lambda < 0$ gelten. Gilt jedoch $z - \lambda < 0$, dann wäre (7.50) für alle Produzenten unabhängig von ihren Grenzkosten mit Striktheit erfüllt. Aufgrund (7.52) wären dann die produzierten Mengen aller Produzenten gleich null. Wenn die Quote erfüllt sein soll, dann muss auch sie in diesem Fall gleich null sein. Diesen Fall können wir wiederum ausschließen und können deshalb folgern, dass auch unter Erfüllung der Quote (7.50) mit Gleichheit erfüllt sein muss. Es muss also bei Erfüllung des

Mengenziels gelten:

$$\frac{2rq_i}{A_i^2} = z - \lambda \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\} \quad (7.57)$$

Auch hier wird also der Netzbetreiber eine Allokation wählen, so dass die Grenzkosten aller Grünstromproduzenten wieder identisch sind. Außerdem wissen wir aufgrund (7.54) in Verbindung mit (7.57), dass die Grenzkosten höchstens so hoch sein dürfen wie die Strafgebühr.

Wir wissen aus Gleichung (7.15), dass unter identischen Grenzkosten für zwei beliebige Produzenten der folgende Zusammenhang gilt:

$$q_j = q_i \cdot \frac{A_j^2}{A_i^2} \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\} \text{ und für alle } j \in \{1 \dots n\}$$

Außerdem wissen wir aus Gleichung (7.16), dass bei einer Erfüllung des Mengenziels bei identischen Grenzkosten, folgendes gilt:

$$q_i = \frac{A_i^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2}$$

Setzen wir (7.16) in (7.57) und beachten wir (7.54), dann kommen wir zu folgendem Schluss:

$$z \geq \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (7.58)$$

Gleichung (7.58) ist eine Mindestanforderung an den Sanktionssatz, die erfüllt sein muss, wenn der Netzbetreiber das Mengenziel erfüllen soll.

Aus Gleichung (7.16) können wir auch schließen, dass bei einer Nichterfüllung des Mengenziels durch den Netzbetreiber die folgende Bedingung gelten muss:

$$q_i < \frac{A_i^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (7.59)$$

Aus (7.56) können wir dann schließen, dass unter Nichterfüllung des Mengenziels für den Sanktionssatz gilt:

$$z < \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (7.60)$$

Wir sehen aus (7.58) und (7.60) sowie aus Gleichung (6.8), dass der kritische Sanktionssatz im Quotenmodell mindestens so hoch sein muss wie der Vergütungssatz im Einspeisemodell, wenn der Regulator sein Mengenziel auch wirklich erreichen will.

Nehmen wir nun an, dass der Regulator den Sanktionssatz so hoch setzt, dass der Netzbetreiber die Quote auch dann erfüllt, falls sich ein beliebiger Produzent $i \in \{1 \dots n\}$ entschließt, sich nicht an der Produktion zu beteiligen. Für diesen Sanktionssatz muss die folgende Bedingung gelten:

$$z \geq \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2} \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\} \quad (7.61)$$

Unter solch einem Sanktionssatz schätzt der Netzbetreiber die Q Grünstromeinheiten im Wert so hoch ein, dass er bei n Produzenten und auch bei $n - 1$ Produzenten bereit ist, die Quote zu erfüllen. Der Wert, den nun jeder Produzent zur Auktion beiträgt, besteht nun wie unter dem Ausschreibungsmodell aus der Senkung der aggregierten Produktionskosten bei der Produktion aller Q Grünstromeinheiten, die jeder einzelne Produzent durch seine Einbringung in die Produktion herbeiführt. Entsprechend wird unter diesem Sanktionssatz der Gewinn eines jeden Produzenten der gleiche sein wie unter dem Ausschreibungsmodell in Gleichung (7.20):

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2 \left(\sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2 \right)} \quad (7.62)$$

Folglich sind auch die Mitnahmeeffekte in beiden Subventionsregimen unter diesem Vergütungssatz identisch.

Nehmen wir nun an, der Regulator wählt einen Sanktionssatz, der höchstens so hoch ist wie der Vergütungssatz unter der Einspeisevergütung:

$$z \leq \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2}$$

Es muss hier der Sanktionssatz genau so hoch sein wie die Grenzkosten der Produzenten:

$$z = \frac{2rq_i}{A_i^2} \text{ für alle } i \in \{1 \dots n\}$$

Ist der Sanktionssatz strikt kleiner als der Vergütungssatz, dann wird die Quote nicht erfüllt und es gilt (7.56). Ist der Sanktionssatz so groß wie der Vergütungssatz dann wird die Quote erfüllt. Wenn die Quote erfüllt wird, dann sind die Grenzkosten gleich dem Vergütungssatz und damit auch gleich dem Sanktionssatz. Die Kuhn-Tucker-Bedingung (7.54) ist dann mit Gleichheit erfüllt.

Wenn der Sanktionssatz gerade den Grenzkosten entspricht, dann gilt für die Grünstrommenge eines jeden Produzenten j :

$$q_j = \frac{zA_j^2}{2r} \tag{7.63}$$

Damit gilt für die aggregierte Grünstrommenge:

$$\sum_{j=1}^n q_j = \frac{z \sum_{j=1}^n A_j^2}{2r} \tag{7.64}$$

Der Wert der Grünstromeinheiten für den Netzbetreiber beträgt:

$$z \cdot \sum_{j=1}^n q_j = \frac{z^2 \sum_{j=1}^n A_j^2}{2r} \quad (7.65)$$

Setzen wir Gleichung (7.63) in die aggregierten Produktionskosten

$$r \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j}{A_j} \right)^2,$$

dann erhalten wir für diese Kosten den Wert:

$$\frac{z^2 \sum_{j=1}^n A_j^2}{4r} \quad (7.66)$$

Den Wert der Auktion erhalten wir nun aus der Differenz des Bruttowertes in (7.65) und der aggregierten Produktionskosten in (7.66):

$$V = \frac{z^2 \sum_{j=1}^n A_j^2}{4r} \quad (7.67)$$

Beteiligt sich nun ein beliebiger Produzent i nicht an der Grünstromproduktion, dann wird der Auktionswert auf den folgenden Betrag fallen:

$$V = \frac{z^2 \sum_{j=1}^n A_j^2 - A_i^2}{4r} \quad (7.68)$$

Der Gewinn eines Produzenten im Gleichgewicht ist erneut identisch mit dem Beitrag, den er zum Auktionswert leistet. Somit bestimmt sich der Gewinn eines Produzenten i aus der Differenz der Gleichungen (7.67) und (7.68):

$$\pi_i = \frac{z^2 A_i^2}{4r} \quad (7.69)$$

Setzt der Regulator den Sanktionssatz z im Quotenmodell mit proportionaler Sanktion genau so hoch wie den Vergütungssatz im Einspeisemodell aus Gleichung (6.8), dann sind die Mitnahmegewinne unter beiden Subventionsregimen gleich. Jeder Produzent i realisiert dann einen Gewinn in Höhe von:

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2}$$

Wie bereits erwähnt sind unter diesem Sanktionssatz auch die aggregierten Produktionsmengen in Quoten- und Einspeisemodell die selben. Somit können wir festhalten: In Bezug auf die Erfüllung des Mengenziels sowie in Bezug auf die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten, sind Quoten- und Einspeisemodelle absolut äquivalent, wenn Vergütungs- und Sanktionssätze in diesen Modellen identisch gewählt werden.

7.4.2 Die Wirkung einer pauschalen Sanktion

Auch mit einer pauschalen Sanktionierung des Netzbetreibers, kann der Regulator eine Situation wie im Ausschreibungsmodell herbeiführen, wenn er die Sanktion hoch genug ansetzt. Hierfür muss die Strafzahlung, die der Regulator dem Netzbetreiber bei Nichterfüllung der Quote androht, größer sein, als die aggregierten Gebote der Grünstromproduzenten im Gleichgewicht des Ausschreibungsmodells.

Die Überlegung hier ist trivial: Unterbreiten die Grünstromproduzenten dem Netzbetreiber im Quotenmodell die gleichen Gebote wie dem Regulator im Ausschreibungsmodell, so muss der Netzbetreiber eine Zahlung in Höhe der aggregierten Gebote leisten, falls er die Quote erfüllen möchte. Erfüllt er die Quote nicht, dann muss er die pauschale Strafe bezahlen, die ihm der Regulator auferlegt. Ist diese Strafe höher als die Zahlung, die er an die Grünstromproduzenten leisten muss, so zieht er es vor, statt der Strafe die Gebote der Grünstromproduzenten

zu akzeptieren. Die Grünstromproduzenten wissen das und unterbreiten deshalb die gleichen Gebote wie unter dem Ausschreibungsmodell.

Die kleinste Sanktion, die gerade noch dazu führt, dass die Quote vom Netzbetreiber gerade noch erfüllt wird, ist so groß wie die minimalen Produktionskosten, die bei der Produktion der Quote anfallen. Wieder sind die Produktionskosten dann minimal, wenn die Produktion so auf die Grünstromproduzenten verteilt wird, dass ihre Grenzkosten identisch sind. Diese Bedingung bestimmt erneut eindeutig, wie die Grünstromproduktion auf die Produzenten verteilt wird.

Ist die Strafe, die der Netzbetreiber bezahlen muss, so groß wie diese aggregierten Produktionskosten, dann wird der Netzbetreiber kein Angebot der Grünstromproduzenten akzeptieren, bei dem die aggregierten Gebote über den Produktionskosten liegen. Die Grünstromproduzenten wissen das und verlangen im Gleichgewicht eine Zahlung vom Netzbetreiber, die ihren Produktionskosten entspricht. Sie können sich nicht besser stellen, indem sie mehr verlangen, weil dann der Netzbetreiber das Gebot ablehnen und es bevorzugen wird, die Strafe zu entrichten. In solch einem Fall würden also keine Mitnahmegewinne bei den Grünstromproduzenten anfallen.

Setzt der Regulator die Strafe geringer an als die minimalen aggregierten Produktionskosten, dann wird kein Grünstrom ins Netz eingespeist. Wieder ist der Netzbetreiber nur willens, den Grünstromproduzenten die Menge Q abzukaufen, wenn ihr aggregiertes Gebot unter der Strafe liegt. In diesem Fall müssten die Grünstromproduzenten weniger fordern, als sie der Grünstrom in der Produktion kostet. Sie werden sich in diesem Fall besser stellen, wenn sie keinen Strom produzieren, um damit Verluste aus der Grünstromproduktion zu vermeiden.

7.5 Innovationsanreize im Quotenmodell bei Ausweitung der Menge

Im vorhergehenden Abschnitt sahen wir, dass der Regulator im Quotenmodell eine Situation wie im Ausschreibungsmodell herbeiführen kann, wenn er die Sanktion nur hoch genug ansetzt. Genau diese Annahme wollen wir nun auch in diesem Abschnitt treffen. Wir wollen annehmen, dass die drohende Sanktion so hoch ist, dass der Netzbetreiber die Quote immer erfüllt. Das Gleichgewicht, das sich nun im Quotenmodell einstellen wird, wird deshalb identisch mit dem Gleichgewicht des Ausschreibungsmodells sein.

Ein wichtiger Unterschied zwischen Ausschreibungs- und Quotenmodell kommt nun bei der Analyse der Innovationsanreize zum Tragen. Im Ausschreibungsmodell werden durch die Auktion Grünstrommengen und Subventionsleistungen zwischen Auktionator und Grünstromproduzenten über einen sehr langen zeitlichen Horizont verbindlich festgelegt. Aus diesem Grund ist es ein Unterschied für die Grünstromproduzenten, ob sie eine Innovation vor oder nach der Auktion durchführen. Führen sie eine Innovation vor der Auktion durch, so beeinflussen sie mit ihrer Auktion die Menge, die sie vom Regulator zugeteilt bekommen, sowie die Subventionszahlung, die sie für ihre Menge erhalten. Führen sie hingegen die Innovation nach der Auktion durch, so sind Mengen und Subventionszahlungen durch einen Vertrag über eine sehr lange Zeit verbindlich festgelegt. Wir sahen, dass in diesem Fall der Innovationsanreiz nur aus einer Produktionskostensenkung bei erhöhter Produktivität besteht.

Im Quotenmodell, wollen wir nun annehmen, gehen Netzbetreiber und Grünstromproduzenten keine langfristige Vertragsbeziehung ein. Die Verträge sind sehr kurzfristig und der Netzbetreiber, so wollen wir annehmen, führt ständig Ausschreibungen durch, um die Angebote der preiswertesten Grünstromproduzenten zu nutzen, um seine Quote möglichst günstig erfüllen zu können. Im Quotenmo-

dell ist also nach der Auktion immer vor der Auktion. Die Innovationsanreize im Quotenmodell müssen also unter einer harten Sanktion identisch zu den Innovationsanreizen im Ausschreibungsmodell vor der Auktion sein.

Im Quotenmodell hat der Regulator jederzeit die Möglichkeit, dem Netzbetreiber ein höheres Mengenziel vorzugeben. Wir sahen in Kapitel 6, dass unter der Einspeisevergütung die Grünstrommenge in Folge einer Innovation ausgedehnt wird. Diese Mengenausdehnung erhöht die Innovationsanreize. Wir wollen nun die Innovationsanreize im Quotenmodell mit denen des Einspeisemodells vergleichen, wenn der Regulator im Quotenmodell eine Mengenausdehnung exogen in dem Ausmaß herbeiführt, wie sie im Einspeisemodell durch die Innovation endogen herbeigeführt wird.

7.5.1 Innovationsanreize im Duopol

Die Innovationsanreize im Quotenmodell sind identisch mit den Innovationsanreizen im Ausschreibungsmodell vor der Innovation. Wir können damit den Innovationsanreiz eines Duopolisten im Quotenmodell aus den Gleichungen (7.33) und (7.34) entnehmen:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + A_{-i}^2)(\bar{A}_i^2 + A_{-i}^2)}$$

Dies ist der Gewinnzuwachs eines Produzenten i , wenn er die Produktivität seiner Technologie von \bar{A}_i auf \hat{A}_i erhöht. Falls sein Konkurrent $-i$ keine Innovation durchführt, wird $A_{-i} = \bar{A}_{-i}$ gelten, und falls $-i$ selbst auch eine Innovation durchführt, dann gilt $A_{-i} = \hat{A}_{-i}$.

Erhöht der Regulator die Menge Q exogen auf die Menge \hat{Q} , die sich unter der Einspeisevergütung einstellt, nachdem die Produzenten eine Innovation durchgeführt haben, dann ist der Innovationsanreiz des Produzenten i durch folgende Gleichung gegeben:

$$r\hat{Q}^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + A_{-i}^2)(\bar{A}_i^2 + A_{-i}^2)} \quad (7.70)$$

Der absolute Innovationsanreiz eines Produzenten i ist unter der Einspeisevergütung durch Gleichung (6.20) gegeben:

$$rQ^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2)^2}$$

Die Grünstrommenge, die sich nach einer Innovation einstellen wird, ist durch Gleichung (6.22) gegeben:

$$Q = \hat{Q} \cdot \frac{\bar{A}_i^2 + \bar{A}_{-i}^2}{\hat{A}_i^2 + A_{-i}^2}$$

Auch hier gilt wieder $A_{-i}^2 = \bar{A}_{-i}^2$, wenn Produzent $-i$ keine Innovation durchführt, und $A_{-i}^2 = \hat{A}_{-i}^2$, wenn von diesem Produzenten eine Innovation durchgeführt wird. Wir können den Innovationsanreiz des Produzenten i unter der Einspeisevergütung nun auch in Abhängigkeit der Menge \hat{Q} ausdrücken:

$$r\hat{Q}^2 \cdot \frac{\hat{A}_i^2 - \bar{A}_i^2}{(\hat{A}_i^2 + A_{-i}^2)^2} \quad (7.71)$$

Wenn wir den Innovationsanreiz des Quotenmodells aus Gleichung (7.70) mit dem Innovationsanreiz des Einspeisemodells in Gleichung (7.71) vergleichen, dann stellen wir fest, dass der Innovationsanreiz des Quotenmodells größer ist, weil der Nenner in Ausdruck (7.70) kleiner ist als der in (7.71).

Der Innovationsanreiz ist also unter duopolistischem Wettbewerb im Quotenmodell größer als unter der Einspeisevergütung, wenn im Quotenmodell die

Grünstrommenge vom Regulator exogen so angehoben wird, wie das unter der Einspeisevergütung endogen geschieht.

Auch hier wird wieder der Trade-off zwischen der Minimierung der Mitnahmeeffekte und der Maximierung der Innovationsanreize deutlich. Das Quotenmodell generiert bei identischer aggregierter Grünstrommenge höhere Mitnahmegewinne als die Einspeisevergütung. Gleichzeitig generiert das Quotenmodell aber unter einer identischen aggregierten Grünstrommenge bei einer gegebenen Produktivitätsverbesserung auch höhere Gewinnzuwächse als die Einspeisevergütung.

7.5.2 Innovationsanreize bei vollkommener Konkurrenz

Unter einem Szenario der vollkommenen Konkurrenz fassen wir wieder eine Marktsituation auf, in der eine große Anzahl an Grünstromproduzenten existiert, von denen keiner gegenüber den Konkurrenten einen nennenswerten Produktivitätsvorsprung hat. Für die Analyse der Innovationsanreize unter vollkommener Konkurrenz wollen wir deshalb annehmen, dass die Produzenten nicht mehr abzählbar sind, sondern auf einem Kontinuum zwischen 0 und 1 liegen. Es existieren also unendlich viele Produzenten, ihre Gesamtzahl wird jedoch auf 1 normiert.

In der Ausgangssituation produzieren alle Produzenten mit einer identischen Produktivität \bar{A} . Jeder Produzent wird sich nun überlegen, ob er eine Innovation durchführen wird oder nicht. Führt er die Innovation durch, dann entstehen ihm die Innovationskosten C und er wird seine Produktivität von \bar{A} auf \hat{A} erhöhen.

Wir wollen nun zunächst den Innovationsanreiz eines Produzenten unter der Einspeisevergütung bei vollkommener Konkurrenz ermitteln, um diesen mit dem Innovationsanreiz im Quotenmodell vergleichen zu können.

Wieder ist für die Berechnung des Innovationsanreizes unter der Einspeisevergütung Gleichung (6.13) der Ausgangspunkt unserer Analyse. Diese Gleichung gibt uns den Gewinn eines Produzenten im Einspeisemodell:

$$\pi_i = \frac{A_i^2 p^2}{4r}$$

Verzichtet ein Produzent im Einspeisemodell darauf, die Innovation durchzuführen, so wird er einen Gewinn in Höhe von

$$\pi_i = \frac{\bar{A}^2 p^2}{4r} \quad (7.72)$$

realisieren.

Führt er hingegen die Innovation durch, so realisiert er einen Gewinn in Höhe von:

$$\pi_i = \frac{\hat{A}^2 p^2}{4r} \quad (7.73)$$

Ein Produzent wird nun die Innovation durchführen, wenn die Innovationskosten C geringer sind, als der Gewinn, den er durch die Innovation erzielt. Die Innovation wird also durchgeführt, wenn gilt:

$$C \leq \frac{\hat{A}^2 p^2}{4r} - \frac{\bar{A}^2 p^2}{4r} = \frac{p^2}{4r} (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_E^{krit} \quad (7.74)$$

Der Preis ist unter einer Einspeisevergütung generell durch Gleichung (6.8) gegeben:

$$p = \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2}$$

Berücksichtigen wir, dass die Anzahl der Produzenten auf 1 normiert ist und dass alle Produzenten die gleiche ursprüngliche Produktivität \bar{A} haben, dann können wir den Preis folgendermaßen ausdrücken:

$$p = \frac{2rQ}{\bar{A}^2} \quad (7.75)$$

Setzen wir diesen Preis in Gleichung (7.74) ein, so erhalten wir die folgende Bedingung, für die die Produzenten unter der Einspeisevergütung die Innovation durchführen werden:

$$C \leq \frac{rQ^2}{\bar{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_E^{krit} \quad (7.76)$$

Ermitteln wir nun die Innovationsanreize im Quotenmodell. Im Abschnitt (7.2) sahen wir, dass sich unter vollkommener Konkurrenz die Gewinne der Produzenten in einer Ausschreibung denen des Einspeisemodells angleichen. Wir können deshalb unter vollkommener Konkurrenz den Gewinn eines Produzenten im Quotenmodell aus Gleichung (6.11) entnehmen, die ebenso den Gewinn eines Produzenten unter der Einspeisevergütung wiedergibt:

$$\pi_i = \frac{rQ^2 A_i^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2}$$

Wenn ein Anteil η der Unternehmer in die neue Technologie investiert und deshalb künftig mit einer Produktivität von \hat{A} produziert und der verbleibende Teil $1 - \eta$ der Unternehmer mit der alten Produktivität \bar{A} weiter produziert, so ist der Gewinn eines Unternehmers i durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\pi_i = \frac{rA_i^2 Q^2}{\left(\eta \hat{A}^2 + (1 - \eta) \bar{A}^2\right)^2} \quad (7.77)$$

Verzichtet dieser Unternehmer auf die Durchführung der Innovation, so realisiert er einen Gewinn von:

$$\pi_i = \frac{r\bar{A}^2Q^2}{(\eta\hat{A}^2 + (1-\eta)\bar{A}^2)^2} \quad (7.78)$$

Führt er hingegen die Innovation durch, so ist sein Gewinn durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\pi_i = \frac{r\hat{A}^2Q^2}{(\eta\hat{A}^2 + (1-\eta)\bar{A}^2)^2} \quad (7.79)$$

Wieder wird ein Produzent die Innovation durchführen, wenn die Innovationskosten C geringer sind, als der Gewinn, den er durch die Innovation erzielt. Die Innovation wird also durchgeführt wenn gilt:

$$C \leq \frac{rQ^2}{(\eta\hat{A}^2 + (1-\eta)\bar{A}^2)^2} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) \quad (7.80)$$

Da unter $\eta = 1$ alle Unternehmer die Innovation durchführen, bedeutet dies, dass alle Unternehmer die Innovation durchführen werden, solange gilt:

$$C \leq \frac{rQ^2}{\hat{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_Q^{krit} \quad (7.81)$$

Gilt hingegen $\eta = 0$, so wird kein Unternehmer die Innovation durchführen. Dies bedeutet, dass kein Unternehmer die Innovation durchführen wird, solange gilt:

$$C \geq \frac{rQ^2}{\bar{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) \quad (7.82)$$

Nehmen wir nun an, der folgende Zusammenhang wäre gegeben:

$$\frac{rQ^2}{\hat{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) \leq C \leq \frac{rQ^2}{\bar{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) \quad (7.83)$$

In diesem Fall führt ein Anteil η der Unternehmer die Innovation durch, so dass gilt:

$$C = \frac{rQ^2}{(\eta\hat{A}^2 + (1-\eta)\bar{A}^2)^2} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) \quad (7.84)$$

Der Innovationsgewinn eines jeden Produzenten der Fraktion η ist nun genau so hoch wie die Kosten, die er bei der Durchführung der Innovation tragen muss.

Vergleichen wir nun wieder die Innovationsanreize unter der Einspeisevergütung mit denen im Quotenmodell. Unter der Einspeisevergütung werden alle Unternehmer die Innovation durchführen, solange Gleichung (7.76) erfüllt ist. Im Quotenmodell muss Gleichung (7.81) erfüllt sein, damit alle Unternehmer die Innovation durchführen. Wir sehen aus diesen beiden Gleichungen, dass der kritische Wert der Innovationskosten, für den die Innovation gerade noch von allen Produzenten durchgeführt wird, im Quotenmodell kleiner sein muss:

$$C_Q^{krit} < C_E^{krit} \quad (7.85)$$

Im Einspeisemodell sind die Innovationanreize damit höher als im Quotenmodell, da im Quotenmodell die Innovationskosten geringer sein müssen als unter der Einspeisevergütung, damit alle Produzenten die Innovation durchführen.

Die höheren Innovationsanreize der Einspeisevergütung lassen sich jedoch hier vollständig auf die Ausdehnung der aggregierten Produktionsmenge, die nach einer Innovation unter der Einspeisevergütung stattfindet, zurückführen. Erhöht der Regulator exogen die aggregierte Produktionsmenge in dem Maß, wie sie unter dem Einspeisemodell durch die Innovation endogen erhöht wird, so sind die kritischen Innovationskosten durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$C \leq \frac{r\hat{Q}^2}{\hat{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_Q^{krit} \quad (7.86)$$

Dabei steht \hat{Q} für die aggregierte Strommenge unter der Einspeisevergütung, falls alle Produzenten die Innovation durchführen werden. Weil der Preis unter der Einspeisevergütung auch nach der Innovation konstant bleibt, muss gelten:

$$p = \frac{2r\hat{Q}}{\hat{A}^2} \quad (7.87)$$

Setzen wir (7.75) und (7.87) gleich, dann erhalten wir nach einfachen Umformungen:

$$Q = \frac{\bar{A}^2}{\hat{A}^2} \hat{Q}$$

Mit diesem Ausdruck ersetzen wir die aggregierte Strommenge Q in Gleichung (7.76), um die kritischen Innovationskosten unter dem Einspeisenmodell mit denen des Quotenmodells vergleichbar zu machen.

Damit können wir die kritischen Innovationskosten unter dem Einspeisemodell folgendermaßen ausdrücken:

$$C \leq \frac{r\hat{Q}^2}{\hat{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_E^{krit} \quad (7.88)$$

Wir sehen, dass die kritischen Kosten unter der Einspeisevergütung nun identisch sind mit denen des Quotenmodells. Der Innovationsanreiz ist bei exogener Ausdehnung der aggregierten Produktionsmenge im Quotenmodell unter beiden Subventionsregimen identisch.

Nehmen wir nun an, wir lassen die aggregierte Produktionsmenge des Quotenmodells konstant und passen statt dessen unter der Einspeisevergütung den Preis

so an, dass die aggregierte Produktionsmenge auch nach der Innovation konstant bleibt. Hierfür muss der Preis vom Regulator auf

$$p = \frac{2rQ}{\hat{A}^2}$$

zurückgesetzt werden.

Setzen wir diesen Preis in Gleichung (7.74) und ermitteln wir dann die kritischen Innovationskosten, dann erhalten wir:

$$C \leq \frac{rQ^2}{\hat{A}^4} \cdot (\hat{A}^2 - \bar{A}^2) := C_E^{krit} \quad (7.89)$$

Vergleichen wir wieder die kritischen Kosten des Quotenmodells aus (7.81) mit denen der Einspeisevergütung aus (7.89) dann sehen wir, dass die Innovationsanreize in beiden Modellen erneut identisch sind.

Unter vollkommener Konkurrenz werden die Innovationsanreize der beiden Subventionsmodelle angeglichen, falls der Regulator den Preis im Einspeisemodell beziehungsweise die Menge im Quotenmodell jederzeit anpasst. Findet solch eine Anpassung nicht statt, so ist es die Einspeisevergütung, welche die höheren Innovationsanreize ausübt.

Kapitel 8

Das Quotenmodell unter unvollständiger Information

In Kapitel 7 wurde ein Konflikt zwischen dem Ziel der Minimierung von Mitnahmeeffekten und dem Ziel Maximierung der Innovationsanreize deutlich herausgestellt. Wir sahen, dass durch geringere Mitnahmegewinne tendenziell auch der Gewinnzuwachs eines Produzenten, den er in Folge einer Innovation erzielt, kleiner wird. Damit sinken also die Innovationsanreize mit den Mitnahmegewinnen.

Hier in diesem Kapitel soll nun ein weiterer Zielkonflikt erörtert werden, der sich ergibt, wenn sich der Regulator aufgrund von Informationsdefiziten kein Bild über die Produktionsmöglichkeiten der Grünstromproduzenten machen kann. In den vorhergehenden Kapiteln gingen wir immer davon aus, dass der Regulator die Technologien und insbesondere auch die Produktivitäten der Grünstromproduzenten genau kennt. Unter dem Einspeisemodell in Kapitel 6 konnte er deshalb bei einem gegebenen Vergütungssatz die aggregierte Grünstrommenge exakt vorhersehen.

Das gleiche galt im Quotenmodell bei moderater Sanktion. Wir sahen, dass sich im Quotenmodell nicht immer die vorgeschriebene Quote einstellen wird, wenn der Regulator für den Netzbetreiber keine harte Sanktion bei einer Nicht-

erfüllung der Quote vorsieht. In Kapitel 7 nahmen wir an, dass der Regulator auch zu einem gegebenen Sanktionssatz die aggregierte Grünstrommenge genau vorhersehen kann, weil er über die Technologien der Grünstromproduzenten exakt informiert ist.

Von dieser Annahme der vollständigen Information des Regulators sowie des Netzbetreibers wollen wir nun im Folgenden abrücken. Wir werden nun annehmen, dass sowohl Regulator als auch Netzbetreiber keine Vorstellung über die Technologie und insbesondere über die Produktivität der Technologien der Grünstrombetreiber haben. Wenn nun der Regulator im Rahmen einer Einspeisevergütung einen Vergütungssatz, oder im Rahmen des Quotenmodells einen moderaten Sanktionssatz festlegt, dann kann er aufgrund der unvollständigen Information nicht vorhersehen, welche aggregierte Grünstrommenge sich einstellen wird.

Wählt hingegen der Regulator im Rahmen eines Quotenmodells eine sehr harte Sanktion, so kann er sich darauf verlassen, dass die Quote vom Netzbetreiber erfüllt wird. Aus diesem Grund wird der Regulator auch unter der unvollständigen Information bei einer derartigen Ausgestaltung des Quotenmodells die aggregierte Grünstrommenge exakt vorhersehen können.

Im Kapitel 7 sahen wir, dass eine harte Sanktion unter vollständiger Information die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten erhöht, weil eine harte Sanktion den Wert, den der Netzbetreiber dem grünen Strom beimisst, erhöht und dadurch die Verhandlungsposition der Grünstromproduzenten verbessert wird. Wir werden sehen, dass auch unter unvollständiger Information die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten durch eine harte Sanktion tendenziell steigen werden. Unter unvollständiger Information tritt damit ein Trade-off zwischen der Erfüllung des Mengenziels und der Minimierung der Mitnahmeeffekte in den Vordergrund.

Um die Bedeutung der Einhaltung des Mengenziels zu verdeutlichen, wollen wir uns nochmal den Sinn und Zweck der Subventionierung von erneuerba-

rer Energie ins Gedächtnis rufen. Durch eine Subventionierung sollen zum einen durch learning-by-doing-Effekte technologische Verbesserungen herbeigeführt werden und zum anderen will man ein Ambiente schaffen, in dem Produzenten mit dieser neuen Technologie experimentieren können, um damit wichtige Informationen über die Leistungsfähigkeit der Technologie zu generieren. Beides sowohl die learning-by-doing-Effekte als auch die Informationsgenerierung¹, werden um so größer sein, je größer die Verbreitung der erneuerbaren Energien unter einem Subventionsregime sein werden. Auch die Einhaltung eines vom Regulator gesetzten Mengenziels kann deshalb neben der Minimierung von Mitnahmeeffekten und der Schaffung von Innovationsanreizen ein sinnvolles Kriterium sein, das durch ein Subventionsregime erfüllt werden soll.

In unserer Analyse des Quotenmodells unter unvollständiger Information wollen wir wieder annehmen, dass der Netzbetreiber zur Erfüllung der Quote eine Auktion durchführt. Diesmal soll er jedoch den Grünstromproduzenten einen Preis vorgeben und diese sollen dann zu diesem Preis ein Mengengebot unterbreiten. Die Grünstromproduzenten werden also zu einem gegebenen Preis mitteilen, wieviel grünen Strom sie dem Netzbetreiber liefern wollen. Der Netzbetreiber kann nun die aggregierte angebotene Grünstrommenge zu jedem seiner Preisgebote beobachten. Er wird mit seinem Gebot beim Preis für konventionelle Energie beginnen. Da der Preis der konventionellen Energie annahmegemäß bei null liegt, werden die Grünstromproduzenten zu diesem Anfangsgebot keinen Strom anbieten. Der Netzbetreiber kann dann entweder den Preis erhöhen oder keinen Grünstrom ins Netz einspeisen und die Sanktion durch den Regulator tragen.

Erhöht er den Preis und holt somit erneut Angebote der Grünstromproduzenten ein, so beobachtet er wieder eine aggregierte Grünstrommenge. Liegt diese Menge unter der vom Regulator vorgeschriebenen Menge, so kann der Netzbetreiber entweder den Preis weiter erhöhen und neue Mengengebote einholen oder

¹zur technologischen Verbesserung durch learning-by-doing Effekte siehe Arrow, Kenneth (1962) und zur Informationsgenerierung siehe Cowan, Robin (1991)

wiederum das aktuelle Gebot annehmen und die Sanktion des Regulators tragen.

Ist die aggregierte Grünstrommenge größer als die vom Regulator vorgeschriebene Menge, dann wird der Netzbetreiber den Preis in einer neuen Auktionsrunde auf jeden Fall senken und neue Angebote einholen. Wenn es sein Ziel ist, die Quote zu erfüllen, dann wird er dieses Ziel möglichst billig erreichen wollen. Das bedeutet dann, dass er nicht mehr grünen Strom einkaufen wird, als er unbedingt muss.

Entspricht das aggregierte Mengengebot exakt der vorgeschriebenen Grünstrommenge, dann kann der Netzbetreiber die Gebote annehmen und verhindert so eine Sanktion, er kann jedoch auch den Preis absenken und wiederum neue Angebote einholen. Irgendwann nimmt jedoch der Regulator das Mengengebot an und speist die entsprechende aggregierte Grünstrommenge ins Netz ein. Entweder er erfüllt dann die vorgeschriebene Menge und muss dann keine Sanktion befürchten oder er erfüllt die vorgeschriebene Menge nicht und muss dann mit der Sanktion leben.

Die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten werden unter solch einem Szenario vom Informationsstand der Grünstromproduzenten abhängen. Kennt ein Grünstromproduzent nicht nur seine eigene Technologie, sondern auch die der Mitbewerber, so kann er durch eine strategische Zurückhaltung seiner Grünstromproduktion den Preis nach oben treiben und damit seine Mitnahmegewinne sowie die Mitnahmegewinne seiner Mitbewerber beeinflussen. Aufgrund des Einflusses, den der Informationsstand der Grünstromproduzenten auf die Mitnahmegewinne hat, wollen wir im Folgenden unterschiedliche Informationsszenarien untersuchen.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels wollen wir überlegen, welche Mitnahmegewinne die Grünstromproduzenten realisieren werden, wenn sie genau wie der Netzbetreiber völlig uninformiert sind. Im zweiten Abschnitt werden wir dann annehmen, dass ein Produzent existiert, der nicht nur die Produktivität seiner eigenen Technologie, sondern auch die der Mitbewerber kennt und deshalb zum strategischen Verhalten befähigt ist. Wir werden hier die Konsequenzen untersu-

chen, die sich aus solch einem strategischen Verhalten auf die Mitnahmeeffekte ergeben. Im letzten Abschnitt wollen wir dann die Konsequenzen untersuchen, die sich in Bezug auf die Mitnahmeeffekte ergeben, wenn beliebig viele Produzenten informiert sind und sich aus diesem Grund strategisch verhalten.

8.1 Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte bei uninformierten Produzenten

In diesem Abschnitt werden wir die Annahme treffen, dass die Produzenten außer ihrer eigenen Produktionsfunktion keinerlei weitere Informationen über die Angebotsseite des erneuerbaren Energiemarktes besitzen. Mit anderen Worten kennt also kein Grünstromproduzent die Produktionsfunktion seiner Konkurrenten. Ferner werden wir nun zunächst annehmen, dass der Regulator dem Netzbetreiber mit einer prohibitiv hohen Sanktion droht, sollte letzterer die vorgeschriebene Grünstrommenge nicht ins Netz einspeisen. Der Netzbetreiber wird also alles tun, um von den Grünstromproduzenten die vorgeschriebene Grünstrommenge zu erwerben.

Da die Grünstromproduzenten keinerlei Informationen über die Produktionsfunktionen ihrer Konkurrenten besitzen, werden sie sich völlig unstrategisch verhalten. Sie sind in diesem Fall Preisnehmer. Sie passen ihr Angebot so an, dass ihre Grenzkosten dem Preis entsprechen, der vom Netzbetreiber vorgegeben wird.

Der Netzbetreiber bietet nun zunächst einen Preis in Höhe von null an. Die Grünstromproduzenten, die sich unstrategisch verhalten, bieten eine Grünstrommenge von null an, da nur bei dieser Produktionsmenge die Grenzkosten null sein und damit den Wert des Preises annehmen werden. Der Netzbetreiber sieht, dass er zu diesem Preis keinen Strom ins Netz einspeisen kann und erhöht aus diesem Grund den Preis.

Das Verhalten der uninformierten Produzenten ist identisch mit dem Ver-

halten der Produzenten unter der Einspeisevergütung. Auch unter der Einspeisevergütung gestalten die Produzenten ihre Angebotspolitik derart, dass ihre Grenzkosten dem Preis entsprechen. Wir sahen das in Kapitel 6. Gleichung (6.7) des selbigen Kapitels, gibt uns folgende Abhängigkeit der aggregierten Grünstrommenge vom Preis des grünen Stroms:

$$Q = \frac{p \sum_{j=1}^n A_j^2}{2r} \quad (8.1)$$

Auf diese Abhängigkeit konnten wir in Kapitel 6 deshalb schließen, weil wir angenommen haben, dass die Produzenten sich als Mengenanpasser verhalten, also gemäß Preis gleich Grenzkosten anbieten. Da wir diese Annahme nun erneut treffen, gilt auch jetzt der Zusammenhang aus (8.1).

Für jeden Preis p , den der Netzbetreiber den Grünstromproduzenten bietet, wird er das in (8.1) beschriebene Produktionsniveau beobachten. Lösen wir (8.1) nach p auf, so erhalten wir den Preis p , den der Netzbetreiber bieten muss, um ein aggregiertes Produktionsniveau Q ins Netz einspeisen zu können. Dabei wird Q der Zielvorgabe des Regulators entsprechen, da der Netzbetreiber unter einer prohibitiv hohen Sanktion die Zielvorgabe immer einhalten wird. Aus diesem Grund wird hier der Preis, den der Netzbetreiber bietet, bei gleichem Mengenziel identisch sein zum Preis, der sich unter einer Einspeisevergütung gemäß Gleichung (6.8) einstellt:

$$p = \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (8.2)$$

Auch die Menge, die ein jeder Produzent zu diesem Preis anbietet, entspricht der angebotenen Menge des Einspeisemodells aus Gleichung (6.9):

$$q_i = \frac{A_i^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (8.3)$$

Droht also der Regulator dem Netzbetreiber mit einer prohibitiv hohen Sanktion und verhalten sich die Grünstromproduzenten alle unstrategisch, so wird sich bei identischem Mengenziel im Quotenmodell der gleiche Preis bilden wie unter der Einspeisevergütung. Durch die Zielvorgabe, die dem Netzbetreiber vom Regulator gesetzt wird, kann letzterer durch die strenge Sanktionierung dafür sorgen, dass das Mengenziel exakt eingehalten wird. Unter der Einspeisevergütung hingegen hat der Regulator keine Garantie, dass er das Mengenziel auch tatsächlich erreichen wird, wenn er den Vergütungssatz unter einem Szenario der unvollständigen Information setzt. Kennt er die Technologien der Grünstromproduzenten nicht exakt, dann weiß er nämlich nicht, welche aggregierte Grünstrommenge aus einem Vergütungssatz resultiert.

In diesem Szenario ist das Quotenmodell vorteilhafter. Der Preis pro kWh Grünstrom und damit auch die Mitnahmeeffekte sind bei gleicher Grünstrommenge identisch. Jedoch kann mit dem Quotenmodell die aggregierte Grünstrommenge exakt gesteuert werden. Diese Feststellung ist plausibel, da es sich beim Quotenmodell um ein mengenregulierendes Subventionsmodell handelt. Da die Einspeisevergütung ein preisregulierendes Subventionsmodell ist, kann dieses Modell die Mengensteuerung nicht in der Weise leisten wie das Quotenmodell.

Wird die Sanktion jedoch vom Regulator weniger rigoros gehandhabt, so verliert auch das Quotenmodell die Fähigkeit zur exakten Mengensteuerung. Nehmen wir an, der Regulator sanktioniert proportional und wählt dabei einen Sanktionssatz z , der kleiner ist als der Preis aus Gleichung (8.2). Der Sanktionssatz z ist eine Preisobergrenze. Der Netzbetreiber wird nicht bereit sein, einen höheren Preis pro kWh Grünstrom zu entrichten, als er für jede kWh Grünstrom, um die er das vorgeschriebene Mengenziel verfehlt, bezahlen muss.

Falls also z kleiner ist als der Preis aus Gleichung (8.2), so wird der Netzbetreiber den Grünstromproduzenten einen Preis von maximal z pro kWh Grünstrom bieten. Zu diesem Preis wird die Gesamtheit aller Grünstromproduzenten eine geringere aggregierte Grünstrommenge anbieten, als notwendig wäre, um das vor-

gesehene Mengenziel zu erfüllen. In diesem Fall erfüllt also der Netzbetreiber das Mengenziel nicht. Er speist weniger grünen Strom ins Netz ein, als vom Regulator vorgeschrieben wird. Da jedoch der Preis schon auf gleicher Höhe mit dem Sanktionssatz liegt, wird der Netzbetreiber den Preis nicht weiter erhöhen, sondern wird es statt dessen bevorzugen, für die noch fehlenden Grünstromeinheiten die Sanktion zu tragen.

8.2 Gleichgewicht bei einem strategischen Produzenten

In diesem Abschnitt wollen wir nun annehmen, dass ein Grünstromproduzent existiert, der außer seiner eigenen Technologie auch die Technologien seiner Mitkonkurrenten exakt kennt. Er weiß zudem, dass seine Konkurrenten nichts wissen und dass sie deshalb zu Grenzkosten anbieten. Außerdem ist ihm auch bekannt, welche Sanktion dem Netzbetreiber droht, falls er die vom Regulator vorgeschriebene Quote nicht erfüllen kann. Wir werden sehen, dass dieses Wissen den Produzenten zu strategischem Verhalten befähigt und dass er deshalb nicht mehr notwendigerweise seinen Grünstrom gemäß der Regel Preis gleich Grenzkosten feil bieten wird.

8.2.1 Gleichgewicht und Mitnahmeeffekte bei harter Sanktion

In diesem Unterabschnitt werden wir zunächst wieder annehmen, dass der Regulator dem Netzbetreiber mit einer prohibitiv hohen Sanktion droht. Der Netzbetreiber wird also wieder das Mengenziel unter allen Umständen erfüllen.

Der informierte Produzent kann aufgrund der steigenden Grenzkosten durch sein Angebot den Preis manipulieren. Übt sich dieser Produzent in strategischer Zurückhaltung, oder anders ausgedrückt, verknappt er im Vergleich zur Menge

in Gleichung (8.3) sein Angebot, so müssen bei Erfüllung der gewünschten Quote Q die anderen Grünstromproduzenten ihre Produktion ausweiten. Durch diese Ausweitung der Produktion werden die Grenzkosten dieser Produzenten steigen. Da diese Produzenten uninformiert sind und sich deshalb unstrategisch verhalten, werden sie wiederum zu Grenzkosten anbieten. So wird durch die Ausweitung ihrer Produktion der Preis des grünen Stroms steigen.

Der strategische Produzent hätte also durch die Verknappung seines Angebots den Preis des grünen Stromes erhöht. Er selbst würde nun natürlich nicht mehr zu Grenzkosten anbieten. Da er in Gleichung (8.3) zu Grenzkosten anbietet und durch die Verknappung seines Angebots seine eigenen Grenzkosten gesenkt sowie den Preis erhöht hat, müssen seine Grenzkosten nach der Angebotsverknappung unter dem Preis liegen. Wir wollen nun untersuchen, ob für den informierten Produzenten, wir werden ihn im Folgenden den Produzenten h nennen, ein Anreiz zu solch einer Verknappung des Grünstromangebots besteht. Anders ausgedrückt wollen wir untersuchen, ob die Preiserhöhung trotz der geringeren Absatzmenge q_h , den Gewinn des Produzenten h erhöht.

Alle Produzenten außer dem Produzenten h bieten zu Grenzkosten an. Die Grenzkosten eines Produzenten sind durch Gleichung (6.6) gegeben:

$$\frac{\partial rk_i}{\partial q_i} = \frac{2rq_i}{A_i^2} \quad (8.4)$$

Bieten alle Produzenten außer h zu Grenzkosten an, dann gilt:

$$p = \frac{2rq_1}{A_1^2} = \frac{2rq_2}{A_2^2} = \dots = \frac{2rq_{h-1}}{A_{h-1}^2} = \frac{2rq_{h+1}}{A_{h+1}^2} = \dots = \frac{2rq_n}{A_n^2}$$

Es gilt dann für zwei beliebige Produzenten l und m aus dieser Gruppe der folgende Zusammenhang:

$$q_l = q_m \cdot \frac{A_l^2}{A_m^2}$$

In der Summe produzieren diese Produzenten die vorgeschriebene Quote Q , abzüglich der Menge q_h , die der Produzent h anbietet. Es gilt also:

$$\begin{aligned} Q - q_h &= q_1 + q_2 + \dots + q_{h-1} + q_{h+1} + \dots + q_m + \dots + q_n \\ &= q_m \cdot \frac{A_1^2}{A_m^2} + q_m \cdot \frac{A_2^2}{A_m^2} + \dots + q_m \cdot \frac{A_{h-1}^2}{A_m^2} + q_m \cdot \frac{A_{h+1}^2}{A_m^2} + \dots + q_m \cdot \frac{A_m^2}{A_m^2} + \dots + q_m \cdot \frac{A_n^2}{A_m^2} \end{aligned}$$

Die angebotene Menge eines jeden Produzenten m , der seinen Grünstrom zu Grenzkosten anbietet, beträgt damit:

$$q_m = \frac{(Q - q_h) A_m^2}{\sum_{l=1 \wedge l \neq h}^n A_l^2} \quad (8.5)$$

Setzen wir dieses q_m in die Grenzkostenfunktion (8.4) ein, so erhalten wir für die Grenzkosten den Folgenden Wert:

$$\frac{\partial r k_m}{\partial q_m} = \frac{2r(Q - q_h)}{\sum_{l=1 \wedge l \neq h}^n A_l^2} \quad (8.6)$$

Da jeder Produzent m seinen Grünstrom zu Grenzkosten anbietet, repräsentiert der Ausdruck in Gleichung (8.6) nicht nur die Grenzkosten eines Produzenten m , sondern auch den Preis pro Einheit Grünstrom. In diesem Ausdruck ist der Grünstrompreis in Abhängigkeit der angebotenen Menge q_h des Produzenten h gegeben. Es handelt sich bei diesem Term also um die Preis-Absatz-Funktion des Produzenten h .

Die Gewinnfunktion des Produzenten h lässt sich durch Folgenden Term ausdrücken:

$$\pi_h = pq_h - rk_h \quad (8.7)$$

Aus der Produktionsfunktion (6.1) wissen wir:

$$k_h = \left(\frac{q_h}{A_h} \right)^2 \quad (8.8)$$

Setzen wir nun in die Gewinnfunktion (8.7) des Produzenten h Gleichung (8.6) für den Preis und Gleichung (8.8) für das investierte Kapital k_h ein, so erhalten wir für den Gewinn dieses Produzenten den folgenden Ausdruck:

$$\pi_h = \frac{2r(Q - q_h)}{\sum_{l=1 \wedge l \neq h}^n A_l^2} \cdot q_h - r \cdot \left(\frac{q_h}{A_h} \right)^2 \quad (8.9)$$

Der Produzent h wird nun die Ausbringungsmenge q_h wählen, die seinen Gewinn maximiert. Um dieses q_h zu finden, ermitteln wir zuerst die Bedingung erster Ordnung:

$$\frac{\partial \pi_h}{\partial q_h} = \frac{Q - 2q_h}{\sum_{l=1 \wedge l \neq h}^n A_l^2} - \frac{q_h}{A_h^2} = 0 \quad (8.10)$$

Die Bedingung zweiter Ordnung eines Maximums der Gewinnfunktion (8.9) in q_h lautet:

$$\frac{\partial^2 \pi_h}{\partial q_h^2} = -2r \left(\frac{1}{A_h^2} + \frac{2r}{\sum_{l=1 \wedge l \neq h}^n A_l^2} \right) < 0 \quad (8.11)$$

Wir sehen, dass die Bedingung zweiter Ordnung unabhängig vom gewählten q_h immer erfüllt sein muss. Ein q_h , das die Bedingung erster Ordnung erfüllt, ist also das gewinnmaximierende q_h des Produzenten h . Lösen wir die Bedingung erster Ordnung nach q_h auf, so erhalten wir:

$$q_h^* = \frac{A_h^2 Q}{A_h^2 + \sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (8.12)$$

Dieses Angebot wollen wir nun mit der Grünstrommenge vergleichen, die der strategische Produzent h unter einer Einspeisevergütung oder bei nichtstrategischem Verhalten im Quotenmodell anbieten würde. Diese Menge ist durch die Gleichungen (6.9) und (8.3) gegeben:

$$q_h = \frac{A_h^2 Q}{\sum_{i=1}^n A_j^2}$$

Wir sehen, dass $q_h^* < q_h$ gelten muss, solange das A_h^2 im Vergleich zur Summe der A_j^2 aller Produzenten j , nicht vernachlässigbar gering ist. Der strategische Produzent wird also tatsächlich, wie schon vermutet, das Angebot im Vergleich zum nichtstrategischen Fall verknappen.

Setzen wir nun das optimale q_h^* in die Preisabsatzfunktion (8.6) ein, dann erhalten wir für den Preis den folgenden Ausdruck :

$$p = \frac{2rQ \sum_{j=1}^n A_j^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} \quad (8.13)$$

Der gleichgewichtige Preis der Einspeisevergütung aus Gleichung (6.8) sowie der Preis im nichtstrategischen Fall aus Gleichung (8.2) haben jeweils den folgenden Wert:

$$p = \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (8.14)$$

Wir wollen nun überprüfen, ob der Preis bei strategischem Verhalten des Produzenten h tatsächlich höher ist als der Preis im nichtstrategischen Fall oder als der Preis im Einspeisemodell. Stimmt diese Vermutung, so muss die folgende Ungleichung gelten:

$$\frac{2rQ \sum_{j=1}^n A_j^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} > \frac{2rQ}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (8.15)$$

Nach einfachen algebraischen Umformungen erhalten wir die folgende Bedingung:

$$A_h^4 > 0 \quad (8.16)$$

Wir sehen also, dass unsere Intuition, der Preis müsse bei strategischem Verhalten des h höher sein, tatsächlich zutrifft.

Der strategische Produzent h wird also zu jedem Preis, der vom Netzbetreiber festgesetzt wird und der kleiner ist als der Preis in Gleichung (8.13), eine Grünstrommenge anbieten, bei der die vom Regulator vorgeschriebene Menge nicht erfüllt sein wird. Da er genau weiß, dass seine Konkurrenten zu Grenzkosten anbieten, kennt er zu jedem Preis deren Angebot, und er weiß damit auch, wie er bieten muss, sodass die vorgeschriebene Menge nicht erfüllt wird. Er weiß dann außerdem, dass der Netzbetreiber den Preis höher ansetzen wird, da ihm ansonsten eine prohibitiv hohe Sanktion droht. Sobald der Preis den Wert aus Gleichung (8.13) erreicht, wird der Produzent h die Menge aus Gleichung (8.12) anbieten und die Auktion beenden. Weiteres Hinauszögern, um den Preis noch höher zu treiben, würde keinen Sinn machen, da dann aufgrund der geringeren absetzbaren Grünstrommenge der Gewinn des h wieder abnehmen würde.

Setzen wir das optimale q_h^* aus (8.12) in die Gewinnfunktion (8.9) ein, so erhalten wir den Gewinn des abweichenden Produzenten h :

$$\pi_h = \frac{rA_h^2Q^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} \quad (8.17)$$

Setzen wir das optimale q_h in Gleichung (8.5) dann erhalten wir für das Angebot q_m eines Produzenten m , der zu Grenzkosten anbietet, den Ausdruck:

$$q_m^* = \frac{A_m^2 Q \sum_{j=1}^n A_j^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} \quad (8.18)$$

Den Gewinn π_m eines jeden Produzenten m können wir aufgrund des in der Produktionsfunktion (6.1) definierten Zusammenhangs zwischen Output und Kapital, auch folgendermaßen ausdrücken:

$$\pi_m = pq_m - r \left(\frac{q_m}{A_m}\right)^2 \quad (8.19)$$

Setzen wir nun den Preis aus Gleichung (8.13) und die optimale Menge aus Gleichung (8.18) in Gleichung (8.19) ein, so erhalten wir für den Gewinn π_m eines Produzenten m , der im Quotenmodell zu Grenzkosten anbietet, den Ausdruck:

$$\pi_m = \frac{r A_m^2 Q^2 \left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2}{\left(\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4\right)^2} \quad (8.20)$$

Vergleich der Mitnahmeeffekte - Quoten- versus Einspeisemodell

Der Mitnahmegewinn eines Produzenten ist im Einspeisemodell durch Gleichung (6.11) gegeben:

$$\pi_i = \frac{r A_i^2 Q^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2}$$

Vergleichen wir nun die Gewinne unter der Einspeisevergütung aus Gleichung (6.11) mit den Gewinnen, die unter einem Quotenmodell gemäß den Gleichungen (8.17) und (8.20) anfallen.

Wir sehen, dass der Zähler in Gleichung (6.11) mit dem Zähler in Gleichung (8.17) identisch ist. Jedoch ist der Nenner in Gleichung (8.17) geringer als in Gleichung (6.11). Der Gewinn also, den der strategische Produzent im Quotenmodell realisieren kann, ist höher als der Gewinn, den dieser Produzent unter einer Einspeisevergütung realisiert. Das ist nicht verwunderlich, da dieser Produzent ja gerade, um höhere Gewinne realisieren zu können, sein Angebot im Vergleich zum Angebot unter der Einspeisevergütung verknappt.

Betrachten wir nun die Gewinnsituation eines nichtstrategischen Produzenten. Dieser Gewinn aus Gleichung (8.20) kann auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$\pi_m = \frac{rA_m^2Q^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} \cdot \frac{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2}{\left(\sum_{j=1}^n A_j^2\right)^2 - A_h^4} \quad (8.21)$$

Der erste Faktor in diesem Ausdruck, entspricht dem Gewinn (8.17) des Produzenten h der im Quotenmodell über Grenzkosten anbietet, nur dass hier eben im Zähler die Produktivität des betrachteten Produzenten m anstatt des Produzenten h eingeht. Dieser Faktor muss also größer sein als der Gewinn, den Produzent m unter einer Einspeisevergütung realisiert hätte. Es ist sehr leicht zu erkennen, dass der zweite Faktor in Gleichung (8.21) größer sein muss als eins. Jeder Produzent m profitiert von der Angebotsverknappung also stärker, als Produzent h . Damit ist also auch der Gewinn, den ein nichtstrategischer Produzent unter einem Quotenmodell erzielt, größer als der Gewinn, den er unter einer Einspeisevergütung realisiert hätte.

Alle Grünstromproduzenten werden also in diesem Szenario unter dem Quotenmodell höhere Mitnahmegewinne realisieren als unter der Einspeisevergütung.

Außerdem können wir sagen, dass die Produzenten, die im Quotenmodell zu Grenzkosten anbieten, stärker von der Angebotsverknappung profitieren als der angebotsverknappende Produzent selbst. Auch dieses Ergebnis ist nicht überraschend. Der angebotsverknappende Produzent profitiert lediglich von dem Preisanstieg. Der Mengeneffekt wirkt negativ auf seinen Gewinn. Er setzt nun weniger Strom ab und dies drückt seine Gewinne. Die Produzenten jedoch, die weiterhin zu Grenzkosten anbieten, profitieren zum einen von den höheren Preisen und zum anderen von der höheren Menge, die sie nach der Angebotsverknappung durch Produzent h anbieten.

Vergleichen wir noch die Mitnahmegewinne im Quoten- und Einspeisemodell, wenn auf dem Grünstrommarkt vollkommene Konkurrenz herrscht. Wie bereits erwähnt verstehen wir unter vollkommener Konkurrenz eine große Anzahl von Grünstromproduzenten, von denen keiner nennenswerte Produktivitätsvorsprünge gegenüber der restlichen Konkurrenz hat. Nehmen wir also an, die Anzahl n der Investoren wäre sehr groß.

Die Menge q_h , die der angebotsverknappende Produzent h anbietet, ist durch Gleichung (8.12) gegeben:

$$q_h = \frac{A_h^2 Q}{A_h^2 + \sum_{j=1}^n A_j^2}$$

Je größer n wird, desto unbedeutender wird im Nenner das A_h^2 . Bei einem sehr großen n können wir dieses A_h^2 völlig vernachlässigen. Die Menge, die Produzent h in diesem Fall dann anbietet, beträgt:

$$q_h = \frac{A_h^2 Q}{\sum_{j=1}^n A_j^2} \tag{8.22}$$

Dies ist auch exakt die Menge, die ein Produzent im Rahmen einer Einspeisevergütung gemäß Gleichung (6.9) anbietet.

Mit ähnlicher Argumentation kann man zeigen, dass im Fall der vollkommenen Konkurrenz alle anderen Variablen, die das Gleichgewicht im Quotenmodell determinieren, mit den Variablen unter Gewährung einer Einspeisevergütung identisch sein müssen. Diese Identität kann allerdings auch durch eine intuitive Überlegung aufgezeigt werden. Bietet Produzent h unter vollkommener Konkurrenz im Quotenmodell gleich an wie unter der Einspeisevergütung, dann muss auch die angebotene Menge aller anderen Produzenten im Quotenmodell identisch mit der angebotenen Menge im Einspeisemodell sein, da diese Produzenten unter beiden Subventionsregimen immer zu Grenzkosten anbieten. Bieten alle Produzenten im Quotenmodell unter vollkommener Konkurrenz identisch wie im Einspeisemodell an, so muss natürlich auch der Preis in beiden Subventionsregimen identisch sein. Sind unter vollkommener Konkurrenz Preise und Mengen identisch, dann sind es auch die Mitnahmegewinne der Produzenten.

Auch dieses Ergebnis war zu erwarten. Je größer die Anzahl der Grünstromanbieter bei identischer Technologie ist, desto kleiner wird der Preiseffekt ausfallen, der sich bei einer Verknappung der angebotenen Menge durch den strategischen Produzenten ergibt. Dies ist deshalb so, weil die entstehende Angebotslücke von vielen Anbietern aufgefangen wird, sodass jeder einzelne nur wenig Mehrproduktion erbringen muss, was wiederum die Grenzkosten dieser Anbieter nur geringfügig steigen lässt. Dieser geringe Preiseffekt macht die Strategie der Angebotsverknappung wenig lohnenswert, da schon bei sehr geringer Verknappung der für den Gewinn günstige Preiseffekt vom ungünstigen Mengeneffekt überkompensiert wird.

Mitnahmegewinne bei zusätzlicher Inputsubventionierung

Im Abschnitt 6.3 sahen wir, dass unter der Einspeisevergütung die Mitnahmeeffekte durch eine zusätzliche Kapitalsubventionierung bei einem fest vorgegebenen Mengenziel geringer werden. Wenn wir den Gewinn des strategischen Produzenten

ten in Gleichung (8.17) sowie die Gewinne der nichtstrategischen Produzenten in Gleichung (8.20) betrachten, dann sehen wir, dass auch im Quotenmodell die Gewinne mit den Kapitalkosten sinken.

Wir sehen außerdem, dass die Mitnahmegewinne unter dem Quotenmodell genau wie die Mitnahmegewinne der Einspeisevergütung aus Gleichung (6.11) linear mit den Kapitalkosten steigen. Da jedoch unter unvollkommenem Wettbewerb die Mitnahmegewinne im Quotenmodell immer größer sind als unter der Einspeisevergütung, steigen im Quotenmodell die Mitnahmegewinne stärker mit den Kapitalkosten als unter der Einspeisevergütung.

Unter vollkommenem Wettbewerb hingegen sind die Mitnahmegewinne unter beiden Subventionsregimen annähernd identisch. Aus diesem Grund steigen die Mitnahmegewinne unter beiden Subventionsregimen auch annähernd identisch in den Kapitalkosten.

Eine zusätzliche Kapitalsubventionierung senkt also im Quotenmodell genau wie unter der Einspeisevergütung die Mitnahmegewinne. Unter unvollkommenem Wettbewerb wird diese Gewinnminderung im Quotenmodell sogar stärker ausfallen als unter der Einspeisevergütung.

Bei vollkommenem Wettbewerb lässt sich die Minderung der Mitnahmegewinne im Quotenmodell identisch erklären wie unter der Einspeisevergütung. Dieser Effekt wurde in Abschnitt 6.3 ausführlich diskutiert.

Unter unvollkommenem Wettbewerb existiert jedoch im Quotenmodell ein weiterer Effekt, der die Gewinne der Produzenten bei einer gegebenen Senkung der Kapitalkosten zusätzlich mindert. Aus Gleichung (6.6) wissen wir, dass die Grenzkosten der Grünstromproduzenten mit den Kapitalkosten steigen. Werden die Kapitalkosten gesenkt, so senkt dies auch bei einer gegebenen produzierten Menge die Grenzkosten. Dies bedeutet, dass bei einer gegebenen Angebotsverknappung durch Produzent h der Preis bei geringeren Kapitalkosten weniger steigt, da die Grenzkosten der Produzenten m , welche die Angebotsverknappung ausgleichen, geringer ansteigen. Ist der Preisanstieg bei einer gegebenen Ange-

botsverknappung geringer, so wird vom angebotsverknappenden Produzenten h schneller die Menge erreicht, ab welcher der negative Mengeneffekt den positiven Preiseffekt überwiegt. Das Angebot des Produzenten h wird also unter geringeren Kapitalkosten höher sein. Das wiederum senkt die Gewinne aller Produzenten. Ein Investitionskostenzuschuss oder die Vergabe von verbilligten Krediten, mindert also im Quotenmodell die Anreize zu einer strategischen Angebotsverknappung und senkt damit unter unvollkommener Konkurrenz zusätzlich die Mitnahmeeffekte.

Innovationsanreize des strategischen Produzenten

Wir ermitteln nun den marginalen Innovationsanreiz des strategischen Produzenten im Quotenmodell. Dabei nehmen wir an, dass im Grünstrommarkt ein duopolistischer Wettbewerb herrscht. Außer dem strategischen Produzenten h existiert also ein weiterer Produzent m , der sich unstrategisch verhält und immer zu Grenzkosten anbietet.

Da der Preis des grünen Stroms sich im Quotenmodell endogen ergibt und nicht vom Regulator exogen vorgegeben wird und danach dann konstant bleibt, verändert jede Innovation im Quotenmodell den Grünstrompreis. Hier im Quotenmodell ist also der Preis durch die tatsächlich vorherrschenden Produktivitäten bestimmt. Im Gegensatz dazu sahen wir, dass im Einspeisemodell unter einem gegebenen Mengenziel die Produktivitäten, die ursprünglich bei Auflage des Subventionsprogramms vorherrschen, maßgebend sind. Wieder wollen wir auch hier in diesem Abschnitt die tatsächlich momentan vorherrschende Produktivität A_j eines Produzenten j von der ursprünglich bei Auflage des Subventionsprogramms vorherrschenden Produktivität \bar{A}_j unterscheiden. Erneut gilt $A_j = \bar{A}_j$, falls der Produzent j seit Auflage des Subventionsprogramms keine Innovation durchgeführt hat und $A_j > \bar{A}_j$ falls eine Innovation von ihm durchgeführt wurde.

Da der Preis im Quotenmodell ausschließlich von den aktuellen Produkti-

vitäten A_j der beiden Produzenten $j \in \{h, m\}$ abhängt, werden auch die Gewinne der Produzenten nur von diesen Produktivitäten abhängen. Aufgrund der duopolistischen Marktstruktur drücken wir den Gewinn des Produzenten h in Gleichung (8.17) nun folgendermaßen aus:

$$\pi_h = \frac{rA_h^2Q^2}{\left(\sum_{j \in \{h, m\}} A_j^2\right)^2 - A_h^4} \quad (8.23)$$

Lösen wir das Summenzeichen auf, so können wir den Gewinn des strategischen Produzenten zu folgendem Ausdruck umformen:

$$\pi_h = \frac{rA_h^2Q^2}{A_m^2(A_m^2 + 2A_h^2)} \quad (8.24)$$

Leiten wir diesen Gewinn des Produzenten h nach seiner Produktivität A_h ab, so erhalten wir den folgenden marginalen Innovationsanreiz:

$$\frac{\partial \pi_h}{\partial A_h} = \frac{2rA_hQ^2}{(A_m^2 + 2A_h^2)^2} \quad (8.25)$$

Vergleichen wir diesen marginalen Innovationsanreiz mit dem marginalen Innovationsanreiz des Einspeisemodells in Gleichung (6.17). Unter einem Einspeisemodell hätte der Produzent h den folgenden Innovationsanreiz:

$$\frac{\partial \pi_h}{\partial A_h} = \frac{2rA_hQ^2}{(\bar{A}_m^2 + \bar{A}_h^2)^2} \quad (8.26)$$

Wenn wir die beiden Terme aus (8.25) und (8.26) miteinander vergleichen, dann sehen wir, dass der Innovationsanreiz im Quotenmodell geringer ist, als

unter der Einspeisevergütung. Der Zähler dieser beiden Ausdrücke ist identisch, der Nenner aus (8.25) ist jedoch größer als der Nenner aus (8.26).

Im Kapitel 6 sahen wir, dass sich unter der Einspeisevergütung die aggregierte Grünstrommenge in Folge der Innovation ausdehnen wird. Aus Gleichung (6.22) können wir den Zusammenhang zwischen der aggregierten Strommenge vor und nach der Innovation entnehmen:

$$Q = \hat{Q} \cdot \frac{\bar{A}_m^2 + \bar{A}_h^2}{\hat{A}_m^2 + \hat{A}_h^2} \quad (8.27)$$

Beachten wir hierbei, dass $\hat{A}_i \wedge i \in \{h, m\}$ für beliebige $A_i \geq \bar{A}_i \wedge i \in \{h, m\}$ stehen und setzen wir (8.27) in (8.26), so können wir den marginalen Innovationsanreiz des Produzenten h unter der Einspeisevergütung auch in Abhängigkeit der neuen aggregierten Grünstrommenge \hat{Q} ausdrücken:

$$\frac{\partial \pi_h}{A_h} = \frac{2r A_h \hat{Q}^2}{(A_m^2 + A_h^2)^2} \quad (8.28)$$

Ersetzen wir in Gleichung (8.25) die aggregierte Strommenge Q mit dem Wert \hat{Q} , so erhalten wir den Innovationsanreiz des strategischen Produzenten, unter der Prämisse, dass der Regulator die aggregierte Grünstrommenge exogen so erhöht, wie das unter der Einspeisevergütung endogen geschieht:

$$\frac{\partial \pi_h}{\partial \hat{A}_h} = \frac{2r \hat{A}_h \hat{Q}^2}{(\hat{A}_m^2 + 2\hat{A}_h^2)^2} \quad (8.29)$$

Vergleichen wir wieder die Innovationsanreize in den Gleichungen (8.28) und (8.29). Wieder sind die Zähler in beiden Ausdrücken identisch. Jedoch ist der Nenner in (8.29) größer als der in (8.28). Der Innovationsanreiz im Quotenmodell bleibt also auch bei exogener Anhebung der aggregierten Grünstrommenge

geringer als der Innovationsanreiz, der unter der Einspeisevergütung vorherrscht. Zwar erhöht sich der Innovationsanreiz im Quotenmodell durch die Anhebung der Menge, er bleibt jedoch nach wie vor hinter dem Innovationsanreiz der Einspeisevergütung zurück.

Ursächlich hierfür ist der negative Preiseffekt, den eine Innovation im Quotenmodell hier nach sich zieht. Jede Innovation wird im Quotenmodell den optimalen Preis des strategischen Produzenten senken. Zwar wird eine Innovation die Absatzmenge des innovativen Unternehmers erhöhen, was sich wiederum positiv auf dessen Gewinne auswirkt, jedoch wird dieser positive Mengeneffekt durch den negativen Preiseffekt abgeschwächt. Durch die Anhebung der aggregierten Grünstrommenge wirkt sich dieser Preiseffekt weniger stark aus, er bleibt dennoch bestehen. Der Regulator könnte diesem Problem entgegenwirken, wenn er glaubhaft ankündigen könnte, die Quote als Folge der Innovation anzuheben. Das würde den Innovationsanreiz der Grünstromproduzenten erhöhen. Das gleiche geschieht ja auch unter der Einspeisevergütung endogen. Die aggregierte Grünstrommenge dehnt sich hier erst in Folge der Innovation aus.

Hier in diesem Abschnitt haben wir analysiert, wie sich eine Anhebung der Quote vor einer potentiellen Innovation und nicht in Folge einer Innovation auf den Innovationsanreiz auswirkt. Eine Anhebung der Quote in Folge einer Innovation ist nicht plausibel, da zum einen der Regulator diese Anhebung ex ante den Produzenten glaubhaft zusichern müsste, was Schwierigkeiten mit sich bringt, und zum anderen müsste der Regulator die Technologien der Grünstromproduzenten kennen. Gerade letzteres ist nicht mit der Grundannahme dieses Kapitels der Annahme der unvollständigen Information vereinbar.

8.2.2 Gleichgewicht bei moderater Sanktion

In diesem Abschnitt wollen wir die Annahme aufheben, dass der Regulator dem Netzbetreiber mit einer derart hohen Sanktion droht, dass letzterer die aggre-

gierte Grünstrommenge unter allen Umständen erfüllen wird. Wir wollen nun annehmen, der Regulator straft den Netzbetreiber mit einem Sanktionssatz z pro Grünstromeinheit, die zur Erfüllung der vorgeschriebenen Menge fehlt. Das Gleichgewicht und der Preis, der sich auf dem Grünstrommarkt einstellen wird, hängen nun von der Höhe des Sanktionssatzes z ab.

Da der Netzbetreiber sich zu einem Preis pro Grünstromeinheit in Höhe des Sanktionssatzes z beim Regulator von der Verpflichtung der Grünstromeinspeisung freikaufen kann, wird er den Grünstromproduzenten keinen Preis bieten, der über dem Sanktionssatz liegt. Der Sanktionssatz ist also wiederum de facto der Höchstpreis des grünen Stroms.

Nehmen wir nun an, der Regulator wird den Sanktionssatz z über den gewinnmaximierenden Preis aus Gleichung (8.13) setzen. An der Strategie des Produzenten h wird sich hier nichts ändern. Da der Sanktionssatz und damit der Höchstpreis des grünen Stroms über dem gewinnmaximierenden Preis des strategischen Produzenten liegt, kann dieser Produzent durch eine strategische Mengenzurückhaltung erneut dafür sorgen, dass sich dieser Preis einstellen wird. Auf diese Weise wird der strategische Produzent erneut seine Gewinne maximieren.

Der gewinnmaximierende Preis aus Gleichung (8.13) wird sich jedoch dann nicht mehr einstellen, wenn der Regulator den Sanktionssatz z unter diesem Preis ansetzt. Nehmen wir an, der Sanktionssatz z liegt zwischen dem gewinnmaximierenden Preis der Gleichung (8.13) und dem Preis der Gleichung (8.2). Unter dem letzteren Preis wird exakt die aggregierte Grünstrommenge produziert, wenn alle Produzenten zu Grenzkosten anbieten. Unter diesem Sanktionssatz wird der strategische Produzent wieder den Preis durch eine strategische Angebotsverknappung nach oben treiben. Jedoch ist er sich bewusst, dass er den Preis nur bis zur Höhe des Sanktionssatzes treiben kann, da der Netzbetreiber es ab diesem Preis bevorzugt, die Strafe zu entrichten. Der strategische Produzent wird also sein Angebot so lange verknappen bis der Preis dem Sanktionssatz entspricht. Die aggregierte Grünstrommenge wird dabei der vom Regulator vorgeschriebe-

nen Menge entsprechen.

Nehmen wir nun an, der Sanktionssatz ist geringer als der Preis in Gleichung (8.2). Die Produzenten werden nie bereit sein, einen Preis zu akzeptieren, der unter ihren Grenzkosten liegt. Da der Sanktionssatz und damit der Höchstpreis, den der Netzbetreiber zu zahlen bereit ist, unter dem Preis (8.2) liegt, wird die aggregierte Grünstrommenge unter der vom Regulator vorgeschriebenen Menge liegen.

Entsprechen die Grenzkosten aller Produzenten dem Preis (8.2) dann entspricht die aggregierte Grünstrommenge der vom Regulator vorgeschriebenen Grünstrommenge. Liegen die Grenzkosten aller Produzenten tiefer als der Preis aus (8.2), dann liegt aufgrund der steigenden Grenzkosten auch die aggregierte Grünstrommenge unter der vom Regulator vorgeschriebenen Menge. Da der Netzbetreiber maximal einen Grünstrompreis in Höhe des Sanktionssatzes z bezahlt und dieser Sanktionssatz unter dem Preis aus Gleichung (8.2) liegt, und da die Grünstromproduzenten ihre Menge nicht so ausweiten werden, dass ihre Grenzkosten über dem Preis liegen, wird sich die vorgeschriebene Grünstrommenge nicht einstellen. Das Mengenziel des Regulators wird verfehlt und der Netzbetreiber wird eine Strafzahlung leisten. Der Grünstrompreis wird wiederum dem Sanktionssatz z entsprechen.

8.3 Grünstrompreis bei beliebig vielen strategischen Produzenten

In diesem Abschnitt untersuchen wir, welcher Preis sich am Grünstrommarkt einstellen wird, wenn die Zahl der informierten und damit zur strategischen Handlung befähigten Grünstromproduzenten beliebig ist. Wir unterstellen erneut, dass dem Netzbetreiber bei Nichterfüllung der vorgeschriebenen aggregierten Grünstrommenge eine so hohe Sanktion droht, dass er in jedem Fall diese

vorgeschriebene Menge erfüllen wird. Aus Gründen der Vereinfachung nehmen wir außerdem an, dass die Grünstromproduzenten alle symmetrisch sind, d.h. die Produzenten verfügen über eine Technologie mit identischer Produktivität A .

Die Menge h aller strategischen Produzenten besteht aus den ersten k der insgesamt n Produzenten:

$$h \in \{1, 2, \dots, k\}$$

Die restlichen Produzenten bilden die Menge m der uninformierten Produzenten:

$$m \in \{k + 1, k + 2, \dots, n\}$$

Die Preis-Absatz-Funktion aus Gleichung (8.6) nimmt nun in diesem Szenario die folgende Form an:

$$p = \frac{2r(Q - q_1 - q_2 - \dots - q_k)}{\sum_{l=k+1}^n A_l^2} \quad (8.30)$$

Der Preis hängt negativ von der angebotenen Menge der strategischen Produzenten ab. Verknappt ein strategischer Produzent sein Angebot, bei einem gegebenen Angebot aller anderen strategischen Produzenten, dann wird die entstehende Angebotslücke von den nichtstrategischen Produzenten ausgeglichen. Dazu müssen diese Produzenten ihr Angebot ausdehnen, was wiederum ihre Grenzkosten ansteigen lässt. Da sie gemäß Preis gleich Grenzkosten anbieten, lässt diese Grenzkostensteigerung dann auch den Preis ansteigen. Gleichung (8.30) beschreibt diesen Zusammenhang mathematisch.

Da wir annehmen, dass alle Produzenten identische Produktivitäten in Höhe von A besitzen, können wir (8.30) auch folgendermaßen ausdrücken:

$$p = \frac{2r(Q - q_1 - q_2 - \dots - q_k)}{(n - k)A^2} \quad (8.31)$$

Aus den Gleichungen (8.7) und (8.8) wissen wir, dass sich der Gewinn eines strategischen Produzenten h folgendermaßen ausdrücken lässt:

$$\pi_h = pq_h - r \left(\frac{q_h}{A_h} \right)^2 \quad (8.32)$$

Setzen wir (8.31) in (8.32) und beachten wir, dass aufgrund der identischen Produktivitäten aller Produzenten $A_h = A$ gilt, dann erhalten wir die folgende Gewinnfunktion eines beliebigen strategischen Produzenten h :

$$\pi_h = \frac{2r(Q - q_1 - q_2 - \dots - q_k)}{(n - k)A^2} \cdot q_h - r \left(\frac{q_h}{A} \right)^2 \quad (8.33)$$

Definieren wir die Summe der von allen strategischen Produzenten außer dem Produzenten h angebotenen Grünstrommenge als \tilde{q} , dann können wir (8.33) auch folgendermaßen ausdrücken:

$$\pi_h = \frac{2r(Q - q_h - \tilde{q})}{(n - k)A^2} \cdot q_h - r \left(\frac{q_h}{A} \right)^2 \quad (8.34)$$

Die optimale gewinnmaximierende Grünstrommenge eines strategischen Produzenten h erhalten wir nun wieder aus der Bedingung erster Ordnung:

$$\frac{\partial \pi_h}{\partial q_h} = \frac{2r(Q - q_h - \tilde{q})}{(n - k)A^2} - \frac{2rq_h}{(n - k)A^2} - \frac{2rq_h}{A^2} = 0 \quad (8.35)$$

Lösen wir die Bedingung erster Ordnung nach q_h auf, so erhalten wir:

$$q_h = \frac{Q - \tilde{q}}{n - k + 2} \quad (8.36)$$

Die Gleichung (8.36) beschreibt die beste Reaktion eines beliebigen strategischen Produzenten h , auf ein aggregiertes Angebot in Höhe von \tilde{q} aller übrigen strategischen Produzenten. Da alle strategischen Produzenten identische Produktivitäten haben, werden sie alle identische Grünstrommengen anbieten. Aus diesem Grund gilt für das aggregierte Angebot aller anderen strategischen Produzenten folgendes:

$$\tilde{q} = (k - 1)q_h \quad (8.37)$$

Setzen wir diese Gleichung in die Reaktionsfunktion (8.36) und lösen wir dann nach q_h auf, dann erhalten wir den folgenden Ausdruck:

$$q_h = \frac{Q}{n + 1} \quad (8.38)$$

Dies ist die Grünstrommenge, die jeder strategische Produzent im symmetrischen Nash-Gleichgewicht anbieten wird. Die strategischen Grünstromproduzenten produzieren dann in der Summe die folgende Strommenge:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_k = \frac{kQ}{n + 1} \quad (8.39)$$

Setzen wir diese aggregierte Grünstrommenge der strategischen Produzenten in die Preis-Absatz-Funktion (8.31) ein, so erhalten wir den folgenden Preis, der sich im Quotenmodell unter unvollständiger Information und mit k strategisch denkenden Produzenten einstellen wird:

$$p = \frac{2rQ(n - k + 1)}{(n - k)A^2} \quad (8.40)$$

Wir wollen nun wissen, in welche Richtung sich der Grünstrompreis bewegt, wenn die Anzahl k der strategischen Produzenten zunimmt. Dazu leiten wir die Gleichung (8.40) nach k ab und erhalten dann:

$$\frac{\partial p}{\partial k} = \frac{2rQ}{(n - k)^2 A^2} \quad (8.41)$$

Die Ableitung des Preises nach der Anzahl der strategischen Produzenten ist größer als null. Der Grünstrompreis und damit die Mitnahmeeffekte werden also bei zunehmender Anzahl strategisch denkender Grünstromproduzenten ansteigen.

Kapitel 9

Fazit und Ausblick

In Europa besteht eine Fülle von nationalstaatlichen Regelungen mit der die Produktion von erneuerbaren Energien gefördert wird. Um jedoch in Europa die ökonomischen Anreize so zu setzen, dass erneuerbare Energien dort produziert werden, wo diese zum einen reichhaltig vorkommen und zum anderen technisch kostengünstig erschließbar sind, wäre eine Harmonisierung der europäischen Subventionsregelungen notwendig. Eine solche Harmonisierungsbestrebung wirft die Frage auf, welches der bestehenden Subventionsregime sich am besten eignen würde, um es europaweit zu implementieren. Zur Beantwortung dieser Frage leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag.

Die Subventionsgrundmodelle - Einspeisevergütung, Quotenmodell und Ausschreibungsmodell - wurden von uns auf Mitnahmeeffekte und Überförderungsaspekte sowie auf Innovationsanreize hin untersucht. Ein Mitnahmeeffekt bzw. eine Überförderung besteht immer dann, wenn die Investition in eine Technologie zur Erzeugung von erneuerbarer Energie auch ohne bzw. auch mit einer geringeren Subvention von einem privaten Produzenten durchgeführt worden wäre.

Wir haben dabei auch das Quotenmodell unter dem Szenario der unvollständigen Information auf diese Bewertungskriterien hin untersucht. Hier überprüften wir auch die potentielle Überlegenheit des Quotenmodells in Bezug auf die Steu-

erbarkeit der aggregierten Grünstrommenge.

Des Weiteren wurde von uns untersucht, wie sich Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize verändern, wenn zusätzlich zu einer Einspeisevergütung noch ein Investitionskostenzuschuss oder ein verbilligter Kredit gewährt wird. Auch der Einfluss einer solchen Inputsubvention auf die Mitnahmeeffekte im Rahmen eines Quotenmodells unter unvollständiger Information wurde von uns untersucht.

In unserem theoretischen Modellrahmen gehen wir davon aus, dass jeder Produzent die erneuerbare Energie einzig und allein mit dem Faktor Kapital produziert. Wir nehmen außerdem an, dass die Grenzproduktivität des Kapitals fallend ist. Wir begründen diese Annahme mit der Limitierung und der heterogenen Qualität der Produktionsstandorte. Aufgrund der fallenden Grenzproduktivität des Kapitals produzieren die Grünstromproduzenten mit steigenden Grenzkosten.

Im Vergleich zum Ausschreibungsmodell schneidet die Einspeisevergütung in Bezug auf das Kriterium Mitnahmeeffekte besser ab. Im Einspeisemodell unterbreitet der Regulator den Grünstromproduzenten mit der Festlegung des Vergütungssatzes eine take-it-or-leave-it-offer. Die Festlegung des Vergütungssatzes lässt den Produzenten nicht den geringsten Verhandlungsspielraum. Entweder sie akzeptieren eine Entlohnung pro Einheit Grünstrom in Höhe dieses Vergütungssatzes, oder sie unterlassen die Grünstromproduktion. Durch diese glaubhafte Selbstbindung des Regulators an das von ihm durch den Vergütungssatz unterbreitete Angebot, werden die Grünstromproduzenten in eine schwache Verhandlungsposition gedrängt. Auf dieses unerschütterliche Angebot des Regulators, reagieren sie am besten, wenn sie ihre Produktionsmenge so ausweiten, dass ihre Grenzkosten gerade so hoch sind wie der vom Regulator angebotene Vergütungssatz.

Im Ausschreibungsmodell hingegen verbessert sich die Verhandlungsposition der Grünstromproduzenten. Hier bekommen sie die Möglichkeit, ihrerseits dem Regulator ein Angebot zu unterbreiten. Der Regulator bringt sich durch das Auktionsdesign um die Möglichkeit, die Angebote der Grünstromproduzenten nachzuverhandeln. Damit sind es unter diesem Subventionsregime die Grünstrompro-

duzenten, die eine take-it-or-leave-it-offer unterbreiten.

Der Regulator ist daran interessiert, sein Mengenziel möglichst günstig zu erreichen. Das wiederum bedeutet, dass er die Kosten der Grünstromproduzenten, die bei der Produktion der Zielmenge anfallen, minimieren möchte. Jeder zusätzliche Grünstromproduzent, der in die Produktion eingebunden wird, senkt aufgrund der steigenden Grenzkosten die Produktionskosten der Zielmenge. Je mehr Produzenten sich nämlich an der Produktion der Zielmenge beteiligen, um so stärker werden die Grenzkosten von jedem einzelnen Produzenten gesenkt, und mit diesen Grenzkosten sinken auch die aggregierten Produktionskosten. Ein Grünstromproduzent wird nun aufgrund seiner starken Verhandlungsposition in der Lage sein, aus der Auktion einen Betrag abzuschöpfen, die seinem Beitrag zur Senkung der Produktionskosten entspricht.

Im Quotenmodell nimmt anstelle des Regulators der Netzbetreiber die Rolle des Auktionators ein. Der Netzbetreiber erhält vom Regulator eine Vorgabe darüber, wieviel Grünstrom er ins Netz einzuspeisen hat. Diesen Grünstrom erwirbt sich der Netzbetreiber von den Grünstromproduzenten. Unter vollständiger Information, so haben wir angenommen, erwirbt er diese Grünstrommenge wie der Regulator im Ausschreibungsmodell über eine Ausschreibung.

Auch hier hängen nun die Mitnahmeeffekte wie im Ausschreibungsmodell von der Verhandlungsposition der Grünstromproduzenten ab. Wir haben angenommen, dass die Grünstromproduzenten auch im Quotenmodell genau wie unter dem Ausschreibungsmodell in der Lage sind, dem Auktionator eine take-it-or-leave-it-offer zu unterbreiten. Im Quotenmodell hängt jedoch die Verhandlungsposition der Grünstromproduzenten auch davon ab, wie der Regulator den Netzbetreiber bei Nichterfüllung der vorgeschriebenen Grünstrommenge sanktioniert.

Wir haben zwei Arten der Sanktionierung betrachtet. Zum einen betrachteten wir ein Sanktionssystem, wie es in der Realität tatsächlich im Zusammenhang mit einem Quotenmodell existiert. Unter dieser Sanktion muss der Netzbetreiber proportional zur Grünstrommenge, die ihm bis zur Erfüllung des Mengenziels fehlt,

eine Strafzahlung tragen. Wir haben dann noch die Wirkungen einer pauschalen Sanktion betrachtet. Hier belegt der Regulator den Netzbetreiber bei Nichterfüllung der Quote immer mit der gleichen Strafzahlung. Diese Form der Sanktion existiert in der Realität nicht.

Im Rahmen einer proportionalen Sanktion sind bei identischem Mengenziel und unter vollständiger Information die Mitnahmeeffekte im Quotenmodell genau so groß wie unter der Einspeisevergütung, wenn der Sanktionssatz des Quotenmodells dem Vergütungssatz der Einspeisevergütung entspricht. Wird der Sanktionssatz geringer angesetzt, dann wird das Mengenziel im Quotenmodell nicht erreicht. Der Netzbetreiber bevorzugt es in diesem Fall, eine Strafe zu entrichten anstatt die Quote voll zu erfüllen. Setzt der Regulator jedoch den Sanktionssatz höher an als den Vergütungssatz des Einspeisemodells, dann fallen unter einer identischen aggregierten Grünstrommenge im Quotenmodell höhere Mitnahmegewinne an als unter der Einspeisevergütung.

Im Rahmen einer pauschalen Sanktion kann der Regulator die Sanktionszahlung so ansetzen, dass die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten im Quotenmodell auf null gedrückt werden. Dazu muss die Sanktionszahlung den Produktionskosten entsprechen, die bei der Erstellung der vorgeschriebenen Grünstrommenge anfallen. Jeder Grünstromproduzent wird dann vom Netzbetreiber nur seine Produktionskosten verlangen. Verlangt ein Grünstromproduzent mehr als seine Kosten, dann übersteigt die Zahlung, die der Netzbetreiber für die aggregierte Grünstrommenge an die Produzenten leisten muss, die Strafzahlung, die er bei Nichterfüllung der Quote an den Regulator zu entrichten hat. Er wird es dann bevorzugen, die Strafzahlung zu entrichten und keinen Grünstrom ins Netz einzuspeisen. Kein Grünstromproduzent kann sich also hier besserstellen, wenn er mehr verlangt als seine Produktionskosten.

Wenn der Regulator die technischen Möglichkeiten der Erneuerbaren-Energieindustrie nicht abschätzen kann, dann weiß er unter einer Einspeisevergütung nicht, welche aggregierte Grünstrommenge sich bei einem von ihm gesetzten Vergütungssatz

einstellen wird. In solch einem Szenario hat das Quotenmodell gegenüber der Einspeisevergütung den Vorzug, dass hier die aggregierte Grünstrommenge exakt gesteuert werden kann. Allerdings muss der Regulator hierfür dem Netzbetreiber wiederum mit einer hinreichend hohen Sanktion drohen, so dass letzterer unter allen Umständen die Mengenvorgaben einhalten wird und es stattdessen nicht bevorzugt, die Strafzahlung zu leisten.

Wir nahmen an, dass auch der Netzbetreiber ebenso wie der Regulator keinerlei Informationen über die technologischen Möglichkeiten der Grünstromproduzenten hat. Falls die Grünstromproduzenten selbst auch nur die eigene Technologie kennen, dann werden im Quotenmodell auch unter einer prohibitiv hohen Sanktion die Mitnahmegewinne der Produzenten nicht größer sein als unter der Einspeisevergütung. Die Produzenten werden, wenn sie nur ihre eigene Technologie kennen, im Quotenmodell genau wie unter der Einspeisevergütung ihren Strom zu Grenzkosten anbieten.

Falls jedoch ein Grünstromproduzent existiert, der gegenüber dem Netzbetreiber einen Informationsvorsprung besitzt, weil er außer seiner eigenen Technologie auch noch die Technologien seiner Mitkonkurrenten kennt, dann ist dieser Grünstromproduzent befähigt, seinen Mitnahmegewinn durch strategisches Verhalten zu erhöhen. Ist sich dieser informierte Produzent bewußt, dass seine Konkurrenten ebenfalls mit steigenden Grenzkosten produzieren und sie sich im Gegensatz zu ihm selbst aufgrund ihrer Unkenntnis unstrategisch verhalten und deshalb zu Grenzkosten anbieten, dann weiß der informierte Produzent auch, dass er den Preis durch sein Grünstromangebot beeinflussen kann. Verknappt er nämlich sein Grünstromangebot, dann müssen seine Mitkonkurrenten, wenn der Netzbetreiber das Mengenziel einhalten möchte, die entstandene Angebotslücke schließen. Das wiederum werden sie nur bei einem höheren Preis bereit sein zu tun, da mit zunehmender Produktion ihre Grenzkosten steigen.

Wir haben gezeigt, dass bei solch einer Angebotsverknappung die Mitnahmegewinne des strategischen Produzenten aufgrund des höheren Preises steigen

werden. Außerdem erhöhen sich aufgrund des Preisanstiegs auch die Gewinne der unstrategischen Produzenten. Je mehr Produzenten existieren, die genau über die Technologien ihrer Mitkonkurrenten informiert sind und aus diesem Grund zur strategischen Handlung befähigt sind, um so stärker werden auch die Mitnahmegewinne unter einer prohibitiv hohen Sanktion ansteigen.

Zwischen der exakten Mengensteuerung und der Minimierung der Mitnahmeeffekte besteht also im Rahmen des Quotenmodells ein Zielkonflikt. Einerseits bedarf es einer hohen Sanktion, um den Netzbetreiber auch tatsächlich dazu zu bringen, das Mengenziel einzuhalten. Andererseits eröffnet solch eine hohe Sanktion den Grünstromproduzenten strategische Spielräume, die sie zur Erhöhung ihrer Mitnahmegewinne nutzen können.

Zusätzlich zu einem Einspeise- oder Quotenmodell wird in der Realität häufig noch eine Inputsubvention in Form von verbilligten Krediten oder Investitionskostenzuschüssen vergeben. Wir sahen, dass eine solche Inputsubvention in beiden Fällen die Mitnahmeeffekte unter einer gegebenen aggregierten Grünstrommenge senken wird. Unter einer Einspeisevergütung kann bei einer Halbierung der Kapitalkosten durch eine Inputsubvention auch der Vergütungssatz halbiert werden, ohne dass dies Auswirkungen auf die aggregierte Grünstrommenge hätte. Bei einer Halbierung von Preis und Kosten halbiert sich auch der Gewinn.

Im Quotenmodell unter unvollständiger Information wird durch die Inputsubvention zusätzlich noch der Anreiz zu strategischem Verhalten gemindert. Durch die Kapitalsubventionierung sinken nicht nur die Kapitalkosten, sondern es werden zudem die Grenzkosten der Produzenten flacher ansteigen. Dies führt zu einem geringeren Preisanstieg bei einer gegebenen Angebotsverknappung durch einen strategischen Produzenten. Dieser Effekt mindert im Quotenmodell die Mitnahmegewinne zusätzlich.

Auch im Hinblick auf die Schaffung von Innovationsanreizen ist die Einspeisevergütung dem Ausschreibungsmodell überlegen. Im Ausschreibungsmodell existieren vor und nach der Auktion unterschiedliche Innovationsanreize. Nach der

Auktion ist die Grünstrommenge, die jeder Produzent bereitstellt, sowie die Subventionsleistung, die jeder Produzent für diese Produktionsmenge erhält, bereits verbindlich festgelegt. Eine Innovation hat damit keinen Einfluss mehr auf diese Größen. Durch eine Innovation nach der Auktion werden nur noch die Produktionskosten gemindert. Eine Innovation vor der Auktion hingegen verändert auch die Produktionsmengen und Subventionsleistungen. Im Ausschreibungsmodell sind sowohl die Innovationsanreize vor der Auktion als auch die nach der Auktion schwächer ausgeprägt als unter der Einspeisevergütung.

Jedoch wird sich unter der Einspeisevergütung in Folge der Innovation die aggregierte Grünstrommenge ausdehnen, während sie unter dem Ausschreibungsmodell immer konstant gehalten wird. Diese Ausdehnung der Grünstrommenge unter der Einspeisevergütung erhöht wiederum die Mitnahmeeffekte. Der Regulator kann jedoch, um die aggregierte Grünstrommenge konstant und damit die Mitnahmeeffekt geringer zu halten, den Vergütungssatz in Folge einer Innovation absenken. Antizipieren die Grünstromproduzenten diese Absenkung in Folge einer Innovation nicht, dann werden die Innovationsanreize von dieser Absenkung auch nicht beeinflusst. Jedoch mindern sich die Innovationsanreize, wenn die Grünstromproduzenten antizipieren können, dass ihre Innovationstätigkeit den Vergütungssatz so mindern wird, dass die aggregierte Grünstrommenge konstant bleibt. In diesem Fall sind die Innovationsanreize unter der Einspeisevergütung geringer als unter dem Ausschreibungsmodell.

Hier wird ein weiterer Zielkonflikt bei der Subventionierung von erneuerbarer Energie deutlich. Zum einen möchte man die Unternehmensgewinne so gering wie möglich halten und so die Mitnahmeeffekte minimieren. Bei geringen Unternehmensgewinnen sinkt allerdings tendenziell auch der Gewinnzuwachs, den eine Unternehmung aus einer Innovation realisiert. Dies wiederum senkt den Innovationsanreiz. Zwischen der Minimierung der Mitnahmeeffekte und der Maximierung der Innovationsanreize besteht also ein gewisser Trade-off.

Sehr deutlich wird dieser Trade-off auch, wenn man die Wirkungen einer Ka-

pitalsubventionierung, die zusätzlich zu einer Einspeisevergütung vergeben wird, betrachtet. Zwar senkt eine Kapitalsubvention unter einer gegebenen aggregierten Grünstrommenge die Mitnahmeeffekte, jedoch werden gleichzeitig auch die Innovationsanreize geschmälert.

Im Quotenmodell sind die Innovationsanreize unter vollständiger Information mit den Innovationsanreizen des Ausschreibungsmodells vor der Auktion identisch. Wir haben angenommen, dass der Netzbetreiber im Quotenmodell mit den Grünstromproduzenten nur sehr kurzfristige Vertragsbindungen eingeht. Anders als im Ausschreibungsmodell sind dann die Grünstrommengen, die jedem Produzenten vom Netzbetreiber abgenommen werden, jederzeit veränderbar. Eine Innovation im Quotenmodell verändert damit genau wie eine Innovation im Ausschreibungsmodell vor der Auktion zusätzlich zu den Produktionskosten des innovativen Unternehmers die Grünstrommengen und empfangenen Subventionszahlungen aller Grünstromproduzenten.

Die Innovationsanreize des Quotenmodells unter vollständiger Information müssen also wie die Innovationsanreize im Ausschreibungsmodell vor der Innovation geringer sein als die Innovationsanreize unter der Einspeisevergütung. Jedoch bleibt auch im Quotenmodell genau wie im Ausschreibungsmodell die aggregierte Grünstrommenge in Folge der Innovation konstant, während sie sich unter der Einspeisevergütung ausweitet. Im Quotenmodell kann jedoch die Grünstrommenge vom Regulator exogen angehoben werden. Hebt er die aggregierte Grünstrommenge exogen so an, wie das unter der Einspeisevergütung in Folge der Innovation endogen geschieht, so sind die Innovationsanreize unter einem Quotenmodell im Duopol höher als unter der Einspeisevergütung und unter vollkommenem Wettbewerb mit den Innovationsanreizen der Einspeisevergütung identisch.

Unter unvollständiger Information haben wir noch den Innovationsanreiz eines strategischen Grünstromproduzenten analysiert, der im Quotenmodell in einem Duopol mit einem unstrategischen Produzenten im Wettbewerb steht. Der Innovationsanreiz des strategischen Produzenten ist hier im Quotenmodell geringer als

er unter der Einspeisevergütung wäre. Das gilt auch dann, wenn im Quotenmodell die aggregierte Grünstrommenge exogen so angehoben wird, wie das unter der Einspeisevergütung in Folge der Innovation endogen geschieht. Ursächlich hierfür ist das Bewusstsein des strategischen Produzenten um den Einfluss, den seine Innovation auf den Grünstrompreis haben wird. Durch eine produktivere Technologie wird der Preis des grünen Stroms im Quotenmodell sinken, während er unter der Einspeisevergütung immer konstant bleibt.

Damit unterscheiden sich unsere Ergebnisse in Bezug auf die Innovationsanreize grundlegend von dem, was sowohl Bräuer und Kühn als auch Voß et al in ihren wissenschaftlichen Beiträgen behaupten. Bräuer und Kühn vertreten die Ansicht, dass Subventionsregime, die einen hohen Kostendruck ausüben, die größten Innovationsanreize generieren. Deshalb sind ihrer Ansicht nach sowohl Quoten- als auch Ausschreibungsmodelle der Einspeisevergütung in Bezug auf die Innovationsanreize überlegen. Voß et al hingegen unterstreichen die Überlegenheit des Ausschreibungsmodells. Das Einspeisemodell wird von ihnen aus den gleichen Gründen, die auch Bräuer und Kühn anführen, abgelehnt. Auch Voß et al behaupten, dass aufgrund der mangelnden Entfaltung eines Kostendrucks dieses Subventionsregime im Hinblick auf die Innovationsanreize abzulehnen sei. Das Quotenmodell lehnen sie ab, weil ihrer Meinung nach in einem geschützten Markt keine Kostensenkungspotentiale genutzt werden.

In unserem Modell hingegen ist es grundsätzlich das Einspeisemodell, das sich trotz des mangelnden Kostendrucks in Bezug auf die Innovationsanreize als am vorteilhaftesten erweist. Die Belohnung, die ein Produzent durch die Expansion seiner Produktion sowie durch eine Kostenersparnis erfährt, ist ausreichend, um unter der Einspeisevergütung höhere Innovationsanreize zu generieren als unter den beiden anderen Subventionsmodellen.

Auch im Hinblick auf die Minimierung von Mitnahmeeffekten erhalten wir grundsätzlich andere Aussagen als Voß et al. So ist es bei Voß et al das Ausschreibungsmodell, das in dieser Hinsicht am besten abschneidet, während sie

betonen, dass die beiden anderen Subventionsregime nicht geeignet sind, die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten zu minimieren.

Unsere Thesen sind im Gegensatz zu den Thesen von Bräuer und Kühn sowie von Voß et al die Ergebnisse einer modelltheoretischen Analyse. Dennoch, das möchten wir an dieser Stelle eingestehen, bleiben es Thesen ohne Absolutheitsanspruch. Unsere Ergebnisse werden von den Modellannahmen, die unserer Analyse zugrunde liegen, maßgeblich beeinflusst. Mit diesen Modellannahmen müssen wir die Komplexität der Wirklichkeit vereinfachen, um überhaupt Aussagen treffen zu können. Jedoch blenden wir dadurch Gegebenheiten der Wirklichkeit aus, welche die Ergebnisse unserer Analyse unter Umständen beeinflussen könnten.

So klang es bereits an, dass wir die Subventionierung von Altanlagen in unserem Modell überhaupt nicht berücksichtigen. Voß et al argumentierten hier zu Recht, dass ein Ausschreibungsmodell ein einfacher Weg ist, die Subventionierung von Altanlagen von vornherein auszuschließen. Dies ist ein Vorteil der Ausschreibungsmodelle im Hinblick auf die Mitnahmeeffekte.

Ferner wurde von uns angenommen, dass eine bestimmte Menge an Grünstromproduzenten existiert und diese Menge sich nicht verändert. Es gibt also in unserem Modell keine Marktein- bzw Marktaustritte. Diese Annahme ist problematisch, da wir von einer Produktionsfunktion mit steigenden Grenzkosten ausgehen und unter solch einer Produktionsfunktion ein Markteintritt für einen neuen Unternehmer sehr attraktiv wäre.

Die Grünstromproduzenten müssen in unserem Modell nur variable Kosten für die Stromerzeugung aufbringen. Würden zusätzlich noch fixe Kosten zur Bereitstellung von Produktionskapazitäten anfallen, könnte dies ein Grund für ausbleibende Markteintritte sein.¹ Die Einbeziehung zusätzlicher Fixkosten hätte u.U. maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse unseres Modells. So wäre beispielsweise die Monotoniebedingung, die für die Bestimmung des Gleichgewichts einer

¹siehe Spence(1977) und Dixit(1980)

Menü-Auktion unabdingbar ist, nicht mehr notwendigerweise erfüllt.

Es ließen sich jedoch die ausbleibenden Markteintritte auch mit einem speziellen Know-How begründen, das für die Grünstromproduktion von Nöten sein könnte. Es lässt sich plausibel annehmen, dass nur eine bestimmte Menge von Individuen existiert, die dieses Know-How mitbringt, und es für Individuen ohne dieses spezielle Know-How unmöglich ist, in den Markt einzutreten. Wenn man davon ausgeht, dass es Zeit benötigt, sich Know-How anzueignen, so haben unsere Ergebnisse zumindest in der kurzen Frist Geltung.

Des weiteren wurden von uns die Verhandlungen, die im Quotenmodell zwischen Grünstromproduzenten und Netzbetreiber stattfinden, sehr simplifizierend dargestellt. Es wurde von uns angenommen, dass die Grünstromproduzenten wie unter einer Ausschreibung in der Lage sind, eine take-it-or-leave-it-offer zu unterbreiten. Die Möglichkeit von Nachverhandlungen wurde von uns nicht in Betracht gezogen. Eine solche Möglichkeit würde zum einen den Verhandlungsprozess verkomplizieren und zum anderen die Mitnahmegewinne der Grünstromproduzenten senken.

Außerdem haben wir angenommen, dass ein Grünstromproduzent unter dem Ausschreibungsmodell genau weiß, welche Grünstrommenge er anbieten wird. Auch das ist nicht richtig, da ein Produzent bei der Auktion nur Leistungskapazitäten erwerben wird. Wieviel Strom letztendlich mit diesen Kapazitäten produziert wird, hängt von zufälligen Faktoren wie z.B. Windstärken und Sonneneinstrahlungen ab. Eine Einbeziehung solcher Informationsdefizite in die Bewertung des Ausschreibungsmodells eröffnet unter Umständen Räume für interessante Modellerweiterung in zukünftigen Forschungsarbeiten.

Eine weitere interessante Erweiterung wäre die Betrachtung von Effekten, die sich ergeben, wenn die Netzbetreiber zusätzlich als Grünstromproduzenten auftraten. Es wurde in der jüngsten Vergangenheit von der mittelständisch geprägten Erneuerbaren-Energieindustrie die Befürchtung geäußert, dass ein Quotenmodell ohne Abnahmepflicht der Netzbetreiber von letzteren dazu missbraucht

werden könnte, die kleinen Grünstromproduzenten aus dem Markt zu drängen, um danach in einem oligopolistischen Wettbewerb hohe Produzentenrenten abzuschöpfen. Der Bundesverband Erneuerbare Energie, der die mittelständischen Grünstromproduzenten vertritt, reagierte damit auf einen Vorschlag des Verbands der Elektrizitätswirtschaft, der seinerseits die großen Energieunternehmen und damit die Netzbetreiber repräsentiert. Der VDEW hatte ein Quotenmodell mit Selbstvermarktungspflicht der Grünstromproduzenten vorgeschlagen und es als marktwirtschaftliche Alternative zur bestehenden Einspeisevergütung mit Abnahmepflicht gepriesen.²

Um zu diesem wirtschaftspolitischen Konflikt Aussagen treffen zu können, müsste unser Modell noch durch die Einbeziehung des Zertifikatehandels, der in einem Quotenmodell zwischen den Netzbetreibern stattfindet, erweitert werden. Außerdem müsste man untersuchen, in welchem Ausmaß die Netzbetreiber die höheren Preise der erneuerbaren Energie auf die Endverbraucher überwälzen.

Eine weitere Schwäche unseres Modells ist die restriktive Produktionsfunktion, von der wir in unserer Analyse ausgehen. Zwar ist die Annahme der steigenden Grenzkosten sehr plausibel, dennoch ist es unwahrscheinlich, dass der funktionale Zusammenhang zwischen Kapital und Energie gerade durch eine Wurzelfunktion beschrieben werden kann. Ein anderer funktionaler Zusammenhang jedoch könnte die Ergebnisse unserer Analyse verändern. Jedoch erheben wir, wie bereits eingestanden, für unsere Ergebnisse keinen Absolutheitsanspruch. Der funktionale Zusammenhang zwischen Kapital und Energie, wie er von uns angenommen wurde, kann zutreffen, muss es aber nicht. Jedenfalls ist dieser Zusammenhang aufgrund der fallenden Grenzerträge durchaus plausibel. Genau darum geht es uns. Wir zeigen anhand eines plausiblen Beispiels auf, dass die Dinge nicht so einfach sind, wie sie von Bräuer und Kühn sowie von Voß et al dargestellt werden. Mit unserem Beitrag zeigen wir, dass man genauer hinschauen und noch wei-

²siehe Netzeitung

tere Aspekte berücksichtigen muss, um die bestehenden Subventionsregime zur Förderung von erneuerbarer Energie hinsichtlich der Kriterien Mitnahmeeffekte und Innovationsanreize bewerten zu können.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Aghion, Philippe/ Howitt, Peter (1992) - A Model of Growth Through Creative Destruction - *Econometrica* 60:2 - S.323-351

Aghion, Philippe/ Howitt, Peter (1998) - *Endogenous Growth Theory* - MIT Press, Cambridge

Agores (2000) - A Global Overview of Renewable Energy - www.agores.org - Renewable Energy in Denmark

Alexander-Cook, Kim/ Bernhardt, Dan/ Roberts, Joanne (1998) - Riding free on the signals of others - *Journal of Public Economics* 67, S. 25-43

Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen - Energie für die Zukunft: erneuerbare Energieträger - Kampagne für den Durchbruch

Arrow, Kenneth (1962) - The Economic Implications of Learning by Doing - *Review of Economic Studies* 29:2 - S.155-173

Arthur, Brian/ Lane, David (1993) - Information Contagion - *Structural Change and Economic Dynamics* 4, S.81-104

Baumol, William/ Oates, Wallace (1994) - The Theory of Environmental Policy - Cambridge University Press

Bernheim, Douglas/ Whinston, Michael (1986) - Menu Auctions, Resource Allocation, and Economic Influence - The Quarterly Journal of Economics 51, S. 3-31

Bolle, Friedel (1995) - Team Selection - Factor Pricing with discrete Inhomogeneous Factors - Mathematical Social Science 29, S.131-150

Bolle, Friedel (2001) - On Unique Equilibria of Menu Auctions - Working Paper der Europa-Universität Viadrina Frankfurt/Oder

Bräuer/ Kühn, I. (2001) Hoheitliche Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien - in: Neue Umweltpolitische Instrumente im liberalisierten Strommarkt

Cowan, Robin (1991)- Tortoises and Hares: Choice among Technologies of unknown Merit - The Economic Journal 101, S. 801-814

Cowan, Robin/ Kline, David (1996) - The Implications of Potential „Lock-In“ in Markets for Renewable Energy - National Renewable Energy Laboratory

Dixit, Avinash (1979) - A model of duopoly suggesting a theory of entry barriers - Bell Journal of Economics Vol. 10, S. 20-32

Economist 03.08.2000 - The dawn of micropower

Eichberger, Jürgen/ Harper, Ian R. - Financial Economics - Oxford University Press, Oxford

Eizenstat, Stuart (1998) - The Kyoto Protocol: A Framework for Action, in:
US Information Agency Electronic Journal, Vol.3, No.1, April 1998

Energy research Centre of the Netherlands - Renewable electricity Policies in Europe/
Fact Sheets EU Countries - www.renewable-energy-policy.info/relec/index.html

Europäische Union - Support Measure Database

Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
- Gesetzestext

Grossman, Gene/ Helpman, Elhanan (1991) - Innovation and Growth in the
Global Economy - MIT Press, Cambridge

International Energy Agency (1997) - CO2 Emission from Fuel Combustion

Irish Energy Centre (2001) - An Examination of the Future Potential of CHP
in Ireland - A Report for Public Consultation

JREC - Johannesburg Renewable Energy Coalition - Renewable Energy Policies
and Measures Database

Kreditanstalt für Wiederaufbau - Merkblatt zum BMU-Programm zur Förderung
von Demonstrationsvorhaben

Lucas, Robert (1988) - On the Mechanics of Economic Development - Journal of
Monetary Economics 22:1 - S. 3-42

Meadows, Dennis (1972) - The Limits to Growth - A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind - Universe Books New York

Meise, Florian (1998) - Realoptionen als Investitionskalkül - Oldenbourgverlag, München/Wien

Milgrom, Paul/ Roberts, John (1990) - Rationalizability, Learning and Equilibrium in Games with Strategic Complementarities - Econometrica Vol. 58 Iss. 6, S. 1255-1277

Netzeitung 06.06.2005 - Ökostrom-Unternehmen warnen vor dem Aus für die Branche - www.netzeitung.de/wirtschaft/wirtschaftspolitik/342492.html

Rennings, Klaus/ Brockmann, K.L./ Koschel, H./ Bermann, H./ Kühn, I. (1997) - Nachhaltigkeit, Ordnungspolitik und freiwillige Selbstverpflichtung - Physica Verlag, Heidelberg

Romer, Paul M. (1986) - Increasing Returns and Long-Run Growth - Journal of Political Economy 94:5, S. 1002-1037

Romer, Paul M.(1990) - Endogenous Technological Change - Journal of Political Economy 98:5, S.71-102

Romer, David (1996) - Advanced Macroeconomics - Mc Graw Hill

Romp, Graham (1997) - Game Theory - Oxford University Press, Oxford

Shy, Oz (1995) - Industrial Organization - The MIT Press Cambridge, London

Spence, Michael (1977) - Entry, capacity, investment and oligopolistic pricing
- The Bell Journal of Economics 8, S.534-544

Stackelberg, H. (1934) - Marktform und Gleichgewicht - Julius Springer, Wien

Tirole, Jean (1995) - Industrieökonomik - Oldenbourgverlag, München

Topkis, Donald (1998) - Supermodularity and complementarity - Princeton University Press

Trigeorgis, Lenos (1996) - Real Options - MIT Press, Cambridge

Voß, Alfred/ Dicke, Norbert/ Rath-Nagel, Stefan (2000) - Konzeption eines effizienten und marktkonformen Fördermodells für erneuerbare Energien - Gutachten im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg

Weimann, Joachim (1995) - Umweltökonomik - Springer-Verlag Berlin Heidelberg