

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Diese Dissertation haben begutachtet:

DISSERTATION

Ökonomische Optimierung des Absatzgebietes bei leitungsgebundener Güterbereitstellung

unter Berücksichtigung kompetitiver Substitutionsgüter und räumlich
differenzierter Nachfragedichte

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
technischen Wissenschaften/der Naturwissenschaften unter der Leitung von

Univ.-Prof. Mag. Dr. Wilfried Schönböck

E-280

Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung
Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik

und

a.o. Univ.-Prof. Mag. Dr. Gerhard Hanappi

E-105

Institut für Wirtschaftsmathematik, Forschungsgruppe Ökonomie

eingereicht an der Technische Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Mag. Heideinde Adensam

Matrikelnummer 8825050

Passinigasse 11, 1100 Wien

Wien, am 15. Mai 2008

(Heideinde Adensam)

Kurzfassung

Diese Dissertation befasst sich mit der Optimierung des Absatzgebietes leitungsgebundener Güterbereitstellung wie zum Beispiel Fernwärmesysteme, Wasserver- oder Abwasserentsorgung. Zentrale Forschungsfrage ist: Wie weit reicht das gewinnoptimale Absatzgebiet leitungsgebundener Güterbereitstellung?

Leitungsnetze zur Güterbereitstellung entsprechen der Marktform des „natürlichen Monopols“. Daher gilt, dass die Entscheidungen des Monopolisten bezüglich Preis, Menge und erschlossenem Absatzgebiet nicht der volkswirtschaftlich optimalen Allokation entsprechen. Forschungshypothese ist, dass das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet nicht dem wohlfahrtsoptimalen Absatzgebiet entspricht.

Für die Analyse der Forschungsfrage wird die Methode der langfristigen Kosten- und Erlösfunktionen herangezogen. Die Methode der langfristigen Kosten- und Erlösfunktionen erlaubt es, explizit die Produktionskapazität eines Unternehmens oder einer Maschine zu bestimmen. Um die Anforderungen, die sich aus der Forschungsfrage ergeben, zu erfüllen, wurde diese Methode adaptiert und weiter entwickelt. Statt der Produktionskapazität (gemessen z. B. in Stück, kWh oder m^3) wird das, durch das Leitungsnetz erschlossene Absatzgebiet gemessen in m^2 als Variable expliziert. Die Gewinn- oder Nutzenfunktion wird somit nicht nach Preis und Menge maximiert sondern nach Preis und Absatzgebiet.

Einer der wesentlichen exogenen Inputs ist die Nachfragedichtefunktion, welche die Veränderung der Nachfrage bei Ausdehnung des Absatzgebietes zeigt und regionsspezifische Parameter wie z. B. die Bevölkerungsdichte umfasst. Die hier entwickelte Methode führt damit einerseits regionsspezifische Parameter explizit in die ökonomische Optimierung ein und expliziert das Absatzgebiet als ökonomisches Entscheidungskalkül.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den getroffenen Annahmen, das optimale Absatzgebiet aus einzelwirtschaftlicher und wohlfahrtsorientierter Sicht unterschiedlich ist. Um eine wohlfahrtsoptimale Allokation zu erreichen, sollte in einem ersten Schritt das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet festgelegt werden und in einem zweiten Schritt die Versorgung dieses Gebiets mittels Ausschreibung vergeben werden.

Zwei Spezialisierungen des entwickelten Ansatzes werden vorgestellt:

1. Staatliche Interventionen aufgrund von externen Nutzen der leitungsgelinkten Güterbereitstellung in Form von Pigou-Steuer und Subventionen
2. Auswirkungen einer exogenen Variation der Nachfragedichte im Betrachtungsraum

Die Ergebnisse zeigen, dass die Pigou-Steuer nicht notwendigerweise zu einem wohlfahrtsoptimaleren Gebiet führt, da die Konsumenten leitungsgelinkter Güter mit höheren Preisen belastet werden und Wohlfahrtsgewinne durch ein weiteres Absatzgebiet durch Wohlfahrtsverluste aufgrund höherer Preise wettgemacht werden. Im Gegensatz dazu führen Subventionen unter den getroffenen Annahmen immer zu einer Annäherung an das Wohlfahrtsoptimum.

Abstract

This thesis focuses on the optimisation of the sales area for goods distributed via network like district heating or water supply. The question under consideration is: How far under the premises of benefit-maximisation should the grid be extended and respectively the sales area for the goods distributed via network determined?

Networks, distributing goods are in general natural monopolies, facing the fact that price and quantity decisions taken in order to maximise benefits by the monopolist are not optimising welfare under a social perspective. So the above mentioned question could be detailed by two different points of view: How far should the network be extended according to monopolist benefit-maximisation and what is the optimum extension concerning social welfare? The underlying hypothesis is, that the price for goods and network expansion in order to maximise monopolist benefits differs from welfare maximising prices and network expansion.

The method used, adapted and further developed in order to answer the questions and to verify the hypothesis mentioned above is the “long term cost- and revenue-curves”. This method allows to determine explicit the optimal production capacity for an undertaking or machine and is reformulated here in order to output explicit the optimum expansion of a network distributing goods. That means instead of output in form of tons or kWh per year the (endogen) output of the method developed in this thesis is the sales area, that is “m² to be supplied with network distributed goods”. One of the exogenous inputs is the density function of demand, that describes the change of demand with changing sales area and consists of region-specific parameters like population density and this is rather new in economic optimisation methods.

The results show that under the assumptions made here, the decision of the monopolist concerning the optimum sales area differs notably from the optimum sales area when maximising social welfare. Maximising benefits under the perspective of the monopolist requires the long term marginal costs to equal the price for substitutes, not network-distributed but being a substitute for the network-distributed good. Whereas social welfare optimisation requires the short term marginal cost to equal the long term marginal cost reduced by the marginal consumer surplus. In order to obtain maximum social welfare, the welfare optimum sales area should be determined and then the optimum supplier (supplying at minimum but cost effective prices) could be found via tendering.

Two specialisations of the developed method have been made:

- 1) Interventions due to external benefits network-distributed goods bring along are discussed, namely a pigou-tax (on substitutes causing external costs) and subventions
- 2) The impact of the exogenous variation of the demand-density-function is analytically discussed.

From the results it could be seen, that a pigou tax does not necessarily yield to a more welfare optimum sales area, because consumers of network-based goods are charged with higher prices and welfare-benefits due to a wider supply area are reduced by higher prices and less consumer surplus whereas a subsidy in any case results in a wider supply area. Results concerning the exogenous variation of demand-density-function show, that this has a very significant impact on the economic performance of network-distributed goods and respectively the size of the economic favourable sales area.

Danksagung

Es ist wirklich nicht leicht, allen Menschen, die zur Entstehung dieser Dissertation maßgeblich beigetragen haben, auf nur einer A4-Seite zu Danken. Da ist einerseits meine Familie. Meine Eltern, die mich immer wieder motiviert und ermutigt haben, diese Arbeit in Angriff zu nehmen und abzuschließen und die mir den finanziellen und emotionalen Rückhalt gegeben haben. Mein Mann hat zahllose Wochenenden die Kinderbetreuung übernommen und meine Kinder haben mich über lange Zeit hinweg in Ruhe an dieser Dissertation arbeiten lassen.

Univ.-Prof. Dr. Wilfried Schönböck verdanke ich unter anderem die Konzentration auf meine eigentliche Forschungsfrage. Er hat mich immer wieder bestärkt, dieses doch sehr theoretische Thema trotz meiner Affinität zur angewandten Forschung weiter zu verfolgen. Ohne seine wertvollen inhaltlichen Anregungen, seine nachhaltige Forderung, beim Kernthema zu bleiben und seine penible Genauigkeit bei der textlichen Fassung der Inhalte wäre die Arbeit nicht in dieser Form möglich gewesen. Danken möchte ich auch Univ.-Prof. Dr. Gerhard Hanappi, der mich als Zweitbetreuer maßgeblich unterstützt hat. A. o. Univ. Prof. Dr. Helmut Haberl verdanke ich, dass ich nach langjähriger Pause die Arbeit an der Dissertation wieder aufgenommen habe. Ohne seinen sanften aber beharrlichen Druck hätte ich vermutlich nicht die nötige Energie aufgebracht, um diese Dissertation letztendlich doch abzuschließen. Dr. Mag. DI Johannes Franz Mayer, Dr. DI Christian Rakos, und DI Hannes Schmidl möchte ich für die Gespräche und anregenden Diskussionen danken, durch die ich auf viele interessante inhaltliche Aspekte für die Ausrichtung der Arbeit gestoßen bin. Außerdem bedanke ich mich bei allen Interviewpartnern, die mir ihre Zeit und Betriebsdaten ihrer Fernwärmeanlagen zur Verfügung gestellt haben. Auch der Gemeinde Bad Gleichenberg und der Firma ARGE Forschung, Planung, Beratung, Ing. Kordina möchte ich für die Bereitstellung der Daten der Wärmebedarfserhebung in Bad Gleichenberg danken.

INHALT

1. Problemstellung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Untersuchungsgegenstand und Abgrenzung der Aufgabenstellung	2
1.2.1. Ziel und Forschungsfrage	2
1.2.2. Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	3
1.2.3. Mikroökonomie, Makroökonomie oder Betriebswirtschaftslehre?	6
1.2.4. Totalanalyse oder Partialanalyse?	8
1.2.5. Positive, normative oder teleologische Theorie der Regulierung?	8
1.3. Literaturüberblick	9
1.4. Vorgangsweise	11
2. Theoretische Grundlagen	13
2.1. Mikroökonomische Theorie des Monopols und des natürlichen Monopols	13
2.2. Volkswirtschaftliche Effizienz – wohlfahrtsökonomisches Optimum	17
2.3. Bestimmung der optimalen Produktionskapazität - Langfristige Kostenfunktion	20
2.4. Externe Effekte	26
3. Modellüberblick, Symbolbeschreibung und Fallbeispiel	31
3.1. Modellstruktur	31
3.2. Parameter, Variable und Funktionen	32
3.2.1. Abhängige Variable	32
3.2.2. Parameter	32
3.2.3. Konstante	33
3.2.4. Funktionale Zusammenhänge	33
3.3. Annahmen	34
3.4. Fallbeispiel Bad Gleichenberg	38
3.5. Modellhafte Skizzierung der Fragestellung	40
4. Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern	41
4.1. Nachfrage, Absatzgebiet und räumliche Struktur der Nachfrage	42
4.1.1. Nachfragedichtefunktion	43
4.1.2. Nachfrage und räumliche Struktur im Fallbeispiel Bad Gleichenberg	49
4.2. Nachfrage und Preis	54
4.3. Nachfrage, Preis und Absatzgebiet	56

4.3.1. Allgemeine Betrachtung	56
4.3.2. Nachfrage, Absatzgebiet und Preis im Fallbeispiel Bad Gleichenberg	60
5. <i>Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung</i>	67
5.1. Kurzfristige Kosten	67
5.2. Langfristige Kosten	69
5.2.1. Zusammenhang langfristige Kosten und Nachfrageverlauf	71
5.2.2. Zusammenhang langfristige Kosten und Absatzgebiet	72
5.2.3. Zusammenhang langfristige Kosten und Preis	73
5.3. Kurzfristige und Langfristige Kostenfunktionen für Bad Gleichenberg	75
6. <i>Optimierung</i>	79
6.1. Optimaler Produktionsplan bei fixem Absatzgebiet – kurzfristige Betrachtung	82
6.1.1. Kurzfristige Gewinnmaximierung aus einzelwirtschaftlicher Sicht	83
6.1.2. Kurzfristige Gewinnmaximierung aus wohlfahrtsoptimaler Sicht	85
6.2. Optimales Absatzgebiet – langfristige Betrachtung	86
6.2.1. Optimales Absatzgebiet - langfristige Betrachtung aus einzelwirtschaftlicher Sicht	90
6.2.2. Optimales Absatzgebiet - langfristige Betrachtung aus volkswirtschaftlicher Sicht	94
6.2.3. Optimales Absatzgebiet für die Gemeinde Bad Gleichenberg.	98
7. <i>Externe Effekte und Staatsintervention</i>	105
7.1. Externe Effekte	105
7.2. Staatsintervention	108
8. <i>Exogene Veränderung der Nachfragedichte</i>	113
9. <i>Kurzfassung</i>	117
10. <i>Verzeichnisse</i>	125
10.1. Abbildungsverzeichnis	125
10.2. Tabellenverzeichnis	126
11. <i>Literatur</i>	127

1. Problemstellung

1.1. Motivation

Biomasse-Nahwärmenetze können in Österreich einen kontinuierlichen Zuwachs verzeichnen. Seit Anfang der 1980iger Jahre werden Biomasse-Nahwärmenetze errichtet und 2003 waren insgesamt 843 Anlagen mit einer Leistung von 1005 MW in Österreich in Betrieb (Semidubsky, 2004, S. 49).

Die bisherigen Erfahrungen mit Biomasse-Nahwärmeversorgungssystemen zeigen, dass derartige Anlagen nur dann kostendeckend zu betreiben sind, wenn diese technisch und ökonomisch optimal geplant sind. Im Rahmen mehrerer Studien (siehe z. B. Schönbäck et al., 1997, S. 67 f., Rakos, 1995, S. 32 ff., Grundwald, 1996, S. 68, BMLFUW, 2003, S. 6) wurden einzelne Anlagen untersucht und die Gründe des wirtschaftlichen Erfolgs bzw. Misserfolgs analysiert. Es zeigt sich, dass die Netz- oder vielmehr die Wärmebelegung – das ist das Verhältnis der verkauften Wärmemenge zur Trassenlänge – für einen wirtschaftlichen Betrieb von zentraler Bedeutung ist (siehe dazu Amt der NÖ Landesregierung, 2001, S. 3–59). Da der Anteil der Investitionskosten für das Wärmenetze bei Nahwärmenetzen im Durchschnitt bei 40% der Gesamtinvestitionskosten liegt, können nur Ortsteile mit hoher Wärmenachfrage rentabel angeschlossen werden. Viele Anlagenplanungen gehen von zu optimistischen Erwartungen bezüglich der nachgefragten Wärmemenge aus und dehnen daher die Wärmenetze auch auf Ortsteile mit geringer Wärmenachfrage aus bzw. beurteilen Vorhaben auch für jene Gemeinden positiv, welche insgesamt eine zu geringe Wärmenachfrage aufweisen (siehe dazu auch Obernberger, 1997, S. 3).

Um suboptimalen Absatzgebieten bzw. Ortserschließungen entgegenzuwirken, muss die Frage nach dem ökonomisch optimalen Absatzgebiet gestellt werden. Die Beantwortung dieser Frage erfordert einen theoretischen Analyserahmen, der diese Fragestellung in die Methoden und Ansätze ökonomischer Optimierung einbettet und insbesondere die Einbeziehung unterschiedlicher räumlicher Nachfragedichten erlaubt. Die regionsspezifische, räumliche Nachfragestruktur ist für die Optimierung des Absatzgebietes wichtig, da die Verteilung der Nachfrage im Raum den optimalen Verlauf des Netzes im Raum bestimmt.

Die ökonomische Theorie bietet als Methode zur Optimierung der Produktionskapazität eines Produktionsmittels die langfristigen Kosten- und Angebotskurven an (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 183 bis S. 189). Regionsspezifische Nachfragestrukturen sind in diesem Ansatz allerdings nicht ausgeführt und daher muss die Methode der langfristigen Kostenkurven für

die Bestimmung des optimalen Absatzgebietes eines Leitungsnetzes unter Berücksichtigung regionsspezifischer, räumlicher Nachfragestrukturen erweitert werden.

Die Bestimmung des optimalen Absatzgebietes ist nicht nur für Biomasse-Nahwärmeversorgungssysteme relevant, sondern auch für sämtliche netzgebundene Güter wie z. B. Gasversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung etc., wobei die unterschiedlichen Eigenheiten der leitungsgebundenen Güter zu jeweils spezifischen Modellierungserfordernissen führen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen allgemein gültige Zusammenhänge und ein einfaches Modell zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge entwickelt werden und für den konkreten Fall der Biomasse-Nahwärmeversorgung angewandt werden.

1.2. Untersuchungsgegenstand und Abgrenzung der Aufgabenstellung

1.2.1. Ziel und Forschungsfrage

Ziel dieser Dissertation ist die Erarbeitung eines methodischen Ansatzes, der eine ökonomische Optimierung des Absatzgebietes leitungsgebundener Güterbereitstellung wie zum Beispiel Fernwärmesysteme, Wasserver- oder Abwasserentsorgung erlaubt. Die Herausforderung besteht darin, vorhandene ökonomische Ansätze wie das Konzept der langfristigen Kostenfunktion um räumlich differenzierte Nachfragestrukturen zu erweitern. Die Frage nach dem optimalen Absatzgebiet von Leitungsnetzen ist gleichbedeutend mit einem Abwenden von der Maxime der Vollversorgung sämtlicher Verbraucher mittels zentraler Infrastruktur. Es wird vielmehr explizit danach gefragt, welches Gebiet mit dem Leitungsnetz versehen werden soll und – implizit – welches Gebiet und damit welche Nachfrager nicht mit der zentralen Infrastruktur versorgt werden sollen und damit vom Konsum der leitungsgebundenen Güter ausgenommen sind.

Da es sich bei leitungsgebundenen Gütern oft um Grundbedürfnisse wie z. B. Wärmeversorgung oder Wasserversorgung handelt, müssen Annahmen über eine alternative, individuelle bzw. dezentrale Versorgung jener, von der Nutzung leitungsgebundener Güter ausgenommener Menschen getroffen werden. In dieser Arbeit werden nur leitungsgebundene Güter betrachtet, deren Leistung durch ein nicht leitungsgebundenes bzw. „dezentrales“ Konkurrenzgut substituiert werden kann. Die Wärmeversorgung mittels Fernwärmenetz kann zum Beispiel durch Öl-Einzelheizungen alternativ vorgenommen werden, die „zentrale“ – durch das Netz bereitgestellte – Wärme

kann also auch durch eine individuelle – vom Endverbraucher bestimmbare und damit dezentrale – Wärmebereitstellung ohne Netzerfordernis bereitgestellt werden.

Die zentralen Forschungsfragen können nun formuliert werden als:

- Welche Gebiete sollen mit Leitungsnetz ausgestattet und welche Gebiete sollen dezentral versorgt werden?
- Mit Hilfe welcher Methode kann das wirtschaftlich optimale Absatzgebiet eines Leitungsnetzes im Raum bzw. das optimale Absatzgebiet bestimmt werden?
- Führt die einzelwirtschaftliche Optimierungsentscheidung zum gleichen Absatzgebiet wie die Optimierungsentscheidung aus volkswirtschaftlicher Sicht? Und wenn die einzelwirtschaftliche Entscheidung und die volkswirtschaftliche Optimierung auseinander fallen:
- Sind Eingriffe in die einzelwirtschaftliche Entscheidung notwendig, um ein volkswirtschaftlich optimales Absatzgebiet zu erreichen?

1.2.2. Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Leitungsgebundene Güterbereitstellung und natürliches Monopol

Der Begriff „*Infrastruktur*“, wie er hier verwendet wird, beruht auf der Definition von Jochimsens (zitiert nach Gee, 1978, S. 4) und bezeichnet „die Gesamtheit aller materiellen, institutionellen und personalen Anlagen, Einrichtungen und Gegebenheiten, die den Wirtschaftseinheiten im Rahmen der arbeitsteiligen Wirtschaft zur Verfügung stehen und die mit dazu beitragen, die 1. Entgelte für gleiche Leistung der Produktivkräfte auszugleichen und 2. zugleich die größte Zuwachsrate der Gesamtwirtschaft herbeizuführen“. Kennzeichen von leitungsgebundenen Gütern sind die geteilte Nutzung der Leitungen durch eine Vielzahl von Nutzern, das daraus resultierende öffentliche Interesse an leitungsgebundener Güterbereitstellung, die aufgrund der speziellen Kosten- und Leistungsmerkmale gegebene wettbewerbliche Ausnahmesituation wie z. B. natürliche Monopole.

Der Begriff „*netz- oder leitungsgebundene Infrastruktureinrichtungen*“ schränkt die hier untersuchte Infrastruktur auf jene Leistungen, welche über ein materielles Leitungsnetz übertragen werden, ein. Da ein Leitungsnetz immer eine Infrastruktureinrichtung darstellt, ist der Ausdruck „*netz- oder leitungsgebundene Infrastruktureinrichtung*“ doppelt bestimmt. In weiterer Folge wird daher nicht der Begriff „*leitungsgebundene Infrastruktureinrichtung*“, sondern „*netz- oder leitungsgebundene Güterbereitstellung*“ verwendet. Nicht Ge-

genstand der Untersuchung sind immaterielle Netze wie z. B. Mobilfunknetze oder institutionelle Netzwerke.

Ein Leitungsnetz ist zumeist mit hohen Investitionskosten – und damit mit hohen Fixkosten der Güterbereitstellung – verbunden. Da die netzgebundene Güterbereitstellung aufgrund der hohen Fixkosten durch „Subadditivität der Kosten im relevanten Bereich der Nachfrage gekennzeichnet sind, d. h. einer Situation, in der die Kosten eines einzigen Anbieters einer insgesamt abzusetzenden Menge kleiner sind als die Summe der Kosten, die bei irgendeiner Aufteilung dieser Menge auf mehrere Anbieter entstehen würden“ (Schumann et al., 1999, S. 290), liegt bei netzgebundener Güterbereitstellung ein *natürliches Monopol* vor.

Unvollkommenes, kompetitives Substitutionsgut

Für viele leitungsgebundene Güter gibt es alternative Möglichkeiten der Befriedigung der Nachfrage. Statt Wärme über ein Fernwärmenetz zu beziehen, können die Haushalte z. B. eine Haus-Einzelheizung mit Öl- oder Holzkessel installieren. Statt Wasser aus dem öffentlichen Leitungsnetz zu konsumieren, können die Haushalte ihre Nachfrage an Wasser aus dem eigenen Brunnen oder z. B. mittels Wasserflaschen vom Einzelhandel decken.

Es handelt sich bei diesen Substitutionsgütern meist um Güter, die nicht gleich, aber ähnlich hinsichtlich der Befriedigung der Bedürfnisse sind, also um *unvollkommene Substitutionsgüter*¹. Der Betreiber eines leitungsgebundenen Leitungsnetzes ist daher zumeist mit einem *Angebot unvollkommener Substitutionsgüter* konfrontiert und eine Allokation dem Cournot-Punkt entsprechend ist damit nicht uneingeschränkt möglich (siehe dazu Schumann et al., 1999, S 289): Wenn das Nutzen-Kostenverhältnis des preisgünstigsten Substitutionsgutes über dem Nutzen-Kostenverhältnis der leitungsgebundenen Güter liegt, dann wird – unterstellt man keine über das Nutzen-Kostenver-

¹ Die Nachfrage nach Wärme kann z. B. durch Fernwärme ebenso gedeckt werden wie durch eine Ölzentralheizung. Allerdings sind mit der Fernwärme ein anderes Komfortniveau und andere Kosten verbunden: Für die Nutzung von Fernwärme bedarf es z. B. einer Wärmeübergabestation und der Entrichtung einer Anschlussgebühr. Der Zeitaufwand des Nutzers für die Heizung ist minimal, da sämtliche Arbeiten vom Heizwerksbetreiber erledigt werden und im Wohnraum kaum Schmutz entsteht. Bei der Nutzung eines Ölheizkessels hingegen ist in den Öltank und in den Heizkessel zu investieren, der Platzbedarf für Öltank und Heizkessel ist zu beachten sowie der Zeitaufwand und die Kosten des Haushalts für z. B. das jährliche Service der Ölheizung, das Einlagern des Ölvorrates und dergleichen.

hältnis hinausgehenden Präferenzen – nicht das leitungsgebundene Gut, sondern das preisgünstigste Substitutionsgut nachgefragt und umgekehrt.

Dieses preisgünstigste unvollkommene Substitutionsgut ist meist nicht durch ein natürliches Monopol gekennzeichnet, sondern wird auf (mehr oder weniger) vollständigen Konkurrenzmärkten angeboten und im Rahmen dieser Arbeit als *kompetitives Substitutionsgut* bezeichnet.²

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation werden nur jene netzgebundenen Güter untersucht, die durch das Vorhandensein mindestens eines kompetitiven Substitutionsgutes gekennzeichnet sind.

Ökonomische Optimierung

„*Ökonomische Optimierung*“ kann vieles bedeuten und muss daher für die nachfolgende Modellierung präzisiert werden. Optimiert wird die Allokation zur Befriedigung der Nachfrage, welche mittels netzgebundener Güter oder kompetitiver Substitutionsgüter befriedigt werden kann.

Da für leitungsgebundene Güter überwiegend wettbewerbliche Ausnahmeregelungen (natürliches Monopol) gelten, liegen derartige Leistungen meist im staatlichen Einflussbereich. Zusätzlich zur einzelwirtschaftlichen Optimierung werden daher auch verschiedene Ansätze der wohlfahrtsökonomischen Optimierung diskutiert.

Es wird also einerseits die

- einzelwirtschaftliche Gewinnmaximierung untersucht, also die Optimierung aus Sicht eines einzelnen Anbieters als auch
- der soziale Überschuss maximiert, d. h. eine Optimierung im Sinne der Maximierung der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt analysiert.

Die zentrale, leitungsgebundene Güterbereitstellung schafft mitunter **externe Nutzeffekte**. In einem weiteren Modellierungsschritt werden daher externe Nutzeffekte in das erweiterte Konzept langfristiger Kostenfunktionen einbezogen und **staatliche Maßnahmen zur Realisierung** wohlfahrtsoptimaler Absatzgebiete bei Vorhandensein externer Nutzen diskutiert.

² Obwohl viele der Substitutionsgüter auch staatlichen Regelungen unterliegen (so unterliegen z. B. auch die Preis für Heizöl staatlicher Einflussnahme), werden sie hier als kompetitiv bezeichnet, da im Vergleich zu leitungsgebundenen Gütern keine Monopolstellung vorliegt.

Produktionskapazität und Absatzgebiet – lokale Skalenebene

Die Frage nach der optimalen Produktionskapazität ist bei leitungsgebundener Güterbereitstellung eng mit der räumlichen „Reichweite“ des Leistungsnetzes bzw. dem Absatzgebiet verknüpft. Unter Absatzgebiet wird die räumliche Ausdehnung des Netzes innerhalb eines Versorgungsgebietes wie z. B. ein Fernwärmenetz in einer Gemeinde oder das Abwasserentsorgungsnetz in einer Stadt bezeichnet. Nicht untersucht werden großräumige Netze, die mehrere Versorgungsgebiete miteinander verbinden wie z. B. Gas-Hochdruckleitungen oder Stromtransmissionen – die hier untersuchten Netze versorgen daher nicht die gesamte Volkswirtschaft sondern sind eher im *lokalen Bereich* angesiedelt. Für die hier angestellten Betrachtungen ist daher nicht die gesamtwirtschaftliche Nachfrage nach einem Gut von Bedeutung sondern die regionalwirtschaftliche – auf das potentielle Versorgungsgebiet der leitungsgebundenen Güterbereitstellung beschränkte – Nachfrage, soweit sie mit zunehmender Ausdehnung des Absatzgebietes sinkende räumliche Dichte zeigt.

1.2.3. Mikroökonomie, Makroökonomie oder Betriebswirtschaftslehre?

Nach Schumann et al. (1999, S. 2) ist das Hauptanliegen der mikroökonomischen Theorie die Erklärung der marktwirtschaftlichen Koordination der einzelwirtschaftlichen Entscheidungen. Schumann weist drei Grundfragen der mikroökonomischen Theorie aus:

1. Welche Güter sollen in welchen Mengen produziert werden?
2. Welche Produktionsfaktoren oder Ressourcen sollen in die Produktion der Güter gelenkt und welche Produktionsmethoden sollen zur Anwendung kommen?
3. Wie sollen die Güter an die Wirtschaftseinheiten verteilt werden?

Die Intention der vorliegenden Arbeit ist die Modellierung der einzelwirtschaftlichen Entscheidungen der Anbieter leitungsgebundener Güter, um die Auswirkungen dieser Entscheidungen auf die marktwirtschaftliche Koordination (Mengenangebot, Preissetzung etc.) zu analysieren (positiv wissenschaftlich) und ein Instrumentarium für die Optimierung bereitzustellen (teleologisch, siehe dazu Brümmerhoff, 2001). Daher lässt sich die Arbeit in den Bereich der *Mikroökonomie* einordnen.

Für einen Anbieter leitungsgebundener Güter wird die Entscheidung über das optimale Absatzgebiet und die dadurch ermöglichte Benützung dieses Netzes für den Absatz eines Gutes und die damit verbundene Produktionsmenge ana-

lysiert. Weiters wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht, welche Auswirkung veränderte Rahmenbedingungen wie z. B. staatliche Subventionen³ auf die einzelwirtschaftlichen Allokationsentscheidungen haben, was ebenso Untersuchungsgegenstand der mikroökonomischen Theorie ist.

Im Gegensatz zur Mikroökonomie fasst die *Makroökonomie* Wirtschaftseinheiten zu Sektoren zusammen und untersucht deren Zusammenwirken und Koordination – eine für die Fragestellung dieser Arbeit zu hohe Aggregationsebene.

Die *Betriebswirtschaftslehre* ist im Gegensatz zur Volkswirtschaftslehre (Mikro- und Makroökonomie) rein einzelwirtschaftlich orientiert. Ihr Interessensfeld sind die einzelnen Wirtschaftseinheiten (Betriebe, Haushalte), deren Strukturen und die Prozesse, die innerhalb dieser Strukturen ablaufen. Die Betriebswirtschaftslehre versucht also, die Wirtschaft von ihren Zellen zu begreifen und zu gestalten (siehe dazu Schierenbeck, 1989, S.7). Laut Schumann et al. (1999 S. 3) sind in der volkswirtschaftlichen Mikroökonomik die einzelwirtschaftlichen Theorien des Haushalts und der Unternehmung stets nur Unterbau oder Vorstufe für das Vordringen zum Problem der marktwirtschaftlichen Koordination. Die Mikroökonomik zielt letztlich stets auf die analytische Erklärung und die ordnungspolitische Gestaltung der gesamten Volkswirtschaft. In der Betriebswirtschaftslehre steht die analytische Durchdringung und die erfolgreiche Führung einer Unternehmung im Vordergrund; der Untersuchungsgegenstand „Unternehmung“ oder „Firma“ kann breiter aufgefächert werden. Ein erfolgreiches Management muss zwar auf die wirtschaftliche Umgebung der Unternehmung, also auf Absatzmärkte für produzierte Güter, auf Beschaffungsmärkte für Produktionsfaktoren, auf Finanzierungsmöglichkeiten über den Kapitalmarkt achten und konkurrierende Unternehmungen einbeziehen, doch stellt dieses Umfeld nur einen vergleichsweise engen Ausschnitt aus der gesamten Volkswirtschaft dar.

Der Anspruch der Mikroökonomik, die marktwirtschaftliche Koordination zu untersuchen, lässt sich für die gesamte Volkswirtschaft nur verwirklichen, wenn für die Entscheidungen der Wirtschaftseinheiten vereinfachende Annahmen getroffen werden. Jede wissenschaftliche Durchdringung von Sachverhalten erfordert, von der komplexen Wirklichkeit zu abstrahieren. Dieses im Vergleich zur Betriebswirtschaft höhere Abstraktionsniveau in der Mikroökonomik ermöglicht die Betrachtung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge, allerdings stehen einzelwirtschaftliche Aussagen –z. B. welche Objekte in

³ Das Subventionserfordernis ist hier auf zwei Gründe zurückzuführen. Einerseits ist das natürlich Monopol zur Grenzkostenpreisbildung zu bewegen, andererseits sind externe Effekte zu internalisieren.

einer konkreten Region an das Leitungsnetz angeschlossen werden sollen und welche nicht – nicht im Zentrum der mikroökonomischen Analyse.

Die vorliegende Arbeit zielt in erster Linie auf die Erklärung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge und Sacherverhalte ab. Der Anbieter leistungsgebundener Güter wird als eine Wirtschaftseinheit im Marktgefüge gesehen, der einen Beitrag zur Gesamtwohlfahrt leistet und es werden primär die Methoden der Mikroökonomie zur Optimierung dieses Beitrages angewandt. Das damit verbundene Abstraktionsniveau erlaubt zwar eine volkswirtschaftliche Analyse des Absatzgebietes netzgebundener Güter, eine betriebswirtschaftliche Optimierung des Netzausbaues (Welche Objekte sind anzuschließen?) wird jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht explizit geleistet.

1.2.4. Totalanalyse oder Partialanalyse?

Durch das allgemeine Modell der vollständigen Konkurrenz wird das Geschehen auf sämtlichen Märkten einer Volkswirtschaft abgebildet (Totalanalyse). Eine solche umfassende Vorgehensweise ist bei der Untersuchung unvollkommener Märkte nicht mehr möglich. Der Vorteil einer realitätsnäheren Betrachtung der Marktprozesse wird mit dem schwerwiegenden Nachteil erkaufte, dass nur noch ausgewählte Prozesse in einer Teilmenge aller Märkte einer Volkswirtschaft betrachtet werden können (Partialanalyse). Eine Einbettung dieser Teilprozesse in ein Gesamtmodell der Volkswirtschaft ist in der Regel nicht mehr möglich (Borrmann et al., 1999, S. 7). Der in der vorliegenden Arbeit entwickelte Ansatz kann zwar aufgrund der Betrachtung eines Marktes mit unvollkommener Konkurrenz und Externalitäten – nur eine Partialanalyse leisten, es werden aber dennoch die wesentlichen Wirkungszusammenhänge erfasst.

1.2.5. Positive, normative oder teleologische Theorie der Regulierung?

Die positive Theorie der Regulierung erklärt in erster Linie die Auswirkungen von Regulierungsmaßnahmen sowie der Gründe dafür, weshalb diese Regulierungsmaßnahmen ergriffen wurden. Während die positive Theorie der Regulierung auf eine Erklärung der tatsächlich stattfindenden Staatseingriffe und den Bestimmungsgrößen dafür sowie (allenfalls) auf dieser Kenntnis der Kausalitäten aufbauend eine Prognose der künftigen Staatseingriffe abzielt, geht die normative Theorie der Regulierung einer anderen Frage nach. Sie beschäftigt sich damit, ob und gegebenenfalls wie reguliert werden sollte, wenn bestimmte Systemzustände, insbesondere maximales Wohlfahrtsniveau, erzielt werden sollen.

Normative Theorien gehen von einer bestehenden Norm aus, es wird hier nicht versucht, das Vorhandensein einer Norm oder eines Zieles zu begründen, sondern vielmehr die Bedingungen und Handlungen die zur Erfüllung dieser Norm führen analysiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wird von in der Volkswirtschaftslehre anerkannten Zielen wie z. B. die Maximierung des sozialen Wohlstandes oder die Maximierung des einzelwirtschaftlichen Gewinnes ausgegangen. Diese Ziele werden nicht hinterfragt, sondern vielmehr die durch Kausalanalyse als notwendig erkannten Handlungen und Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele in Form von und staatlichen Regulierungseingriffen in die privaten Allokationsentscheidungen untersucht. Insofern ist diese Arbeit als „teleologisch“, das heißt einen bestimmten Zweck verfolgend, zu bezeichnen (siehe dazu Brümmerhoff, 2001)

1.3. Literaturüberblick

Es existieren viele Arbeiten, die sich mit der Optimierung des Absatzgebietesleitungsgebundener Güterbereitstellung beschäftigen. Ein großer Teil der einschlägigen Ansätze konzentriert sich auf eine Minimierung von Kosten mittels technischer Maßnahmen. Von Brunn, 1999 fasst entwickelte EDV-Tools zur Optimierung von Fernwärmesystemen zusammen. Optimiert werden in erster Line der Bezug von Brennstoffen sowie die Einsatzplanung in einem Verbundsystem. Poggemann (1998) gibt einen Überblick über die konkrete Anwendbarkeit unterschiedlicher Softwareprodukte zur Betriebsoptimierung von Fernwärmesystemen. Obernberger (2001), Böhm (1971) und (1974) sowie Glück (1985) beschäftigen sich mit der Optimierung der Fernwärmerohrleitungssysteme, wobei größtenteils Rohrdurchmesser und Netzstruktur optimiert werden. Cembrowicz (1997) untersucht Methoden zur Optimierung der Rohrdurchmesser und Netzstrukturen im Bereich der Wasserversorgung, wobei von einem bestimmten exogen gegebenen Betrachtungsraum ausgegangen wird.

Im Bereich der Elektrizitätsversorgung werden unterschiedliche Optimierungsmethoden eingesetzt, wobei großteils Kosten minimiert werden. Für die in dieser Dissertation gestellte Forschungsfrage interessieren primär Methoden der Verteilnetzoptimierung, da die Optimierung der Übertragungsnetze von einer fixen Stromnachfrage ausgeht. Bei dem in Duan (2002) dargestellten heuristischen Ansatz wird ein Kürzester-Wege-Algorithmus eingesetzt, um die kostengünstigsten Netzlösungen zu finden.

Für die vorliegende Dissertation insbesondere relevante Arbeiten sind Hackner (2005), Tietz (1983), Tietz (2007) sowie Turk (1989).

Hackner (2005) entwickelte ein Softwaretool zur Fernwärmeausbauplanung, das mit Hilfe eines metaheuristischen Lösungsansatzes den Gewinn eines Netzes optimiert. Es wird ein lineares Modell für das „Prize Collecting Steiner Tree Problem“ angewandt. Jeder Verbraucher wird als Terminalknoten in einem ungerichteten Graphen gesehen. Maximiert wird der Barwert des Gewinns, abhängig von den Knotenpreisen und durchflussabhängigen Kantenkosten. Die Lösung wird mittels heuristischem Verfahren (Simulated Annealing, genetische Operatoren und kürzeste Wege) ermittelt. Ebenso wird eine Rohrnetzdimensionierung durchgeführt. Exogen gegeben sind die Topologie des Rohrnetzes, die Rohrlängen, hydraulische Kennwerte, Vorlauftemperatur der Energiewandler sowie Nennwärmeleistungen und Auskühlung bei den Verbrauchern.

Auch Ljubic (2004) formuliert das Netzoptimierungsproblem als „Prize Collecting Steiner Tree Problem“. Sie verwendet einen erweiterten „branch-and-cut-and-price (BCP) Algorithmus in einem heuristischen Tool, um die Optimierung auch für eine große Anzahl an „Netzkunden“ durchführen zu können. Weiters wurde ein spezieller Algorithmus (polynomial time algorithm) zur Lösung von Problemstellungen mit ungleichen Verbindungen entwickelt. Die entwickelten Tools und Algorithmen wurden an einer realen Problemstellung, der Optimierung des Netzes des Deutschen Unternehmens NetCologne, getestet, wobei das optimale Netz innerhalb von 12 Stunden berechnet werden konnte.

Turk (1989) thematisiert den gewinnmaximalen Netzausbau in der Fernwärmeversorgung. Es werden identische Abnehmer unterstellt und eine vom Zentrum ausgehende, nicht linear monoton fallende Wärmepotentialfunktion, ähnlich der Vorgehensweise in der vorliegenden Dissertation. Es wird ein Fixkosten-Umladetransportmodell eingesetzt und der optimale Wärmepreis und Versorgungsradius gewählt. Problematisch bei diesem Ansatz ist, dass das Verfahren nur für relativ kleine Gebiete (geringe Anzahl an Knoten und Kanten) eingesetzt werden kann und Informationen auf Objektebene vorhanden sein müssen.

Tietz (1983) betrachtet die Optimierung der Fernwärmeversorgung auch unter stadtplanerischen Gesichtspunkten. Es wird eine Methode zur Ermittlung des Raumwärmebedarfs entwickelt, die mit Hilfe von Luftbildern Siedlungstypen definiert und daraus den Wärmebedarf ableitet. Weiters wird eine Methode zur Bestimmung des geeignetsten Versorgungsgebietes auf Basis von flächenbezogenen Dichtewerten entwickelt. Auch hier wird, wie bei Hackner (2004) ein heuristischer Lösungsansatz gewählt. Die Verbraucher werden nicht als Knoten in einem Graphen dargestellt, sondern als Knoten in einem vermaschten Netz. Es wird jene Größe des Versorgungsgebiets ermittelt, welche die geringsten Gesamtkosten verspricht.

In Tietz (2007) findet sich ein Kapitel zur „Systemoptimierung im Raum“ (Tietz, 2007, S. 325 – 331). Spezifisch steigende Transportkosten in Abhängigkeit von der Versorgungsgebietsgröße werden thematisiert. Eine weiterführende Analyse zur analytischen Bestimmung des ökonomischen Optimums wird allerdings nicht durchgeführt.

Aus den Arbeiten von Tietz (1983 und 2007) fließen wichtige Erkenntnisse in die vorliegende Arbeit ein. Allerdings wird hier nicht ein heuristischer, sondern deterministischer Ansatz gewählt und statt der Kostenminimierung wird eine Gewinnmaximierung unter einzel- und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten untersucht.

Die der Autorin bekannten wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigen sich in erster Linie mit einer betriebswirtschaftlichen Ausbauoptimierung (Kostenminimierung, Gewinnmaximierung durch Netzplanung auf Ebenen individueller Verbraucher). In einigen Arbeiten wurden makroökonomische Betrachtungen angestellt, die nicht auf Ebene individueller Verbraucher, sondern aggregiert bei Wärmedichtebetrachtungen ansetzen. Mikroökonomische Analysen zu der gestellten Frage, wie sie in dieser Dissertation gezeigt werden, sind der Autorin jedoch nicht bekannt.

1.4. Vorgangsweise

Für die Bearbeitung der Forschungsfrage wird zunächst ein *theoretisches Konzept* erarbeitet, welches anschließend für ein *konkretes Fallsbeispiel* angewandt wird, anhand dessen die notwendige Datenaufbereitung und -bearbeitung gezeigt wird.

Im Rahmen der theoretischen Analyse

- wird die Arbeit im Rahmen der *ökonomischen Theorie verortet* und für die Fragestellung relevante *ökonomischen Konzepte kurz beschrieben* (Kapitel 2 Theoretische Grundlagen),
- wird das Konzept der *langfristigen Kostenfunktion adaptiert*, indem räumliche Nachfragestrukturen einbezogen und ein einfaches analytisches Modell entwickelt wird (Kapitel 3 Modellüberblick, Symbolbeschreibung und Fallbeispiel, 4 Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern und 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung),
- wird die *einzel- und volkswirtschaftliche Optimierung* mit dem adaptierten Konzept der langfristigen Kostenfunktion abgeleitet und *Ergebnisse* der Optimierung *diskutiert*, (Kapitel 6 Optimierung)
- werden die *Auswirkungen externer Effekte* und unterschiedlicher *staatlicher Eingriffe* dargestellt (Kapitel 7 Externe Effekte und Staatsintervention).

Parallel zur theoretischen Analyse wird die Anwendung des entwickelten Konzepts anhand eines konkreten Fallbeispiels für die steirische Gemeinde Bad Gleichenberg gezeigt. Die notwendigen Daten wie z. B. Kostenfunktionen und regionsspezifische Daten (Verteilung der Wärmenachfrage in Bad Gleichenberg) werden abgeschätzt und aufbereitet und mit dem, im theoretischen Teil entwickelten Modell, verknüpft. Die Auswirkungen externer Nutzen und unterschiedliche staatlicher Maßnahmen zur Realisierung des volkswirtschaftlich optimalen Absatzgebietes werden gezeigt.

2. Theoretische Grundlagen

Folgende Konzepte und Methoden werden in Zuge Arbeit angewandt bzw. adaptiert und die Grundlagen dazu im Folgenden kurz beschrieben:

- Mikroökonomische Theorie des Monopols und des natürlichen Monopols
- Volkswirtschaftliche Effizienz – wohlfahrtsökonomisches Optimum
- Bestimmung der optimalen Produktionskapazität – Langfristige Kostenfunktion
- Externe Effekte

2.1. Mikroökonomische Theorie des Monopols und des natürlichen Monopols

Der Markt eines *Monopols* ist gekennzeichnet durch nur einen Anbieter des Gutes⁴. Im Gegensatz zum Markt mit vollständiger Konkurrenz kann dieser eine Anbieter als Preissetzer agieren, d. h. er kann den für ihn optimalen Preis in Abhängigkeit von seiner Grenzkostenfunktion und der Preis-Absatz-Kurve oder Nachfragefunktion wählen. Unter der Annahme, dass dem Monopolisten die gesamtwirtschaftliche (bzw. bei leitungsgebundenen Gütern vielmehr die Versorgungsregion betreffende regionalwirtschaftliche) Nachfragefunktion bekannt ist und typischerweise mit negativer Steigung verläuft, gilt:

$$D=D(p) \text{ mit } \frac{dD}{dp} < 0$$

D Nachfrage
 D(p) Nachfragefunktion in Abhängigkeit vom
 Preis
 p Preis des Gutes

Wobei D auch nach p aufgelöst werden kann:

$$p=p(D) \text{ mit } \frac{dp}{dD} < 0$$

Während bei vollständiger Konkurrenz der Preis für den einzelnen Anbieter eine fixe Größe ist, an die er sich durch Bestimmung der gewinnmaximierenden Menge anpasst, steht es dem Monopolisten frei, entweder die Menge oder

⁴ Die Marktform der „Monopolistischen Konkurrenz“, trifft aufgrund der hier getroffenen Annahmen nicht zu, da im Bereich des Leitungsnetzes nicht mehrere Anbieter vorhanden sind, sondern aufgrund des natürlichen Monopols eben nur ein Anbieter auf den Markt tritt.

den Preis zu setzen. Aus der Nachfragefunktion $D(p)$ kennt der Monopolist die Menge, welche die Nachfrager bei einem von ihm gesetzten Preis abnehmen und der Monopolist wird immer die Menge Y anbieten, die bei dem festgesetzten Preis p nachgefragt wird. Daher ist am Monopolmarkt immer die Marktgleichgewichtsbedingung $D(p)=Y(p)$ erfüllt, sodass statt $D=D(p)$ auch $D(p)=Y(p)$ bzw. $Y=D(p)$ mit $\frac{dY}{dp} < 0$ und $p=p(Y)$ mit $\frac{dp}{dY} < 0$ gilt (siehe dazu Schumann et al., 1999, S. 277). Diese Preis-Absatz-Beziehung zeigt, welchen Preis der Monopolist auf dem Markt „nehmen“ muss, um die von ihm geplante Menge abzusetzen ($p=p(Y)$) bzw. welche Absatzmenge er zu dem von ihm gesetzten Preis verkaufen kann.

Die Erlösfunktion kann wie folgt beschrieben werden:

$R = p(Y) \times Y$, der Grenzerlös ergibt sich aus

$R' = \frac{dR}{dY} = \frac{dp}{dY} \times Y + p(Y)$ wobei wie oben beschrieben $\frac{dp}{dY} < 0$. Im Vergleich zum Markt mit vollständiger Konkurrenz ist der Preis keine fixe Größe. Der optimale Produktionsplan des Monopolisten wird durch die Maximierung des Monopolgewinnes $P(Y)$ bestimmt:

$$P(Y) = R(Y) - C(Y)$$

$P(Y)$Gewinnfunktion
 $R(Y)$Erlösfunktion
 $C(Y)$ Kostenfunktion

Die gewinnmaximierende Produktionsmenge ist gemäß Bedingung 1. Ordnung bei einem Grenzerlös von null erreicht.

$$P'(Y) = R'(Y) - C'(Y) = 0$$

oder

$$R'(Y) = C'(Y)$$

Gemäß Bedingung 2. Ordnung ist ein Gewinnmaximum nur dann erreicht, wenn

$$P''(Y) = R''(Y) - C''(Y) < 0$$

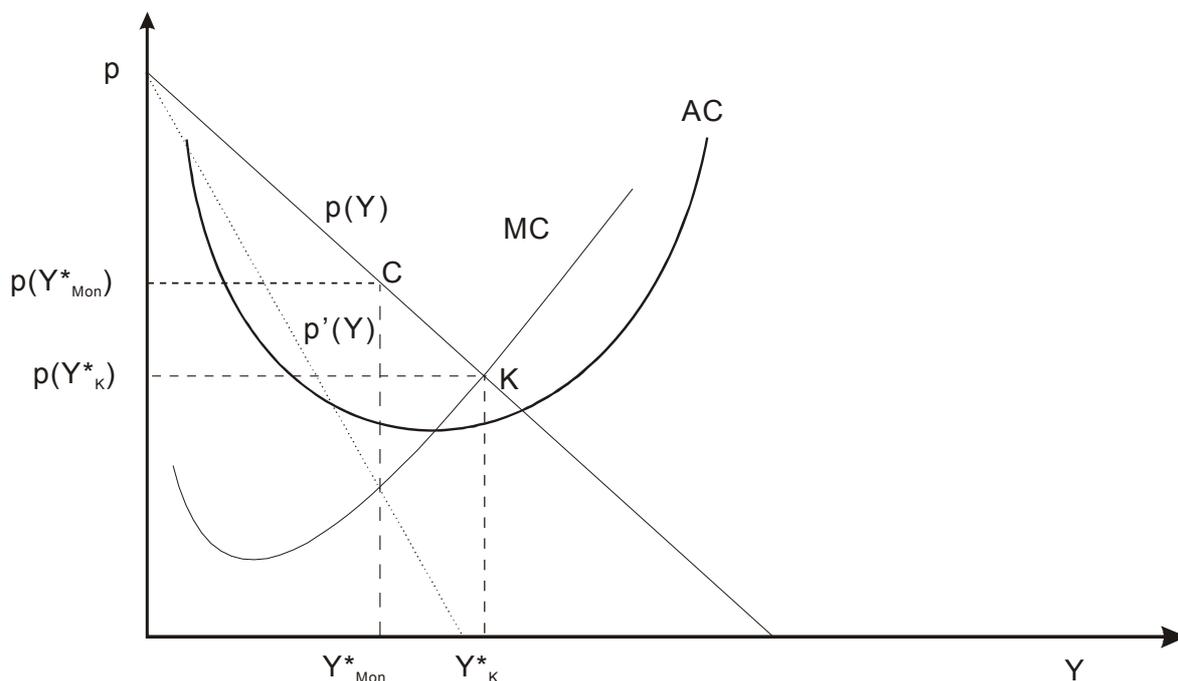
oder

$$R''(Y) < C''(Y)$$

Die folgende Abbildung zeigt die beschriebenen Zusammenhänge. Es wird eine fallende Preis-Absatz-Funktion $p(Y)$ unterstellt. Der Grenzerlös $p'(Y)$ schneidet die Abszisse bei der halben Sättigungsmenge. Weiters wird eine typisch S-förmige Gesamtkostenkurve mit zugehöriger Grenzkosten- und Durchschnittskostenkurve (MC und AC) unterstellt. Der gewinnmaximierende Absatz ist bei Y^*_{Mon} erreicht, wo die Grenzkostenfunktion die Grenzerlösfunk-

tion von unten schneidet und damit die Bedingungen 1. und 2. Ordnung erfüllt sind. Der Preis zum gewinnoptimalen Absatz beträgt $p(Y_{Mon}^*)$. Der Punkt C zeigt den Cournotschen Punkt mit Y_{Mon}^* und $p(Y_{Mon}^*)$. Würde es sich bei dem dargestellten Markt nicht um einen Monopolmarkt, sondern um einen Markt mit vollständiger Konkurrenz handeln, läge die gewinnmaximierende Menge bei Y_K^* und der zugehörige Preis bei $p(Y_K^*)$. Die Absatzmenge liegt damit im Monopol unter der Absatzmenge bei vollkommener Konkurrenz und der Monopolpreis liegt über dem Preis bei vollkommener Konkurrenz.

Abbildung 1: Gewinnmaximale Preis-Mengen-Kombination beim Monopol



Quelle: Eigene Graphik in Anlehnung an Schumann et al. (1999, S. 280)

Ein *natürliches Monopol* liegt dann vor, wenn „Subadditivität der Kosten im relevanten Bereich der Nachfrage gegeben ist, das ist eine Situation, in der die Kosten eines einzigen Anbieters einer insgesamt abzusetzenden Menge kleiner sind als die Summe der Kosten, die bei irgendeiner Aufteilung dieser Menge auf mehrere Anbieter entstehen würden“ (Schumann et al., 1999, S. 290) gegeben ist.

Eine Kostenfunktion ist subadditiv wenn im relevanten Bereich gilt

$$C(Y_1 + Y_2) < C(Y_1) + C(Y_2)$$

Y_i Absatzmenge=Produktionsmenge des Anbieters i
 $C(Y)$ Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Absatzmenge

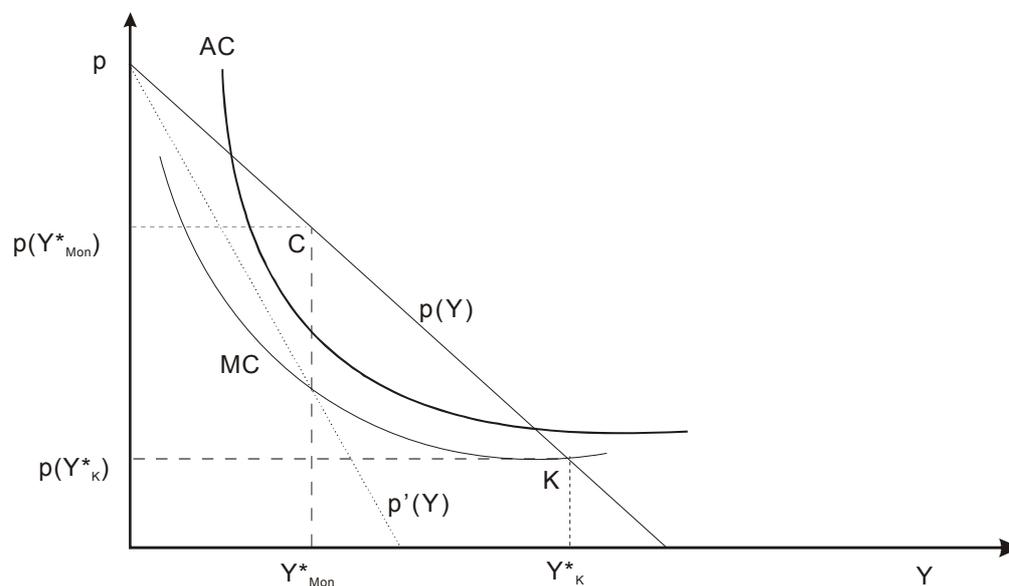
(siehe dazu Bühler et al., 2002, Abschnitt 2.2).

Der „relevante Bereich“ bezieht sich auf die Outputmenge (=Nachfrage), für die die Preisabsatzfunktion oberhalb der Grenzkostenkurve verläuft. Fallende Durchschnittskosten implizieren subadditive Kostenfunktionen, sind also hinreichend aber nicht notwendig für die Subadditivität der Kostenfunktion und damit für ein natürliches Monopol. Für netzgebundene Güterbereitstellung gilt aufgrund der hohen Fixkosten für das Netz in einem relativ großen Bereich Subadditivität.

„Ein natürliches Monopol ist realistisch für Güter, deren Produktion und insbesondere die Bereitstellung für die Abnehmer extrem hohe spezifische Investitionen, beispielsweise für die Errichtung eines Schienennetzes oder eines Leitungssystems auf kommunaler Ebene, erfordert. Es wäre volkswirtschaftliche Verschwendung aus Wettbewerbsgründen den Markteintritt eines zweiten oder dritten Anbieters zu forcieren. Die mehrfach vorgenommenen Investitionen, beispielsweise in ein Netz, könnten nicht sinnvoll ausgelastet werden.“ (Schumann et al., 1999, S. 291).

Die folgende Graphik zeigt den typischen Kostenverlauf im natürlichen Monopol: fallende Durchschnitts- und Grenzkosten.

Abbildung 2: Gewinnmaximale Preis-Mengen-Kombination im natürlichen Monopol



Quelle: Eigene Graphik in Anlehnung an Schumann et al. (1999, S 289)

Beim natürlichen Monopol wird wie beim Monopol durch das Streben nach maximalem Gewinn die Cournotsche Preis-Mengen-Kombination gewählt, die eine geringere Absatzmenge zu einem höheren Preis zur Folge hat und eine wohlfahrtstheoretisch nicht optimale Ressourcenallokation impliziert. Aus der Subadditivität der Kosten wurde „traditionell vielfach die Forderung abgeleitet, dass der Marktzutritt beschränkt werden müsse. Nur ein Unternehmen

solle in diesen Fällen den Markt bedienen. Andererseits dürfe das so gesicherte Monopolunternehmen seine Monopolstellung nicht zum Nachteil der Konsumenten ausnutzen. Deshalb müsse es vom Staat reguliert werden. Monopolistisch überhöhte Preise seien durch Preisregulierung zu verhindern. Vielfach seien zudem die Preisstruktur und die Produktqualität zu regulieren....“ (Borrmann et al., 1999, S. 101). Daher werden im Rahmen dieser Arbeit auch staatliche Interventionen bzw. Regulierungsmaßnahmen untersucht.

2.2. Volkswirtschaftliche Effizienz – wohlfahrtsökonomisches Optimum

Eine Allokation wird im Allgemeinen als volkswirtschaftlich effizient bezeichnet, wenn diese „pareto-optimal“ ist. Eine pareto-optimale Allokation liegt dann vor, wenn es keine andere Allokation gibt, die mindestens ein Individuum besser stellt, ohne ein anderes Individuum schlechter zu stellen. Allerdings können mit dem paretianischen Wohlfahrtskriterium viele Allokationen nicht bewertet werden, da zwischen unterschiedlichen Allokationen zu meist keine pareto-dominante Beziehung vorliegt. Vergleicht man z. B. das Marktergebnis bei unregulierter monopolistischer Konkurrenz mit einem qualitätsregulierten Monopol, ist keines der beiden Marktergebnisse pareto-dominant, da bei beiden Varianten Marktteilnehmer schlechter gestellt sind als bei der jeweils anderen Variante (Borrmann et al., 1999, S. 16).

Eine Rangordnung von Allokationen oder Marktergebnissen, für die keine eindeutige pareto-dominante Beziehung vorliegt, kann durch das in Betracht ziehen von Einkommensumverteilung erstellt werden. Eine Allokation A1 dominiert bei Geltung des sozialen Überschusses als Wohlfahrtsmaß eine andere Allokation nach Einkommensumverteilung dann, wenn A1 mindestens ein Individuum besser stellt als eine andere Allokation A2. Dieses Effizienzmaß wird auch Kaldor-Hicks-Effizienz genannt (Varian, 2003, S. 15 ff). „Dieses Wohlfahrtsmaß lässt sich verhältnismäßig leicht anwenden und ist deshalb der wichtigste normative Maßstab der Industrieökonomik und der Regulierungstheorie“ (Borrmann et al., 1999, S. 17).

Berechnet wird das Wohlfahrtsmaß „sozialer Überschuss“ durch Addition der in Geldeinheiten bewerteten Konsumentenrente und der Unternehmensgewinne oder Produzentenrente. Der volkswirtschaftlich optimale Preis unter dem Wohlfahrtskriterium des sozialen Überschusses liegt beim Monopol bei den Grenzkosten (siehe dazu Borrmann et al., 1999, S. 19 ff.) denn:

Die Konsumentenrente V ist abhängig vom Preis und wird als $V(p) = \int_p^{\infty} Y(p) dp$ definiert, wobei $Y(p)$ der Nachfragefunktion entspricht. Der Soziale Überschuss $S\ddot{U}(p)$ in Abhängigkeit vom Preis p errechnet sich wie folgt:

$S\ddot{U}(p)$ Sozialer Überschuss bei Preis p
$C(Y)$ Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Nachfrage Y
$V(p)$ Konsumentenrente bei Preis p
$Y(p)$ Nachfrage bei Preis p

$$S\ddot{U}(p) = V(p) + p \times Y(p) - C(Y) = \int_p^{\infty} Y(p) dp + p \times Y(p) - C(Y).$$

Für die Berechnung des Preises, der den sozialen Überschuss maximiert, wird die Ableitung Null gesetzt:

$$\frac{dS\ddot{U}(p)}{dp} = 0$$

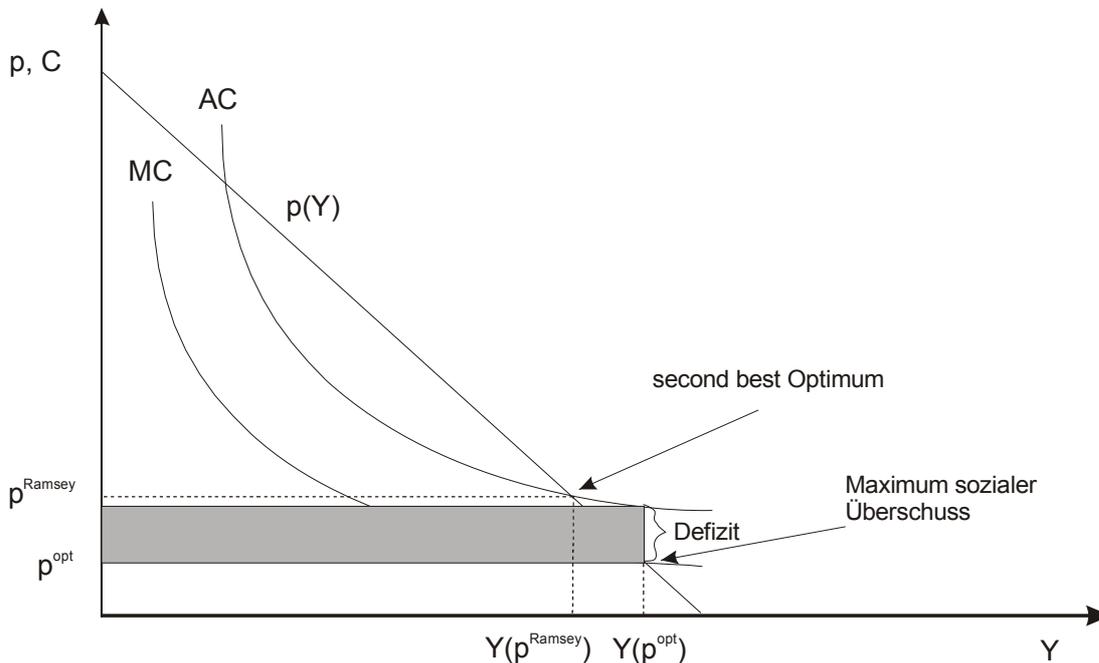
$$\begin{aligned} \frac{dS\ddot{U}(p)}{dp} &= \frac{dV(p)}{dp} + \frac{d(p \times Y(p))}{dp} - \frac{dC(Y)}{dp} = \frac{d \int_p^{\infty} Y(p) dp}{dp} + Y(p) + p \times \frac{dY(p)}{dp} - \frac{dC(Y)}{dY} \times \frac{dY(p)}{dp} = \\ &= -Y(p) + Y(p) + p \times \frac{dY(p)}{dp} - \frac{dC(Y)}{dY} \times \frac{dY(p)}{dp} = \left(p - \frac{dC(Y)}{dY} \right) \times \frac{dY(p)}{dp} = 0, \end{aligned}$$

$$p = \frac{dC(Y)}{dY} \Rightarrow \text{Preis} = \text{Grenzkosten}$$

Damit gilt bei volkswirtschaftlicher Optimierung die Grenzkostenpreisregel auch für den Monopolisten.

Leitungsgebundene Güterbereitstellung ist zumeist mit hohen Fixkosten und damit mit kostenmäßigen Großbetriebsvorteilen (**economies of scale**) verbunden. Kostenmäßige Großbetriebsvorteile liegen dann vor, wenn die Grenzkosten kleiner sind als die Durchschnittskosten. Für die leitungsgebundene Güterbereitstellung kann daher im Bereich der Kostenfunktion, in dem kostenmäßige Großbetriebsvorteile gelten, nicht die im vorigen Kapitel beschriebene Grenzkostenpreisregel angewandt werden, da die Grenzkosten unter den Durchschnittskosten liegen und mit einem Preis der den Grenzkosten entspricht, ein Defizit verbunden wäre (wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist).

Abbildung 3: Wohlfahrtsoptimale Preis-Mengen-Kombination im natürlichen Monopol



Quelle: Eigene Graphik an Anlehnung an Schumann et al. (1999, S. 291)

Ramsey-Preise

Volkswirtschaftlich optimale Preise (in obiger Abbildung p^{opt}), auch first-best outcome genannt, können bei Betriebsgrößenvorteilen nur dann aufrechterhalten werden, wenn der Staat dem betreffenden Unternehmen fortlaufende Subventionen gewährt. Es stellt sich die Frage, welcher Preis wohlfahrtsoptimal unter der Nebenbedingung der Kostendeckung ist. Bei diesem „zweitbesten Preis“ wird also zur Zielfunktion eine zusätzliche Restriktion eingeführt. Dieser Preis kann nur noch zu einer unter der Eigenwirtschaftlichkeitsbedingung wohlfahrtsoptimalen Lösung führen, dem so genannten zweitbesten Ergebnis (second-best outcome) (Borrmann et al., 1999, S. 163). Bei der Frage, welche Preise wohlfahrtsoptimal unter der Nebenbedingung der Kostendeckung sind, lautet das Maximierungsproblem:

Max $S\dot{U}(p) = V(p) - p \times Y(p) - C(Y(p))$ unter der Nebenbedingung $p \times Y(p) - C(Y(p)) \geq 0$. Bei fallenden Durchschnittskosten und fallender Nachfragefunktion $p(Y)$ ist der Preis für dieses Maximierungsproblem jener Preis, der den Durchschnittskosten entspricht (Abbildung 3) – dieser „second best“ Preis wird in der Literatur auch *Ramsey-Preis* genannt. Für den Fall einer preiselastischen Nachfrage könnten die Gewinne des Monopolisten durch eine Erhöhung des Preises im gleichen Ausmaß gesteigert werden wie die Konsumentenrente sinkt (siehe dazu Borrmann Borrmann et al., 1999, S. 164).

C_i	kurzfristige Kosten bei Betriebsgröße i definiert durch Produktionskapazität
F_i	Fixkosten bei Betriebsgröße i definiert durch Produktionskapazität Produktionskapazität i
Y_i	Absatzmenge=Produktionsmenge mit den geringsten Durchschnittskosten bei Produktionskapazität i
LC	Langfristige Kostenfunktion

Quelle: Eigene Graphik an Anlehnung an Schumann et al. (1999, S 184)

Die Funktion C_1 gilt bei relativ kleiner Produktionskapazität F_1 , sie ist für kleine Mengen Y günstiger, für große Mengen Y ungünstiger als C_2 und C_3 . Die Funktion C_3 gilt bei relativ großer Produktionskapazität F_3 und ist für große Mengen Y günstiger als F_1 und F_2 .

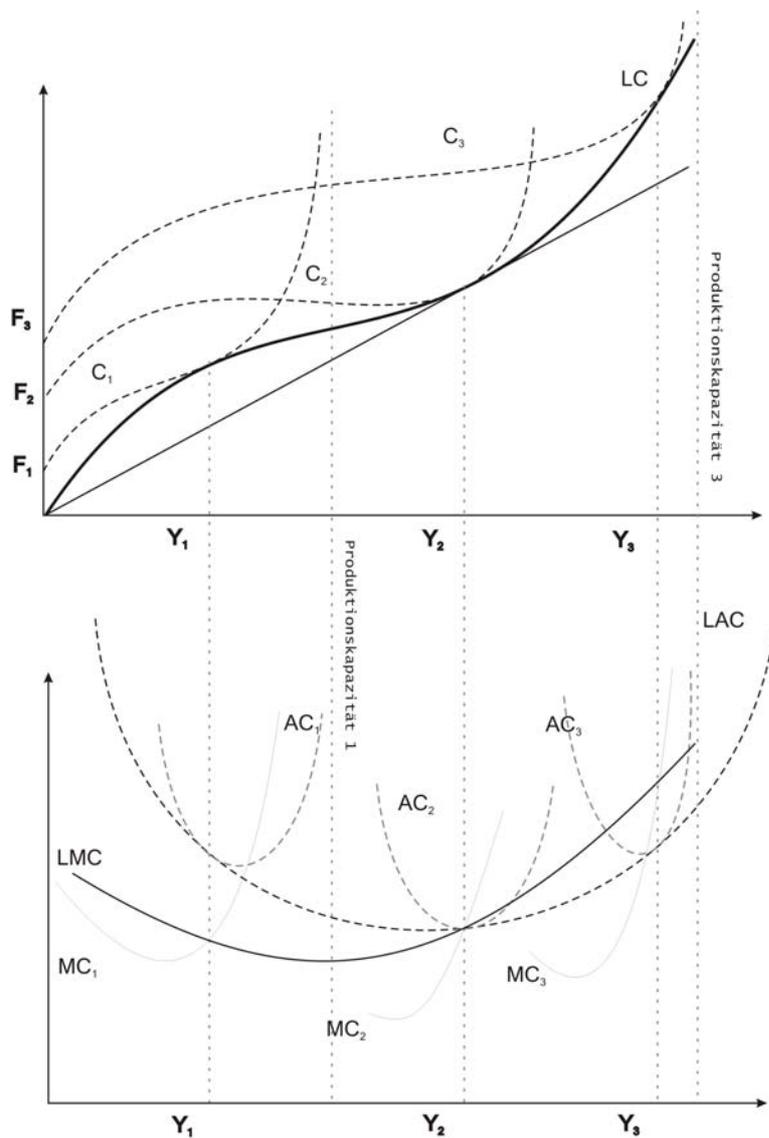
Für jede beliebige Menge Y wird die Produktionskapazität so gewählt, dass die Kosten C minimal sind. Da jeweils die minimalen Kosten die für eine Produktionsmenge relevanten Kosten darstellen, ist die *langfristige Kostenfunktion die umhüllende Kurve LC*. Jeder Punkt auf der Umhüllenden ist Tangentialpunkt mit einer kurzfristigen Kostenkurve für gegebene Produktionskapazität.

Auf der langfristigen Kostenfunktion können nun für jede beliebige Menge Y_i die minimalen Kosten für die Produktion dieser Menge abgelesen werden. Die optimale Produktionskapazität wird durch jene kurzfristige Kostenfunktion K_i bestimmt, für die bei der Menge Y_i gilt:

- die kurzfristigen und langfristigen Kosten stimmen überein.
- die Steigung und damit die Grenzkosten stimmen überein.
- die langfristigen und kurzfristigen Durchschnittskosten stimmen überein.

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen kurzfristigen und langfristigen Grenz- und Durchschnittskostenkurven.

Abbildung 5: Kurzfristige und langfristige Grenz- und Durchschnittskostenkurven



Quelle: Schumann et al. (1999, S. 185)

- i Betriebsgröße definiert durch Produktionskapazität
- C_i Kosten bei i
- F_i Fixkosten bei i
- Y_i Absatzmenge=Produktionsmenge mit den geringsten Durchschnittskosten bei i
- LC Langfristige Kosten
- MC_i Grenzkosten bei i
- AC_i Durchschnittskosten bei i
- LMC Langfristige Grenzkosten
- LAC Langfristige Durchschnittskosten

Wie die langfristige Gesamtkostenfunktion entspricht auch die langfristige Durchschnittskostenfunktion der (die kurzfristigen Durchschnittskostenfunktionen) umhüllenden Kurve. Da die langfristige Kostenfunktion die umhüllende Funktion der kurzfristigen Kostenfunktionen ist, sind die kurzfristigen Durchschnittskosten bei einer bestimmten Produktionskapazität immer größer oder maximal gleich den langfristigen Durchschnittskosten. Anders bei den Grenzkosten: Die kurzfristigen Grenzkostenfunktionen schneiden die langfristige Grenzkostenfunktion dort, wo die langfristige Kostenfunktion die kurzfristige Kostenfunktion tangiert. Vor diesem Tangentialpunkt liegen die kurzfristigen Grenzkosten unter den langfristigen Grenzkosten, danach sind die kurzfristigen größer als die langfristigen Grenzkosten.

Für die Bestimmung der einzelwirtschaftlich optimalen Produktionskapazität wird der Gewinn maximiert, wobei nicht die kurzfristige Kostenfunktion, sondern die langfristige Kostenfunktion herangezogen wird:

$$P(Y)=R(Y)-LC(Y)$$

P(Y).....Gewinn
R(Y).....Erlöse
LC(Y)langfristige Kosten

Die Bedingung 1. Ordnung erfordert

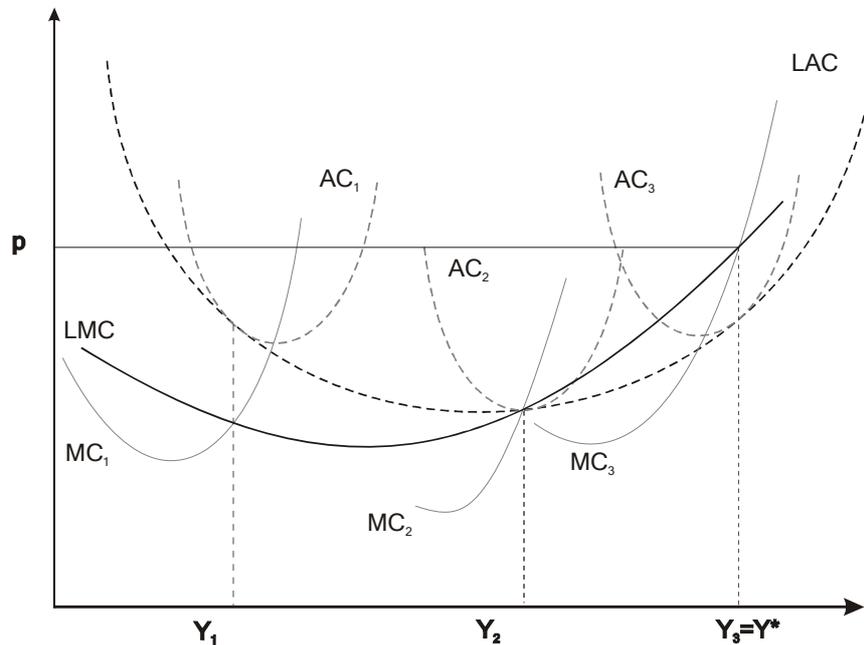
$$P'(Y)=0 \text{ und damit } R'(Y)=LC'(Y) \text{ und die Bedingung 2. Ordnung erfordert}$$

$$R''(Y)<LC''(Y).$$

Analog zur kurzfristigen Betrachtung gilt für das langfristige Gewinnmaximum also, dass die Grenzerlöse gleich den langfristigen Grenzkosten und die Steigung der LC-Kurve größer als die Steigung der Grenzerlöskurve sein muss. Die folgende Abbildung 6 zeigt die kurz- und langfristigen Kostenfunktionen in einem Markt mit vollständiger Konkurrenz, d. h mit konstantem Grenzerlös in Höhe des erzielbaren Preises p. Nach der Bedingung 1. und 2. Ordnung kann für das langfristige Gewinnmaximum der aufsteigenden Ast der LMC-Kurve als langfristige Angebotskurve der Unternehmung betrachtet werden. Diese verläuft flacher als die kurzfristigen Angebotskurven und beginnt im LAC-Minimum, wo der Gewinn gleich Null ist.

Die langfristig gewinnmaximierende Menge liegt in der folgenden Graphik bei Y^* bzw. dort, wo die Grenzerlöskurve die langfristige Grenzkostenkurve schneidet. Die optimale Produktionskapazität wird demnach durch die Kostenfunktion C_3 und die damit verbundenen annuisierten Fixkosten F_3 beschrieben. Nur die Kostenfunktion C_3 sichert für Y^* minimale Kosten.

Abbildung 6: Langfristige Gewinnmaximierung im Markt mit vollständiger Konkurrenz



- i..... Betriebsgröße definiert durch Produktionskapazität
- F_i Fixkosten bei i
- Y_i Absatzmenge=Produktionsmenge mit den geringsten Durchschnittskosten bei i
- MC_i Grenzkosten bei i
- AC_i Durchschnittskosten bei i
- LMC Langfristige Grenzkosten
- LAC..... Langfristige Durchschnittskosten
- p..... Preis

Quelle: Schumann et al. (1999, S. 155)

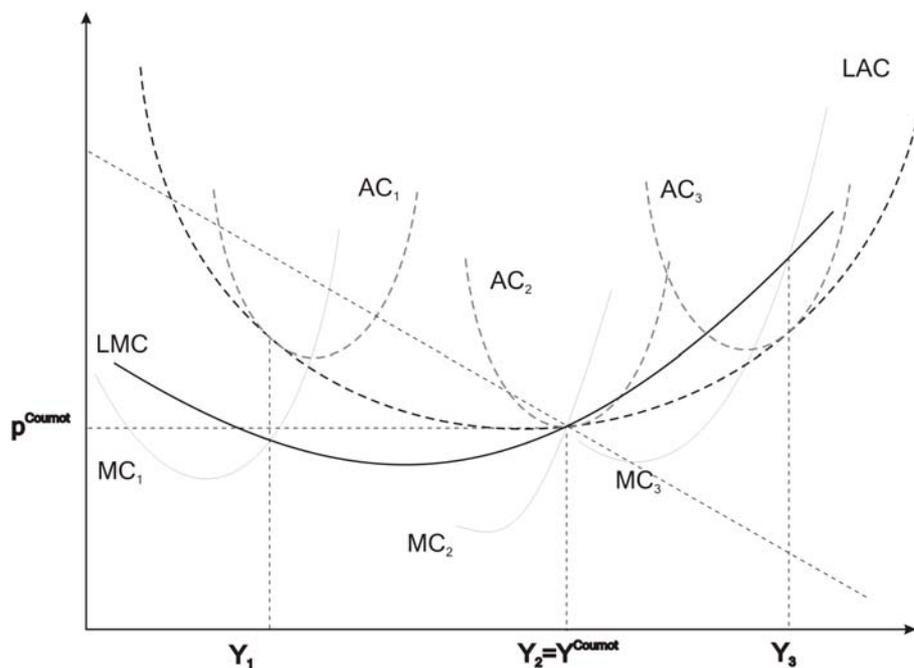
Die langfristige Optimierung zeigt somit, dass die aus einzelwirtschaftlicher Sicht zu realisierende optimale Produktionskapazität F_3 ist. Gehen wir davon aus, dass F_3 realisiert wird. Die kurzfristige Gewinnmaximierung bei F_3 erfordert gemäß Bedingung 1. Ordnung ebenso, dass die Grenzerlöse den Grenzkosten entsprechen, d. h. $p=MC_3(Y)$. Da wie zuvor gezeigt die langfristigen Grenzkosten den kurzfristigen Grenzkosten bei $Y_3=Y^*$ entsprechen ist $p=MC_3(Y^*)=LC_3(Y^*)$ und damit gewährleistet, dass die optimale Menge Y^* sowohl für die kurzfristige als auch für die langfristige Optimierung gilt.

Die langfristige Optimierung auf einem Monopolmarkt unterscheidet sich von der zuvor diskutierten Konkurrenzmarktoptimierung nur durch die Grenzer-

lösfunktion, die nicht durch eine Horizontale, sondern durch eine fallende Funktion beschrieben ist.

Wieder liegt die gewinnmaximierende Produktionskapazität dort, wo die Grenzerlösfunktion die langfristige Grenzkostenfunktion schneidet. Die gewinnmaximierende Menge Y^* bei langfristiger Optimierung entspricht wieder der optimalen Menge bei kurzfristiger Maximierung. Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang im Monopolmarkt.

Abbildung 7: Langfristige Gewinnmaximierung beim Monopol



i Betriebsgröße i definiert durch Produktionskapazität
F_i Fixkosten bei i
Y_i Absatzmenge=Produktionsmenge mit den geringsten Durchschnittskosten bei i
MC_i Grenzkosten bei i
AC_i Durchschnittskosten bei i
LMC Langfristige Grenzkosten
LAC Langfristige Durchschnittskosten
$p^{Cournot}$ Cournotpreis
$Y^{Cournot}$ Optimale Produktionsmenge im Monopolmarkt

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schumann et al. (1999, S. 155)

2.4. Externe Effekte

Externe Effekte sind im Rahmen der hier angestellten Untersuchungen von Bedeutung, da leitungsgebundene Güterbereitstellung zumeist mit externen Effekten verbunden ist. Bei externen Effekten handelt es sich um Wirkungsbeziehungen zwischen Wirtschaftseinheiten, die nicht über Märkte vonstatten gehen und daher nicht durch Preise abgegolten werden. Der Verursacher eines vom Empfänger als positiv bewerteten externen Effektes erhält von diesem keine Vergütung. Der Urheber eines vom Empfänger negativ bewerteten externen Effektes trägt nicht den von ihm damit angerichteten Schaden.

Es werden drei Arten von externen Effekten unterschieden:

- Technologische externe Effekte
- Pekuniäre externe Effekte
- Psychologische externe Effekte

Technologische Effekte im Konsum und der Produktion: Firma 1 erzeugt externe Effekte zugunsten oder zulasten der Firma 2, wenn deren Produktion Y nicht nur von den von ihr selbst eingesetzten Produktionsfaktoren a_Y und b_Y abhängt, sondern auch vom Output X der Firma 1 (Blankart et al., 1980, S. 83), ohne dass dieser Effekt preislich abgegolten wird. Ebenso könnte das Nutzenniveau eines Individuums abhängig sein vom Nutzenniveau eines anderen Individuums.

$$X = X(a_x, b_x)$$

$$Y = Y(a_Y, b_Y, X) \text{ wobei } \frac{\partial Y}{\partial X} \neq 0$$

Bei $\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$ spricht man von externen Nutzen oder positiven externen Effekten, bei $\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ spricht man von externen Kosten oder negativen externen Effekten.

Beispiele für positive technologische externe Effekte von Infrastruktureinrichtungen sind z. B. wirtschaftliche Standortvorteile für Betriebsansiedlungen in Gebieten mit guter Infrastrukturausstattung. Ein Beispiel für negative externe Effekte von Infrastruktureinrichtungen ist z. B. der Eingriff in Ökosysteme durch den Ausbau netzgebundener Infrastruktureinrichtungen. Da sich die externen Effekte nicht in den Entscheidung der verursachenden Wirtschaftseinheiten widerspiegeln (in den Kosten- bzw. Nutzenfunktionen) führen externe Kosten zur Fehlallokation von Produktionsfaktoren und Marktversagen.

Pekuniäre externe Effekte sind solche, die sich lediglich aus der marktvermittelten Änderung der Nachfrage- und Angebotsstruktur ergeben. Z. B. durch die Erfindung des Computers ging der Absatz der Schreibmaschinenindustrie massiv zurück. Pekuniäre externe Effekte führen im Gegensatz zu technologischen externen Effekten nicht notwendigerweise zu Marktversagen.

Psychologische externe Effekte liegen z. B. vor, wenn sich Person A freut, dass es Person B besser geht.

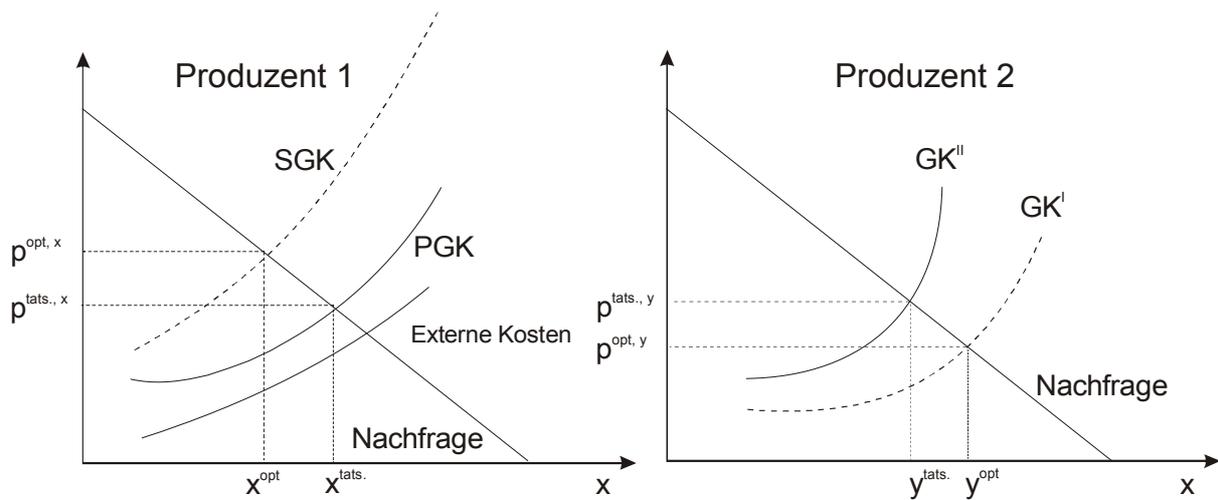
Im Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich technologische externe Effekte analysiert.

Ohne externe Effekte sind die der Gesamtwirtschaft entstehenden Kosten eines Gutes (die man auch gesellschaftliche, soziale oder gesamtwirtschaftliche Kosten nennt) gleich den Kosten, die in dem das Gut produzierenden Unternehmen anfallen und als private Kosten bezeichnet werden. Dementsprechend sind auch die gesamtwirtschaftlichen Grenzkosten des Gutes gleich. Bei Vorliegen externer Kosten liegen die sozialen über den privaten Grenzkosten des Gutes des Urhebers, bei externen Nutzen der Produktion eines Gutes liegen die gesamten Nutzeffekte in der Gesellschaft über den Nutzeffekten, die der Konsum dieses Gutes bei den Nachfragern erzeugt. Mit Hilfe dieser Begriffe lässt sich nun das Auseinanderfallen von Konkurrenzgleichgewicht und Pareto-Optimum bei Vorliegen externer Effekte wie folgt erklären: Bei vollständiger Konkurrenz dehnen die Unternehmen ihre Produktion so weit aus, dass sich die privaten Grenzkosten dem erzielbaren Preis angleichen. Zur Erreichung eines Pareto-Optimums wäre es dagegen erforderlich, die Produktion bis zur Angleichung der sozialen Grenzkosten an den Preis auszu dehnen. Liegen externe Kosten vor, erreichen die sozialen Grenzkosten früher die Höhe des Preises als die privaten Grenzkosten, so dass die Produktionsmenge kleiner gewählt werden muss, als der Bedingung „private Grenzkosten = Preis“ entspricht. Gibt es externe Nutzen, dann erreichen die privaten Grenzkosten (die gleich bleiben) die gesamtwirtschaftlichen Grenznutzen später als im Fall ohne externe Nutzeffekte und die Erzeugungsmenge ist folglich größer zu wählen, als die Bedingung „private Grenzkosten = Preis“ fordert (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 271).

Entscheidend beim Vorliegen externer Effekte ist, dass die Koordination der individuellen Wirtschaftspläne sowohl im Markt mit vollständiger Konkurrenz als auch im Monopolmarkt verzerrt wird. Da die einzelne Wirtschaftseinheit durch die Aktivität anderer Wirtschaftseinheiten Vorteile oder Nachteile hat, die durch den Markt nicht vermittelt und kompensiert werden, orientiert sie sich bei der Nutzen- oder Gewinnmaximierung sozusagen an den falschen Größen. Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die Zusammenhänge bei Vorhandensein externer Kosten: Die privaten Grenzkosten (PGK) des Produ-

zenten 1, der externen Kosten verursacht, liegen unter den sozialen Grenzkosten (SGK), die die Produktion verursacht, aufgrund des gewinnmaximierenden Verhaltens wird x^{tats} und $p^{\text{tats}, x}$ realisiert. Pareto-optimal wäre x^{opt} und $p^{\text{opt}, x}$. Produzent 2, der durch die externen Kosten von Produzent 1 geschädigt ist, produziert zu Grenzkosten GK^{II} und realisiert Menge y^{tats} und Preis $p^{\text{tats}, y}$, ohne Vorhandensein externer Kosten von Produzent 1 könnte er zu GK^{I} produzieren und die Preis-Mengenkombination y^{opt} , $p^{\text{opt}, y}$ realisieren.

Abbildung 8: Negative externe Effekte

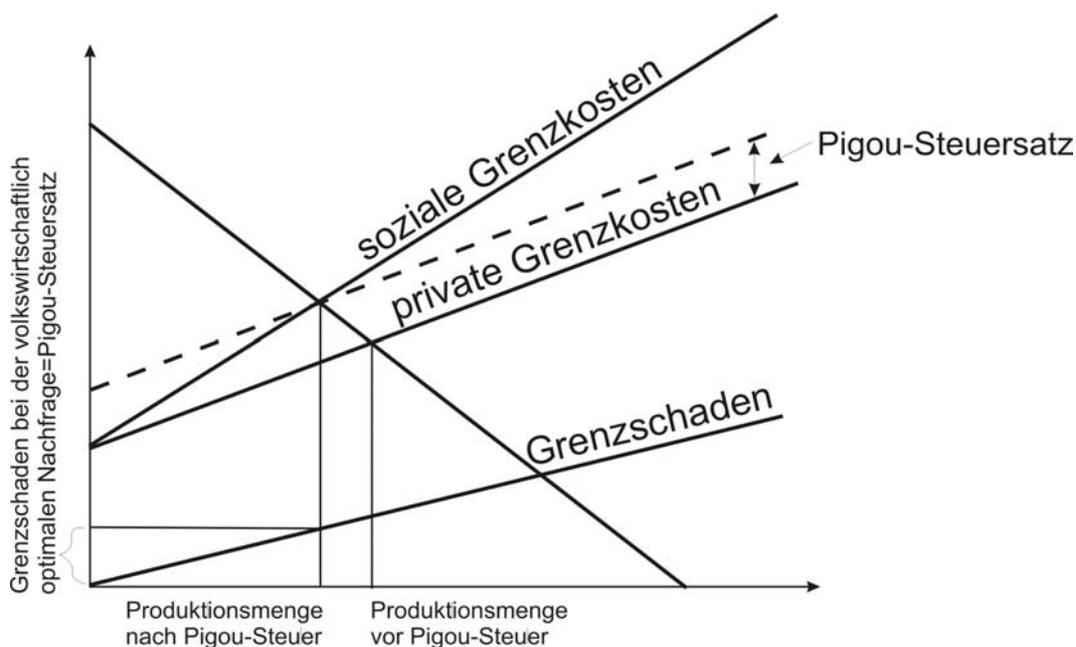


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fritsch et al. (2001, S. 102)

Die Internalisierung externer Effekte kann durch die folgenden Maßnahmen erzielt werden:

- Verhandlungslösungen: Gemäß COASE-Theorem führen – bei klar definierten Eigentumsrechten und bei vernachlässigbar niedrigen Transaktionskosten – Verhandlungen zwischen Betroffenen und Urhebern externer Effekte zur Internalisierung dieser und dadurch zu optimierten Lösungen.
- Ordnungsrechtliche Maßnahmen in Form von Geboten oder Verboten
- Preis-Standard-Ansatz: Es wird dem Urheber vom Staat ein bestimmter Preis für den verursachten Schaden in Rechnung gestellt, welcher zur Verringerung der externen Kosten beiträgt.
- Subventionen zur Erzielung der gewünschten Produktionsmenge
- Pigou-Steuer: Eine Steuer, bei der die Lenkungswirkung und nicht die fiskalische Wirkung im Vordergrund steht. Die Höhe der Steuer wird in Höhe der externen Kosten bei der optimalen Ausbringung festgelegt. Die Lenkungswirkung der Steuer besteht im Gegensatz zu anderen Steuern im Erreichen der pareto-optimalen Mengen/Preiskombinationen. Die folgende Abbildung zeigt die Funktionsweise der Pigou-Steuer: Der Grenzscha-den wird auf die privaten Grenzkosten aufgeschlagen und so für den Produzenten die Grenzkosten der Produktion auf die Sozialen Grenzkosten (private Grenzkosten plus Grenzscha-den) erhöht.

Abbildung 9: Pigou-Steuer



Quelle: Fritsch et al. (2001, S. 102)

Staatsinterventionen sind in Zusammenhang mit der hier untersuchen leitungsgebundenen Güterbereitstellung nicht aufgrund des damit verbundenen

natürlichen Monopols, sondern auch durch externe Effekte, die häufig mit der leitungsgebundenen Güterbereitstellung verbunden sind, von Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher im Kapitel 7 Externe Effekte und Staatsintervention die beiden Maßnahmen Pigou-Steuer und Subventionen diskutiert.

3. Modellüberblick, Symbolbeschreibung und Fallbeispiel

In diesem Kapitel wird das zuvor beschriebene Konzept der *langfristigen Kostenfunktion* im natürlichen Monopol *adaptiert*, indem

- die Spezifika des natürlichen Monopols und
- räumlich differenzierte Nachfragestruktur

einbezogen werden. Weiters werden die Grundlagen des im Rahmen der Dissertation entwickelten Modells beschrieben: es wird ein Überblick über die Modellstruktur gegeben, Variablen und Konstante werden definiert, funktionale Zusammenhänge werden dargestellt und die getroffenen Annahmen erläutert.

Das entwickelte Modell soll eine analytische Grundlage für die Untersuchung der Forschungsfragen aus Kapitel 1 Problemstellung bieten. Die in der ökonomischen Realität beobachtbaren Zusammenhänge hinsichtlich des Absatzgebietes von leitungsgebundenen Gütern werden formalisiert und in möglichst einfachen, stark abstrahierten funktionalen Zusammenhängen dargestellt. Ziel des Modells ist demnach nicht eine möglichst genaue Wiedergabe oder Simulation der Realität, sondern eine möglichst einfache Repräsentation der Zusammenhänge, um verallgemeinerbare Erkenntnisse über die wesentlichen kausalen Zusammenhänge für das Absatzgebiet von Leitungsnetzen zu gewinnen.

3.1. Modellstruktur

Bei dem hier entwickelten Modell handelt es sich um ein einfaches *deterministisches, statisches Optimierungsmodell*.

Die Modellierung erfolgt in vier Komponenten:

1. Nachfrage: die Nachfrage nach den leitungsgebundenen Gütern errechnet sich abhängig von Preis und Absatzgebiet
2. Kosten: kurzfristige und langfristige Kostenfunktionen, die abhängig von Absatzgebiet (langfristig) und Produktionsmenge (kurzfristig) sind
3. Optimierung aus einzel- und wohlfahrtsökonomischer Sicht
4. Staatsinterventionen zur Erzielung des wohlfahrtsökonomischen Optimums ohne und mit Vorliegen externer Effekte

3.2. Parameter, Variable und Funktionen

3.2.1. Abhängige Variable

Abhängige Variable sind veränderliche Größen, deren Werte in Abhängigkeit von anderen Variablen oder Parametern im Modell bestimmt werden. In Abhängigkeit von anderen Größen wird aufgrund der Fragestellung in erster Linie das *Absatzgebiet* A berechnet. Unter der Annahme monopolistischer Preissetzungsmechanismen kann auch der *Preis* p in Abhängigkeit von anderen Größen modellintern gewählt werden.

AAbsatzgebiet. Es wird hier nicht die Leitungslänge des Netzes in m betrachtet, sondern die Ausdehnung des Fernwärmenetzes in m^2 , da für die hier angestellten Betrachtungen die Versorgung eines gesamten Gebietes im Vordergrund steht und nicht die Leitungslängen. Aus dem Absatzgebiet bzw. der räumlichen Netzreichweite in m^2 kann, wenn gewünscht, die erforderliche Leitungslänge (Hauptleitungen und Verteilungsleitungen) berechnet werden.

A_{opt}^{pc} optimales Absatzgebiet bei einzelwirtschaftlicher Optimierung

A_{opt}^{svc} optimales Absatzgebiet bei volkswirtschaftlicher Optimierung

p Preis, der über das Leitungsnetz bezogenen Güter in €/Leistungseinheit z. B. €/kWh Fernwärme, enthält sämtliche Preiskomponenten, welche dem Konsumenten der leitungsgebundenen Gütern verrechnet werden wie z. B. Fernwärmepreis, Anschlussgebühren etc., auch Transaktionskosten wie zum Beispiel Vertragserrichtungsgebühren sind hier zu berücksichtigen.

3.2.2. Parameter

Parameter werden im Modell nicht verändert, sondern sind extern (oder exogen) vorgegebene Größen. Die Werte von Parametern werden zwar nicht modellintern verändert, können aber im Zuge der Simulation veränderter Rahmenbedingungen variiert werden. Im Rahmen dieser Dissertation werden z. B. die Auswirkungen veränderter Preise des kostengünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes simuliert und dazu diese Parameter exogen variiert.

pc Preis des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes zum leitungsgebundenen Gut in €/Leistungseinheit z. B. €/kWh, dieser enthält sämtliche Kosten je Leistungseinheit, welche dem Konsumenten für eine dem leitungsgebundenen

Gut gleichwertige Leistung durch ein kompetitives Substitutionsgut entstehen wie z. B. Kapitalkosten für die Ölzentralheizung und den Tankraum, Service- und Reparaturkosten etc., auch Transaktionskosten sind hier zu berücksichtigen.

- p_{svc} Preis in Höhe der kurzfristigen Grenzkosten⁵, volkswirtschaftlich optimaler Preis
- ρ_i regionsspezifische Parameter zur Beschreibung der Nachfrageverteilung im Betrachtungsraum \bar{A} in kWh/m², $i = 1, 2, \dots$
- τ annuisierte Fixkosten je weiterer Einheit Absatzgebiet in €/m² (Netzerrichtung und Betrieb)
- svc kurzfristige variable Kosten in €/Leistungseinheit z. B. €/kWh
- v, v_i Parameter der langfristigen Kostenfunktion, $i = 1, 2, \dots$ Zeigt die Veränderung der Nachfragedichte abhängig vom Preis
- ξ Preiselastizität der Nachfrage
- e externe Nutzen je Leistungseinheit, z. B. €/kWh Fernwärme

3.2.3. Konstante

- \bar{A} Betrachtungsraum, gesamtes Ortsgebiet/Stadtgebiet, welches zur Versorgung in Betracht gezogen wird, z. B. Gemeinde exkl. der Katastralgemeinden oder der Ortskern einer Gemeinde.

3.2.4. Funktionale Zusammenhänge

- $D(p, A)$ Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut bei Absatzgebiet A und Preis p
- $\bar{D}(p)$ Gesamtnachfrage im Betrachtungsraum \bar{A} in Abhängigkeit von p, $\bar{D}(p) = D(\bar{A}, p)$
- $D'(p, A)$ Nachfragedichte, Veränderung der Nachfrage bei Veränderung des Absatzgebietes, verläuft z. B. ähnlich der Bevölkerungsdichte oder Bebauungsdichte
- $STC(D(p, A))$ kurzfristige Gesamtkosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D (zum Beispiel kWh Fernwärme)
- $SAC(D(p, A))$ kurzfristige Durchschnittskosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D

⁵ Die Grenzkosten entsprechen in den hier angestellten Überlegungen den variablen Kosten. Dieser Zusammenhang wird in Gl. 5.3, Kapitel 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung diskutiert.

- $SMC(D(p, A))$kurzfristige Grenzkosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D
- $FC(A)$annuisierte Fixkosten des Absatzgebietes A (Netzerrichtung und Betrieb)
- $LTC(D(p, A))$langfristige Gesamtkosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D
- $LAC(D(p, A))$langfristige Durchschnittskosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D
- $LMC(D(p, A))$langfristige Grenzkosten, abhängig von der Outputmenge=Nachfrage D
- $R(p, A)$Erlösfunktion abhängig vom Absatzgebiet A und vom Preis p
- $P(p, A)$Gewinnfunktion abhängig vom Absatzgebiet A und vom Preis p
- $V(D(p, A))$Konsumentenrente abhängig von der Nachfrage D und vom Preis p
- $PR(D(p, A))$Produzentenrente abhängig von der Nachfrage D und vom Preis p

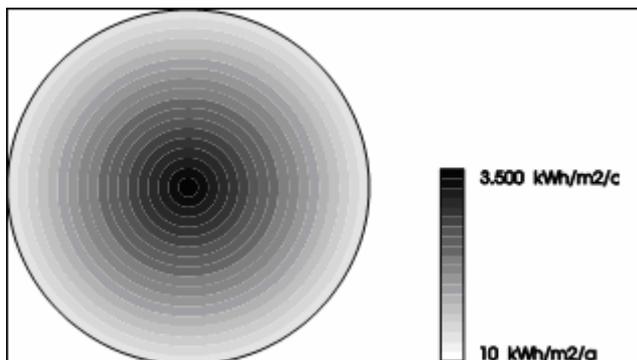
Als **Betrachtungsperiode** wird für den hier entwickelten Ansatz ein Kalenderjahr gewählt.

3.3. Annahmen

Monoton fallende Nachfragedichtefunktion

Es wird angenommen, dass ausgehend vom Zentrum der Wärmenachfrage (in der Regel das Ortszentrum) die *Nachfragedichte* $D'(p, A)$ *monoton fallend* ist.

Abbildung 10: Beispielhafter Verlauf einer Wärmenachfragedichte im Betrachtungsraum



Quelle: Eigenen Konzeption

Ausdehnung des Absatzgebietes entlang dem flachsten Pfad

Weiters wird unterstellt, dass die *Netzausdehnung immer entlang „dem flachsten Pfad“* erfolgt, d.h. wenn das Netz ausgedehnt wird, wird zuerst in den Regionen mit höchster Nachfragedichte ausgedehnt. Das Netz verzweigt sich daher ausgehend vom Mittelpunkt gleichmäßig in Bereiche mit geringerer Dichte.

Fallende Preis-Absatz-Funktion für $p \leq p_c$

Zwischen Nachfrage und Preis wird ein linear fallender Zusammenhang unterstellt, solange der Preis p des leitungsgebundenen Gutes kleiner oder gleich dem Preis des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes p_c ist. Ist der Preis des leitungsgebundenen Gutes höher als jener des preisgünstigsten Substitutionsgutes, wird kein leitungsgebundenes Gut, sondern das preisgünstigste Substitutionsgut nachgefragt. Ist der Preis des leitungsgebundenen Gutes geringer oder gleich dem Preis des Konkurrenzproduktes, wird nur das leitungsgebundene Gut nachgefragt. Eine kombinierte Deckung der Nachfrage mittels leitungsgebundenem Gut und Substitutionsgut wird hier nicht untersucht. Es wird somit eine *linear fallende Preis-Absatzfunktion unterhalb des Preises des preisgünstigsten Substitutionsgutes* unterstellt.

Unelastische Nachfrage erst bei wesentlich höheren Preisen als p_c

Die Nachfrage nach Gütern, die leitungsgebunden bereitgestellt werden, ist meist durch eine bestimmte Mindestnachfrage gekennzeichnet bzw. die Preiselastizität der Nachfrage geht gegen Null, wenn sich der Konsum dem Mindestmaß nähert. Der Konsum von Raumwärme kann (bei bestehender Gebäudetechnologie) z. B. nicht unter ein bestimmtes Mindestausmaß reduziert werden, auch wenn die Preise für Raumwärme massiv ansteigen. Es wird angenommen dass der Preis für das kompetitive Substitutionsgut p_c wesentlich unter dem Preis, ab dem die Nachfrage unelastisch wird, liegt.

Fallende kurzfristige Durchschnittskosten, natürliches Gebietsmonopol

Kurzfristig werden aufgrund des hohen Fixkostenanteils bei leitungsgebundener Güterbereitstellung *sinkenden Durchschnittskosten* und damit ein *natürliches Monopol* innerhalb des Betrachtungsraumes, also ein *natürliches Gebietsmonopol* angenommen. Innerhalb eines Gebietes gelten die Voraussetzungen für ein natürliches Monopol.

Vorhandensein von Substitutionsgütern

Für den Anbieter leitungsgebundener Güter gilt zwar die Marktform des natürlichen Monopols. Allerdings befindet sich der Anbieter leitungsgebundener Güter auf einem Markt mit heterogenem Güterangebot und es existiert *min-*

destens ein Substitutionsgut. Es wird angenommen, dass die Substitutionsgüter die Nachfrage gleichwertig wie das leitungsgebundene Gut decken. Zum Beispiel deckt die durch eine Ölheizung bereitgestellte Wärme die Nachfrage nach einem wohltemperierten Raum ebenso wie Fernwärme, eine Hauskläranlage deckt die gesetzliche Auflage nach Reinigung der Abwässer in gleichem Ausmaß wie zentrale Großkläranlage usw.

Kompetitives Substitutionsgut, p_c ist pareto-optimal

Für das Substitutionsgut wird angenommen, dass für dieses (im Gegensatz zur leitungsgebundenen Güterbereitstellung) ein *vollkommener Konkurrenzmarkt* vorliegt und dass daher der Preis p_c des preisgünstigsten Substitutionsgutes

- eine pareto-optimale Ressourcenallokation mit sich bringt
- den Grenzkosten und minimalen Durchschnittskosten des preisgünstigsten Substitutionsgutes entspricht und
- langfristig konstant ist.

p_c ist unabhängig von der Nachfrage nach dem preisgünstigsten Substitutionsgut

Weiters wird angenommen, dass die Anbieter des preisgünstigsten Substitutionsgutes nicht auf einem regionalen Markt begrenzt, sondern überregional anbieten. Eine Veränderung der Nachfrage auf regionaler Ebene verändert das Verhalten der Anbieter des preisgünstigsten Substitutionsgutes nicht, wirkt sich also nicht auf den überregional bestimmten Preis des preisgünstigsten Substitutionsgutes aus. Das bedeutet konkret: Eine Reduktion der Nachfrage nach dem Substitutionsgut in dem Teil einer Gemeinde, wo das leitungsgebundene Gut angeboten wird, zieht keine Reduktion der Preise des preisgünstigsten Substitutionsgutes nach sich.

Preise beinhalten sämtliche Kosten, die mit leitungsgebundenen Gütern bzw. dem Substitutionsgut verbunden sind

Unterschiede zwischen dem Substitutionsgut und dem leitungsgebundenen Gut bestehen für den Konsumenten meist in der Anschaffung der notwendigen Einrichtungen bzw. beim Betrieb dieser Einrichtungen. So müssen bei einer Ölheizung z. B. der Kessel angeschafft, ein Tankraum eingerichtet, ein regelmäßiges Service vorgenommen und jährlich Brennstoff eingelagert werden. Im Gegensatz dazu müssen bei der Fernwärme die Kosten für den Anschluss getragen werden, jährlich ein Preis für das über die Leitung übertragene Gut, der Arbeitspreis und eine Gebühr für die Zählerbereitstellung und -ablese bezahlt werden. Um die Unterschiede zwischen dem leitungsgebundenen Gut und dem Substitutionsgut im Rahmen der Entscheidungsfindung berücksichtigen zu können, wird die Preisabsatzfunktion des leitungsgebundenen Gutes und des

Substitutionsgutes so bestimmt, dass in der *Preis-Absatz-Funktion sämtliche Kosten für die Deckung der Nachfrage enthalten sind*, auch z. B. Kosten, die dem Haushalt durch vermehrten Zeitbedarf für das Brennstoffeinlagern entstehen. Es wird somit unterstellt, dass die Konsumenten perfekt über die anfallenden Periodenkosten über die gesamte Lebensdauer hinweg informiert sind.

pc beinhaltet die Umstiegskosten

Sowohl der Anschluss an ein Leitungsnetz als auch die Nutzung von Substitutionsgütern ist zumeist mit Investitionskosten verbunden, die bei einem Umstieg von einer Güterbereitstellungsoption auf die andere (vor Ablauf der Nutzungsdauer) verloren sind. Außerdem fallen bei einem solchen Wechsel Transaktionskosten an, z. B. durch den Zeitbedarf für Information. Es entstehen also Kosten nur durch den Umstieg von einer Güterbereitstellungsoption auf die andere. Diese Kosten sind hier nicht gesondert berücksichtigt. Es wird angenommen, dass diese Kosten im Preis pc enthalten sind und damit ein Wechsel nur dann stattfindet, wenn der Preis des leitungsgebundenen Gutes unter dem Preis des preisgünstigsten Substitutionsgutes inklusive der Kosten für den Umstieg liegt.

Produktion=Nachfrage

Das Vorhandensein eines natürlichen Monopols bedingt aufgrund der fallenden, weil über den Grenzkosten liegenden Durchschnittskosten, dass der gewinnoptimale Produktionsplan bis an die Grenze der maximal absetzbaren Produktion geht. Es kann daher unterstellt werden, dass die Produktionsmenge des Anbieters leitungsgebundener Güter genau der Nachfrage nach diesen entspricht.

Fixkosten sind nur durch das Absatzgebiet bestimmt, Kosten der Ausdehnung des Absatzgebietes = Erschließungskosten

Die mit einer leitungsgebundenen Güterbereitstellung verbundenen fixen Kosten (annuisierte Investitionskosten, Kosten für Wartung etc.) bestehen zu einem großen Anteil aus den Kosten des Leitungsnetzes. Neben den Netzkosten gibt es aber auch anderen fixe Kostenkomponenten wie z. B. bei der Fernwärmeversorgung die Investitionen für das Heizwerk. Im Rahmen dieser Dissertation wird aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit die präzisierende Annahme getroffen, dass die fixen Kosten nur von der Ausdehnung des Absatzgebietes abhängig sind. Deshalb werden die fixen Kosten als Funktion der Netzausdehnung dargestellt und entsprechen den Erschließungskosten für ein bestimmtes Gebiet.

Variable Kosten konstant

Es wird angenommen, dass die variablen Kosten je bereitgestellter Mengeneinheit (z. B. Brennstoffkosten Euro/kWh) konstant in Bezug auf die bereitgestellte Menge und in Bezug auf das Absatzgebiet sind.

Volkswirtschaftliche Optimierung durch Maximierung des sozialen Überschusses

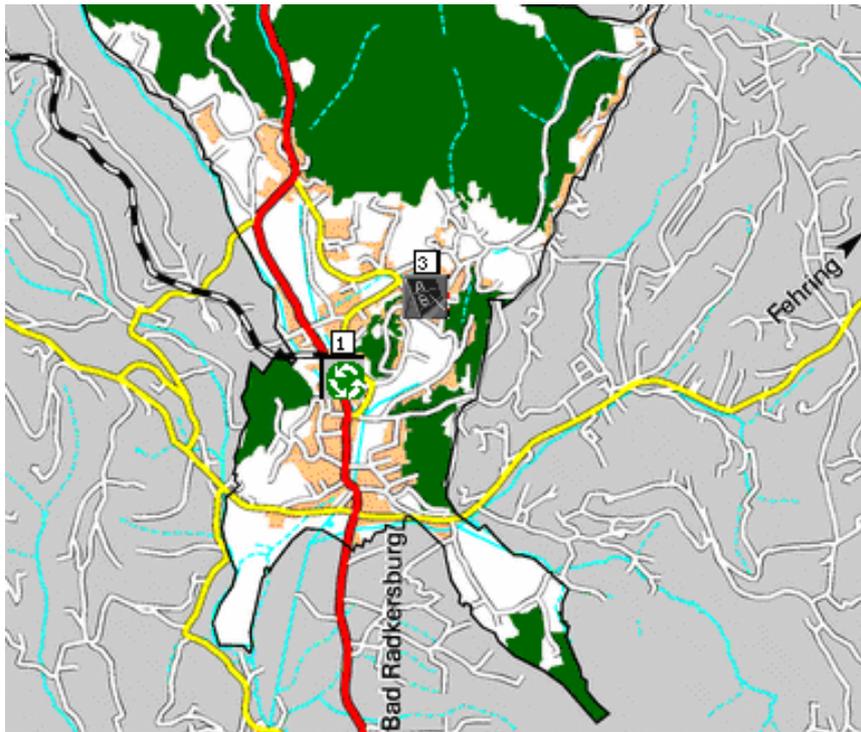
Es wird unterstellt, dass ein volkswirtschaftliches Optimum durch die Maximierung des sozialen Überschusses (Summe der Konsumenten- und Produzentenrente) erzielt wird.

3.4. Fallbeispiel Bad Gleichenberg

Das hier beschriebene Fallbeispiel soll die Anwendung des Ansatzes illustrieren. Die Gemeinde Bad Gleichenberg wurde ausgewählt, weil die im Zuge einer Wärmebedarfserhebung erhobenen Daten von der Gemeinde für diese Arbeit zur Verfügung gestellt wurden.

Bad Gleichenberg liegt ca. 42 km südöstlich von Graz und ca. 9 km südlich der Bezirkshauptstadt Feldbach im Oststeirischen Hügelland in einer Seehöhe von 500 m. Zur Gemeinde Bad Gleichenberg gehören die Ortschaften Bad Gleichenberg, Gleichenberg Dorf und Klausen. Die Gemeinde umfasst 13,7 km² Gesamtfläche und zählte 2001 insgesamt 2.163 Einwohner. Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte liegt bei ca. 158 Einwohner je km².

Abbildung 11: Karte der Gemeinde Bad Gleichenberg



Quelle: http://tgi19.telekom.at/portal/page?_pageid=60,32877&_dad=portal&_schema=PORTAL&channel_page_id=32877

Bad Gleichenberg ist einer der ältesten Kurorte Österreichs. Neben der Kuranstalt und den dazugehörigen Hotels gibt es weitere wichtige Wärmeverbraucher in der Gemeinde wie z. B. die Tourismusschulen und die Fachhochschule Joannum, Sportanlagen, rund 30 Gewerbebetriebe etc.

Die Analyse der Wohnungsstruktur zeigt, dass rund 50 % aller Wohnungen Bad Gleichenbergs in Ein-, bzw. Zweifamilienhäusern untergebracht sind (Vergleich Landesdurchschnitt 42 %). Die Gemeinde Bad Gleichenberg kann trotz aller öffentlicher Einrichtungen und Dienstleistungen (und der damit verbundenen Bedeutung für das Umland) als relativ locker bebaut bezeichnet werden. Aus der Tradition des Kurortes heraus ist es gelungen, die großzügig angelegten Parkanlagen, die ein durchgrüntes Erscheinungsbild verleihen, zu erhalten. Als räumlich verdichteter Schwerpunkt kann der Bereich nordöstlich des Kurparks bezeichnet werden, wo sich auch ein Großteil der kommunalen Einrichtungen befindet. Diese dichter bebauten Gebiete können deutlich abgegrenzt werden (Wärmebedarfserhebung 1996).

Im Jahr 1996 wurde eine Wärmebedarfserhebung für die Gemeinde Bad Gleichenberg vom Büro „ARGE FORSCHUNG, PLANUNG, BERATUNG, ING. KORDINA“ durchgeführt. Diese Daten wurden mir dankenswerterweise von der Gemeinde zur Verfügung gestellt und im Rahmen dieser Arbeit verwendet.

3.5. Modellhafte Skizzierung der Fragestellung

Mit Hilfe der bisher beschriebenen Variablen, Parameter, funktionalen Zusammenhänge und Annahmen kann nun die in den vorigen Kapiteln diskutierte Fragestellung analytisch dargestellt werden.

Gefragt wird primär nach dem optimalen Absatzgebiet eines Leitungsnetzes zur Bereitstellung leitungsgebundener Güter, also der endogenen Variablen A (m^2 Netzausdehnung). Dieses Leitungsnetz verursacht fixe Kosten in Höhe von τ Euro je m^2 Ausdehnung des Absatzgebietes und die Güterbereitstellung über das Netz ist mit Grenzkosten in Höhe von svc Euro je Gütereinheit (z. B. kWh Fernwärme) verbunden. Im Gegensatz dazu verursacht die zur leitungsgebundenen Güterbereitstellung alternative, dezentrale Güterbereitstellung Grenzkosten in Höhe von pc Euro je Gütereinheit, wobei die Option einer leitungsgebundenen Güterbereitstellung sinnvollerweise nur dann in Betracht gezogen werden wird, wenn $pc > svc$.

Die Frage nach dem optimalen Absatzgebiet A_{opt} kann damit (in einem ersten, vereinfachenden Schritt) auf die Frage reduziert werden, bis zu welchem Absatzgebiet die zusätzlichen Kosten des erweiterten Absatzgebietes τ (Euro je m^2) geringer sind als die Kosteneinsparung durch die leitungsgebundene im Vergleich zur alternativen, dezentralen Güterbereitstellung $(pc - svc) \cdot \text{Nachfragedichte}$ (Euro je Gütereinheit, z. B. €/kWh * kWh je m^2). Bei linear fallender Nachfragedichte der Form $D'(\bar{p}, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A$ $\rho_1, \rho_2 > 0$ und konstantem Preis \bar{p} wird also nach jenem Absatzgebiet A gefragt, für das gilt:

$$\tau = (pc - svc) \times (\rho_2 - \rho_1 \times A) \text{ und damit } A_{opt} = \frac{\rho_2 - \frac{\tau}{pc - svc}}{\rho_1}.$$

In der weiteren Folge wird dieser Zusammenhang näher beleuchtet. Unterschiedliche Nachfragedichtefunktionen werden analysiert und insbesondere auch die Abhängigkeit der Nachfragedichte vom Preis des leitungsgebundenen Gutes sowie externe Effekte integriert.

4. Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern

Die Bereitstellung leitungsgebundener Güter ist im Gegensatz zu anderen Gütern an das Leitungsnetz gebunden, da leitungsgebundene Güter wie Fernwärme nicht beliebig transportiert werden können. Die mit einem Absatzgebiet erreichbare Nachfrage variiert daher, je nach Absatzgebiet: Ein kleineres Netz kann im Vergleich zu einem größeren Netz nur eine geringere Nachfrage erreichen und umgekehrt. Die Frage nach dem optimalen Absatzgebiet netzgebundener Güterbereitstellung erfordert damit die Betrachtung unterschiedlicher Nachfragefunktionen abhängig vom Absatzgebiet und die räumliche Verteilung der Nachfrage muss explizit in das Modell eingehen.

Die Nachfrage wird daher in dem hier entwickelten Ansatz nicht eindimensional, in Abhängigkeit vom Preis, sondern zweidimensional abhängig von Preis und Absatzgebiet betrachtet: Ähnlich der Preisabhängigkeit, die mittels Preis-Absatz-Funktion beschrieben wird, kann die Abhängigkeit der Nachfrage vom Absatzgebiet durch einen funktionalen Zusammenhang, der **Raum-Absatz-Funktion**, beschrieben werden. Die spezifische Charakteristik einer Region im Hinblick auf die Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern wird durch die Art des funktionalen Zusammenhangs (z. B. lineare oder exponentiell fallende Nachfrage im Raum) und die Parameterwerte der Funktion abgebildet.

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Kunden leitungsgebundener Güter in der Regel nicht Einzelpersonen, sondern Haushalte sind, da an das Leitungsnetz zumeist ein gesamter Haushalt angeschlossen wird und nicht Einzelpersonen.

Die Nachfrage nach einem leitungsgebundenen Gut wird sowohl von deren Preis p als auch vom Absatzgebiet A bestimmt.

$$\text{Gl. 4.1 } D = D(p, A)$$

Je größer das Absatzgebiet umso größer ist die potentiell erreichbare Nachfrage. Je höher der Preis umso geringer ist die Nachfrage im Absatzgebiet. Allerdings ist die Nachfrage nach Gütern, die durch Leitungsnetze bereitgestellt werden, meist durch eine bestimmte Mindestnachfrage p_s gekennzeichnet bzw. die Preiselastizität der Nachfrage geht gegen Null, wenn sich der Konsum dem Mindestmaß nähert: der Konsum von Raumwärme kann z. B. nicht unter ein bestimmtes Mindestausmaß reduziert werden, auch wenn die Preise für Raumwärme massiv ansteigen. Es wird angenommen dass der Preis für die kompetitiven Konkurrenzgüter p_c wesentlich unter dem Preis der Mindestnachfrage p_s liegt. Es gilt daher:

$$\begin{aligned}
 \text{Gl. 4.2} \quad & \frac{\partial D(p, A)}{\partial p} < 0 \text{ für } p \leq p_c \leq p_s \text{ und} \\
 & \frac{\partial D(p, A)}{\partial A} > 0 \text{ für } A \leq \bar{A}
 \end{aligned}$$

p	Preis des leitungsgebundenen Gutes
p _c	Preis des kompetitiven Substitutionsgutes
p _s	Preis, ab dem die Nachfrage preisunelastisch reagiert
D(p, A) ..	Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut
A	Absatzgebiet
\bar{A}	Betrachtungsraum

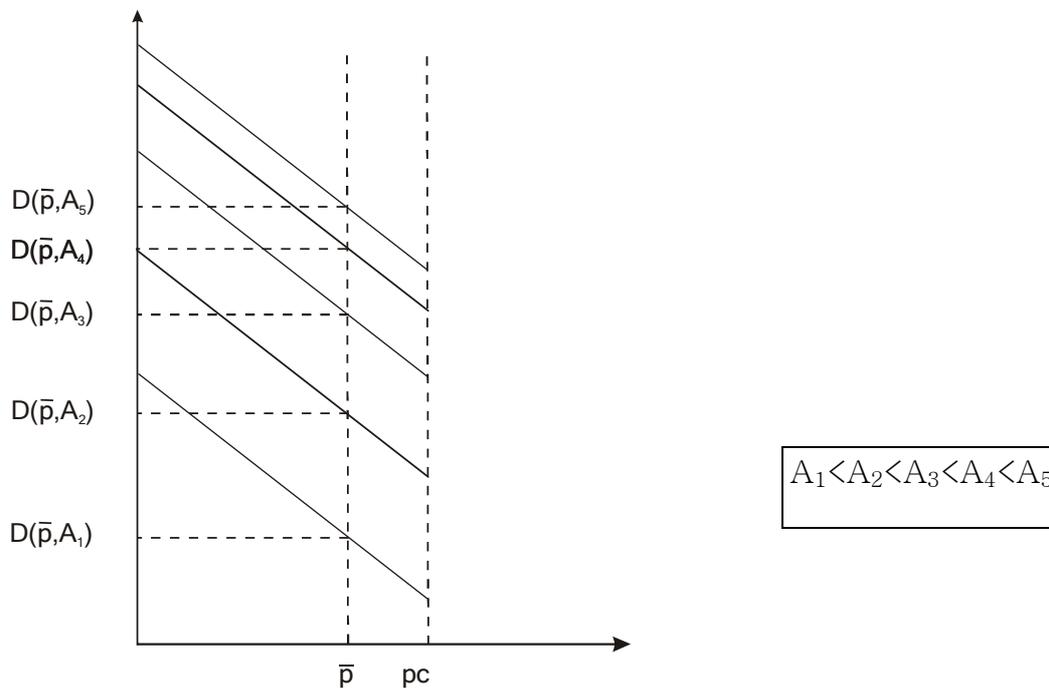
Ein im Kapitel 3.3 Annahmen beschriebener linearer Zusammenhang zwischen Preis und Nachfrage impliziert $\frac{\partial^2 D}{\partial p^2} = 0$

4.1. Nachfrage, Absatzgebiet und räumliche Struktur der Nachfrage

Für die Analyse der Nachfrage in Abhängigkeit vom Absatzgebiet wird im Folgenden der Preis festgehalten bei \bar{p} . Je größer das Absatzgebiet, umso größer die potentiell erreichbare Nachfrage. Der konkrete Verlauf der Nachfragefunktion in Abhängigkeit vom Absatzgebiet (linear, progressiv, degressiv steigend) ist von unterschiedlichen Faktoren wie z. B. der Siedlungsstruktur abhängig und wird durch regionsspezifische Parametern bzw. Strukturparameter bestimmt.

Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Nachfragefunktionen $D(p, A_i)$ in Abhängigkeit vom Preis p bei unterschiedlichen Absatzgebieten A_i . Je größer das Absatzgebiet, umso größer die mit einem bestimmten Preis \bar{p} erzielbare Nachfrage.

Abbildung 12: Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern, Preis und Absatzgebiet



Quelle: Eigene Konzeption

$D(\bar{p}, A_1)$ zeigt die Nachfrage bei Preis \bar{p} und Absatzgebiet A_1 . Wird das Netz ausgeweitet auf A_2 , so kann bei Preis \bar{p} eine Nachfrage von $D(\bar{p}, A_2)$ gedeckt werden. Bei A_3 wird eine Nachfrage von $D(\bar{p}, A_3)$ gedeckt usw.

Der Abstand der Nachfragegeraden bei größer werdenden Absatzgebiet in Abbildung 12 hängt von der Verteilung der Nachfrage im Raum ab. Ist die zusätzliche relativ zur bisherigen Nachfrage kleiner als das erweiterte relativ zum vorherigen Netz, dann ist mit jedem weiteren m^2 Absatzgebiet immer weniger zusätzliche Nachfrage zu erwarten als mit dem vorigen m^2 Netzausdehnung, weshalb die Nachfragekurven mit größer werdenden Absatzgebiet immer näher beieinander liegen. Die Verteilung der Nachfrage im Raum, also die Nachfrage pro m^2 , entspricht einer Dichtefunktion.

4.1.1. Nachfragedichtefunktion

Die Nachfragedichtefunktion zeigt die **Nachfrage je m^2** (z. B. kWh Wärmenachfrage je m^2). Im Zentrum einer Ortschaft ist z. B. die Nachfragedichte am höchsten, weil die Bevölkerungsdichte am höchsten ist und daher die meiste Wärme nachgefragt wird. Bei zunehmenden Absatzgebiet ausgehend vom Zentrum nimmt die Nachfragedichte, z. B. linear, ab. Die Gesamtnachfrage bei einem bestimmten Absatzgebiet A errechnet sich nun durch Addition sämtlicher Nachfragedichten (bzw. Integration der Dichtefunktion) im Gebiet A . Wie bei der Dichte- und Verteilungsfunktion in der Wahrscheinlichkeitsrechnung

ergibt sich die Nachfragefunktion daher durch Integration der Nachfragedichtefunktion.

Nimmt die Nachfragedichte mit zunehmenden Absatzgebiet ab bzw. gilt bei einem bestimmten Preis \bar{p} $D'' = \frac{\partial^2 D(\bar{p}, A)}{\partial A^2} < 0$ (z. B. durch eine geringere Bevölkerungsdichte an den Randgebieten als im Zentrum) wird der Abstand der Nachfragefunktionen in obiger Abbildung kleiner, da mit der weiteren Netzausdehnung relativ weniger zusätzliche Nachfrage erreicht wird und umgekehrt. Bei konstanter Nachfragedichte ist auch der Abstand der Nachfragefunktionen konstant.

Im Folgenden werden einige ausgewählte Nachfragedichtefunktionen mit den dazugehörigen Strukturparametern und Nachfragefunktionen dargestellt. Der für einen konkreten Betrachtungsraum passende funktionale Zusammenhang hängt von den regionalen Gegebenheiten (Bevölkerungsdichte, Klima, etc.) ab und muss von Fall zu Fall gesondert bestimmt werden. Da im Rahmen dieser Arbeit nicht alle möglichen Nachfragedichtefunktionen untersucht werden können, werden folgende exemplarisch betrachtet:

- Zunehmendes Absatzgebiet durch linear wachsende Nachfrage – konstante Nachfragedichte
- Zunehmendes Absatzgebiet durch degressiv wachsende Nachfrage – abnehmende Nachfragedichte
 - Lineare Abnahme der Nachfragedichte
 - Exponentiell abnehmende Nachfragedichte
 - „Normalverteilte“ Nachfragedichte

Auch ein – zumindest auf Teilen der Funktion – progressiver Anstieg der Nachfragefunktion ist denkbar. Eine Stadt mit spärlich besiedeltem Stadtkern und dichter Besiedelung in den Randgebieten entspräche z. B. einem solchen Verlauf. Im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch annahmegemäß nur Nachfrageverläufe mit abnehmender Nachfragedichtefunktion ausgehend vom Zentrum untersucht (siehe 3.3 Annahmen).

Linear wachsende Nachfrage mit zunehmendem Absatzgebiet – konstante Nachfragedichte

Ein linearer Zusammenhang zwischen Absatzgebiet und Nachfrage impliziert eine konstante Nachfragedichte im gesamten Betrachtungsraum: Ein m^2 mehr Netzausdehnung bringt immer gleichviel zusätzliche Nachfrage.

Nachfragedichtefunktion: $D'(\bar{p}, A) = \rho, \rho > 0$

Nachfragefunktion bei konstantem Preis: $D(p, A) = \int_0^A D'(p, A) dA = \rho \times A$

Der regionsspezifische Parameter ρ ist bei linearem Nachfrageverlauf die Nachfrage je m^2 und kennzeichnet die konstante Nachfragedichte im Raum.

Degressiv wachsende Nachfrage mit zunehmendem Absatzgebiet - abnehmende Nachfragedichte

Die Nachfragedichte einer Region ist meist nicht konstant, sondern vielmehr abhängig von der Siedlungsstruktur. Vielfach kann davon ausgegangen werden, dass die Nachfragedichte ausgehend vom Zentrum einer Siedlung bei zunehmendem Absatzgebiet abnimmt, d. h. die Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern steigt bei abnehmender Nachfragedichte konkav an oder anders gesagt: mit jedem m^2 mehr Absatzgebiet kann immer weniger zusätzliche Nachfrage erreicht werden.

Grundsätzlich muss daher bei fallender Nachfragedichte gelten:

$$D = D(\bar{p}, A)$$

$$\frac{\partial D(\bar{p}, A)}{\partial A} > 0$$

$$\frac{\partial^2 D(\bar{p}, A)}{\partial A^2} < 0$$

$$D = D(\bar{p}, \bar{A}) = \bar{D}$$

\bar{D} = Gesamtnachfrage nach der leitungsgebundenen Gütern bei Preis \bar{p} und maximalem Absatzgebiet. Obiger Zusammenhang kann durch unterschiedliche funktionale Zusammenhänge repräsentiert werden. Im Folgenden werden einige mögliche Funktionen diskutiert:

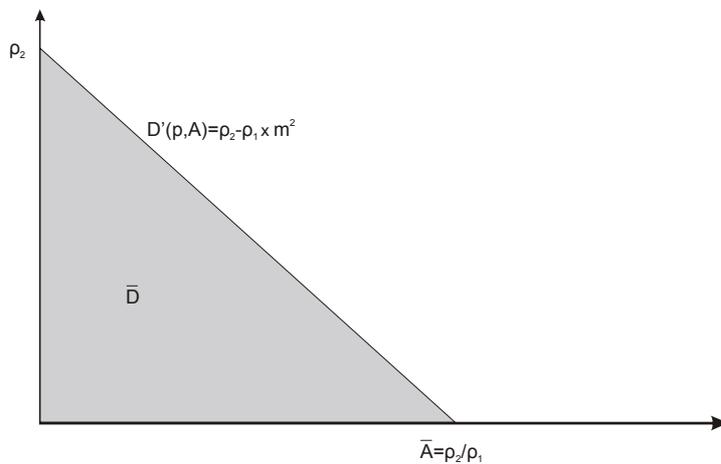
Degressiv wachsende Nachfrage mit zunehmendem Absatzgebiet - lineare Abnahme der Nachfragedichte

Die Nachfragedichte $D'(\bar{p}, A)$ ist im Vergleich zum linearen Nachfrageverlauf nun nicht mehr konstant, sondern eine lineare Funktion der Netzausdehnung:

$$\text{Gl. 4.3 } D'(\bar{p}, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A \quad \rho_1, \rho_2 > 0$$

ρ_1 und ρ_2 bezeichnen die Strukturparameter. Außerhalb des Betrachtungsraumes \bar{A} gibt es keine Nachfrage und die Nachfragedichte ist daher Null: $D'(\bar{p}, \bar{A}) = 0$

Abbildung 13: Linearer Verlauf der Nachfragedichte



Quelle: Eigene Konzeption

Der Strukturparameter ρ_2 entspricht der Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsraumes und der Regionsparameter ρ_1 ist durch $\frac{\rho_2}{\bar{A}}$ bestimmt und zeigt somit das Abfallen der Nachfragedichte vom Zentrum ausgehend bis zum maximalen Absatzgebiet. Ein linear fallender Nachfragedichteverlauf impliziert daher, dass die Nachfragedichte (oder die Nachfrage je m^2) mit jedem weiteren m^2 Netzausdehnung *im gleichen Ausmaß* ρ_1 sinkt.

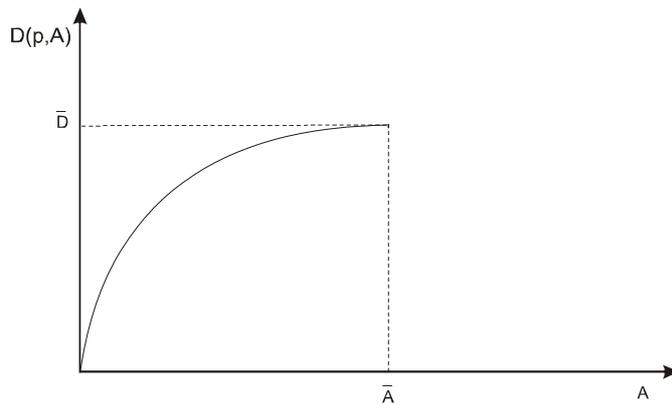
Die zugehörige Verteilung der Nachfragefunktion im Raum ergibt sich aus:

$$Gl. 4.4 D(\bar{p}, A) = \int_0^{A \leq \bar{A}} D'(\bar{p}, A) dA = (\rho_2 - \frac{\rho_1}{2} \times A) \times A \text{ für } 0 < A \leq \bar{A},$$

wobei $\bar{A} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ da $D'(\bar{p}, \bar{A}) = 0$ gilt. Die maximale Nachfrage im Betrachtungsraum bei \bar{p} ergibt sich aus $\bar{D} = D(\bar{p}, \bar{A})$.

Eine exemplarische Nachfragekurve bei einem bestimmten Preisniveau \bar{p} zeigt die folgende Abbildung:

Abbildung 14: Nachfrage bei linearem Verlauf der Nachfragedichte



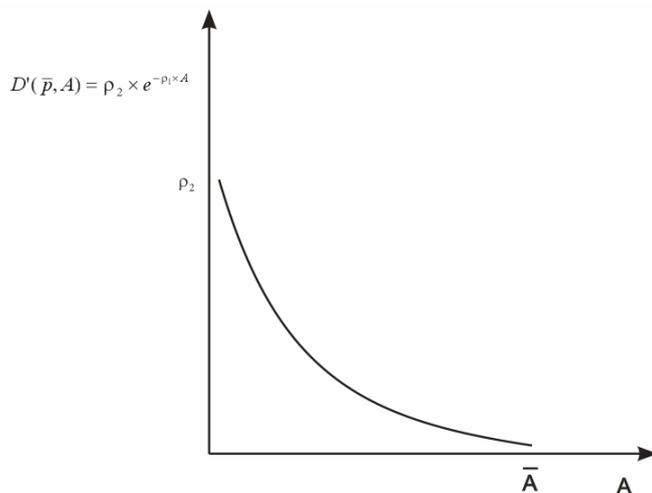
Quelle: Eigene Konzeption

Degressiv wachsende Nachfrage mit zunehmendem Absatzgebiet – exponentiell abnehmende Nachfragedichte

Die Nachfragedichte $D'(\bar{p}, A)$ ist nun nicht mehr linear, sondern exponentiell fallend mit zunehmendem Absatzgebiet:

$$\text{Gl. 4.5 } D'(\bar{p}, A) = \rho_2 \times e^{-\rho_1 \times A} \quad \text{für } 0 < A \leq \bar{A} \text{ und } \rho_1, \rho_2 > 0$$

Abbildung 15: Exponentiell fallende Nachfragedichte



Quelle: Eigene Konzeption

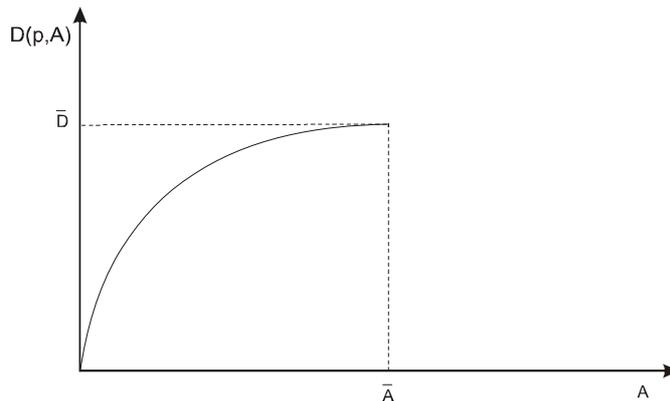
Der Strukturparameter ρ_2 entspricht der Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsraumes und der Regionsparameter ρ_1 der kontinuierlichen Rate, mit der die Nachfragedichte mit zunehmendem Absatzgebiet vom Zentrum ausgehend, abnimmt.

Die zugehörige Verteilung der Nachfragefunktion im Raum ergibt sich aus:

$$\text{Gl. 4.6 } D(\bar{p}, A) = \int_0^{A \leq \bar{A}} D'(\bar{p}, A) dA = \int_0^{A \leq \bar{A}} (\rho_2 \times e^{-\rho_1 \times A}) dA = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times (1 - e^{-\rho_1 \times A})$$

für $0 < A \leq \bar{A}$ und $\rho_1, \rho_2 > 0$ und könnte bei einem bestimmten Preisniveau folgendermaßen verlaufen:

Abbildung 16: Nachfragefunktion bei exponentiell fallender Nachfragedichte



Quelle: Eigene Konzeption

Degressiv wachsende Nachfrage mit zunehmendem Absatzgebiet – „Normalverteilte“ Nachfragedichte

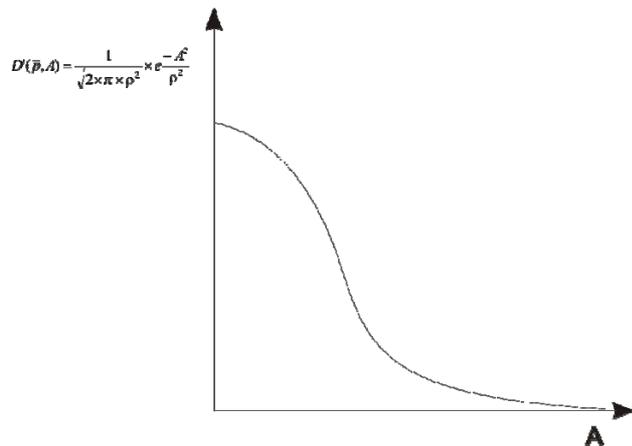
Nimmt die Nachfragedichte ausgehend vom Zentrum des Gebietes zunächst progressiv, danach degressiv ab, könnte dies durch den folgenden funktionalen Zusammenhang (welcher der Dichtefunktion einer Normalverteilung entspricht) beschrieben werden:

$$\text{Gl. 4.7 } D'(\bar{p}, A) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \rho^2}} \times e^{-\frac{A^2}{\rho^2}} \text{ für } 0 < A \leq \bar{A} \text{ und } \rho > 0$$

wobei ρ der regions- bzw. verteilungsabhängige Parameter ist. 2/3 der Nachfrage liegt in obigen Zusammenhang innerhalb der Netzausdehnung ρ^6 . Die folgende Abbildung stellt den Zusammenhang graphisch dar:

⁶ ρ entspricht der Standardabweichung bzw. ρ^2 der Varianz in der Normalverteilung.

Abbildung 17: Fallender Nachfragedichteverlauf entsprechend der Wahrscheinlichkeitsdichte einer Normalverteilung



Quelle: Eigene Konzeption

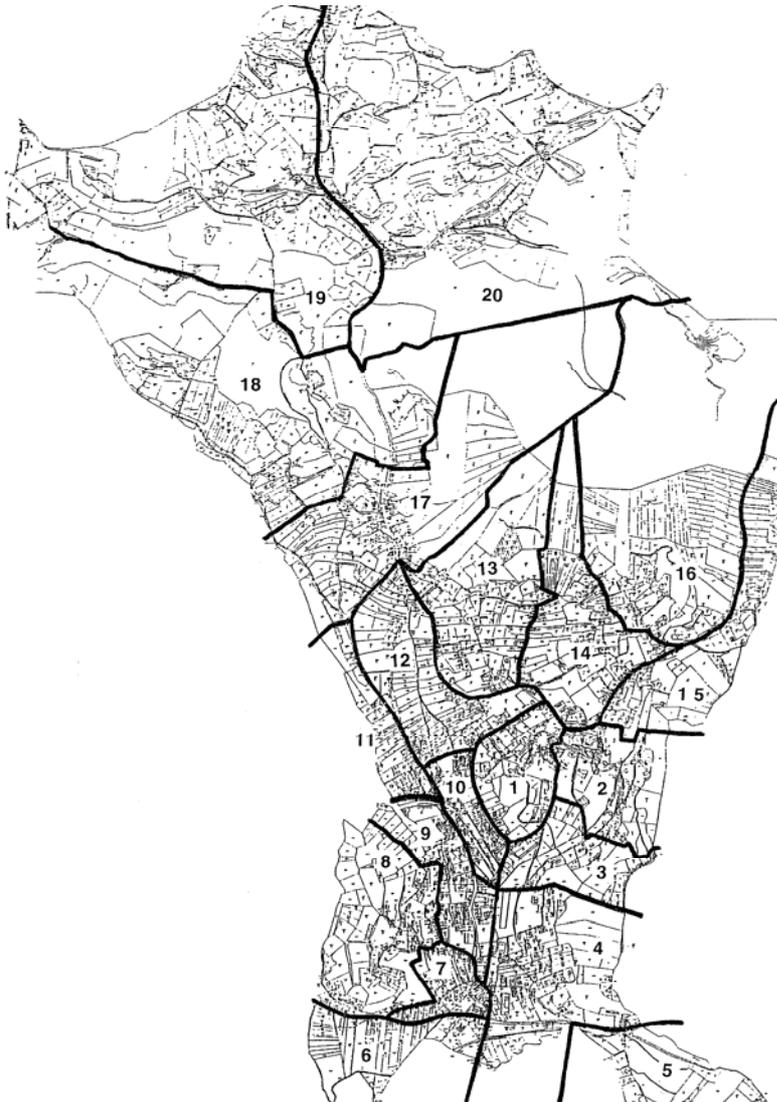
Die Nachfragefunktion aus obiger Dichtefunktion kann (wie auch die Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion der Normalverteilung) nur näherungsweise bestimmt werden, verläuft aber jedenfalls auch degressiv steigend.

4.1.2. Nachfrage und räumliche Struktur im Fallbeispiel Bad Gleichenberg

Um den beschriebenen Ansatz im Rahmen eines Fallbeispiels anwenden zu können, müssen die hier vorgestellten allgemeinen Zusammenhänge konkretisiert werden. Dazu werden Daten über die Nachfrageverteilung in Bad Gleichenberg herangezogen und aufbereitet. Annahmen über den Verlauf der Nachfragefunktion abhängig vom Absatzgebiet werden getroffen.

Daten über die Wärmenachfrageverteilung in Bad Gleichenberg stammen aus der Wärmebedarfserhebung für Bad Gleichenberg aus dem Jahr 1996 (siehe Kapitel 3 Modellüberblick, Symbolbeschreibung und Fallbeispiel) und wurden dankenswerterweise von der Gemeinde zur Verfügung gestellt. Um einen Überblick über die räumliche Verteilung des Energieverbrauchs in Bad Gleichenberg zu gewinnen, wurde im Rahmen des Energiekonzepts das Gemeindegebiet in 20 Teilgebiete unterteilt (siehe dazu die folgende Abbildung).

Abbildung 18: Gebietsverteilung Bad Gleichenberg



Quelle: Wärmebedarfserhebung 1996, Büro „ARGE FORSCHUNG, PLANUNG, BERATUNG, ING. KORDINA“

Die folgende Tabelle zeigt den Wärmebedarf der 20 Teilgebiete im Überblick.

Tabelle 1: Wärmebedarf in Bad Gleichenberg in den zwanzig Teilgebieten

Gebiet	km ² Fläche	MWh	MWh/ km ²
1	0,23	5,263	22.663
2	0,30	12.703	42.392
3	0,24	284	1.204
4	0,51	1.572	3.063
5	0,83	664	802
6	0,39	259	671
7	0,12	1.164	9.708
8	0,48	1.517	3.164
9	0,24	2.441	10.026
10	0,13	844	6.439
11	0,16	1.039	6.302
12	0,40	1.707	4.300
13	0,58	1.887	3.230
14	0,49	3.484	7.101
15	0,66	1.116	1.703
16	1,49	354	238
17	1,13	1.677	1.483
18	1,45	707	489
19	1,63	841	516
20	2,23	1.492	668
Summe	13,69	41.013	2.996

Quelle: Wärmebedarfserhebung 1996

Betrachtet man den Anteil der *Wärmenachfrage* in den Teilgebieten zeigt sich, dass die Wärmenachfrage deutlich auf die Teilgebiete 1 und 2 konzentriert ist, in denen 45 % der Wärme-Endenergie nachgefragt wird. Der Wärmebedarf in den restlichen Teilgebieten liegt weit unter der Wärmenachfrage der Teilgebiet 1 und 2. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Betrachtung der *Wärmedichte*: Im Teilgebiet 2 findet sich die höchste Wärmedichte mit rund 42.400 MWh/km², gefolgt von Teilgebiet 1, 7 und 9. Teilgebiet 14, das eine vergleichsweise hohe Wärmenachfrage aufweist, liegt was die Wärmedichte anbelangt (aufgrund der breiten flächenmäßigen Ausdehnung) hinter Teilgebiet 7 und 9. Teilgebiet 2 weist unter anderem deshalb die höchste Wärmedichte auf, weil sich hier der größte Wärmeverbraucher der Gemeinde, die Kuranstalt mit den zugehörigen Objekten, befindet.

Die Wärmedichtefunktion für die Gemeinde Bad Gleichenberg wird nun folgendermaßen abgeschätzt: In Teilgebiet 2 befindet sich der größte Wärmeverbraucher der Gemeinde, die Kuranstalt mit den zugehörigen Objekten. Auf einem Gebiet von rund 105.000 m² beträgt der Wärmeverbrauch durch die

Kureinrichtungen rund 8.500 MWh, die Wärmedichte in diesem Gebiet beträgt somit rund 80 kWh/m² und entspricht der höchsten Wärmedichte im Teilgebiet 2. Ausgehend von dieser höchsten Wärmedichte wird eine linear abfallende Wärmedichte unterstellt. Als Betrachtungsraum werden die Gebiete 1,2 und teilweise Gebiete 9, 10, 11, 12 und 14 herangezogen, da diese Wärmedichten von über 4.000 MWh/km² aufweisen. Am Rand des Betrachtungsraumes wird eine Wärmedichte von 0 kWh/m² angenommen. Aus diesen beiden Punkten der Wärmedichtefunktion – 80 kWh/m² im Zentrum des Netzes und 0 kWh/m² am Rand des Betrachtungsraumes bei einem Absatzgebiet von rund 800.000 m² – können die beiden Parameter ρ_1 und ρ_2 der linear fallenden Wärmedichtefunktion $D'(\bar{p}, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A$ berechnet werden.

ρ_2 zeigt die Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsgebietes, wo das Absatzgebiet $A=0$ und die Nachfragedichte annahmegemäß am Höchsten ist, $D'(\bar{p}, 0) = 80 \text{ kWh/m}^2 = \rho_2$. Mit zunehmendem Absatzgebiet A sinkt die Nachfragedichte kontinuierlich um $\rho_1 \times A$ bis bei \bar{A} die Nachfragedichte 0 ist $D'(\bar{p}, \bar{A}) = 0 \text{ kWh/m}^2 = \rho_2 - \rho_1 \times \bar{A}$,

$\rho_2 = 80$ wie zuvor gezeigt

$\bar{A} = 800.000$ wie zuvor gezeigt

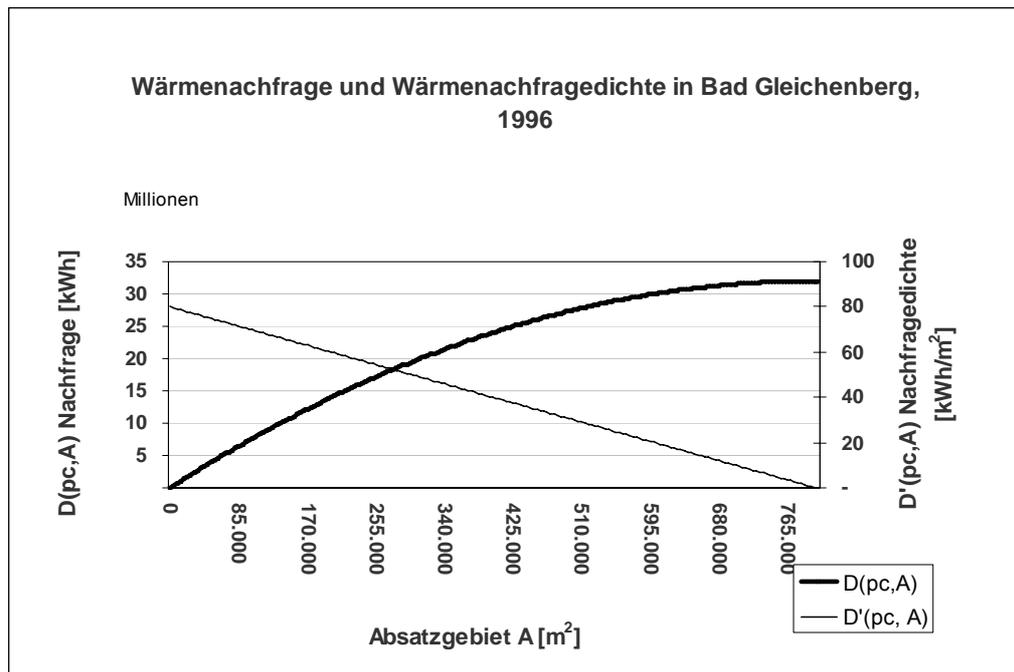
$$\rho_1 = \frac{\rho_2}{\bar{A}} = 0,0001$$

Für Bad Gleichenberg gilt daher die folgende lineare Wärmedichte- und Wärmenachfragefunktion:

Wärmedichte Bad Gleichenberg $D'(\bar{p}, A) = 80 - 0.0001 \times A$

Wärmenachfrage Bad Gleichenberg $D(\bar{p}, A) = 80 \times A - \frac{0.0001}{2} \times A^2$

Abbildung 19: Wärmenachfrage- und Wärmenachfragedichte in Bad Gleichenberg bei linear fallender Nachfragedichte



Quelle: Eigene Abbildung

Obige Abbildung zeigt den Verlauf der Wärmenachfrage und Wärmenachfragedichtefunktion in Bad Gleichenberg bei linear abfallender Wärmenachfragedichte. Im Betrachtungsraum, Teilgebiet 1 und 2 und großteils 9, 10, 11, 12 und 14, werden rund 32 GWh Wärme nachgefragt.

Geht man nun für Bad Gleichenberg nicht von einer linear, sondern exponentiell abfallenden Nachfragedichte aus, kann im Gegensatz zum linearen Verlauf nicht angenommen werden, dass die Wärmedichte am Rand des Betrachtungsraumes 0 kWh/m² beträgt, da dies für die Berechnung von ρ_1 zu keiner Lösung führt. Wir gehen vielmehr von einer Wärmedichte am Rand des Betrachtungsraumes von 4 kWh/m² aus. Die Wärmenachfrage- und Wärmenachfragedichtefunktion werden dann folgendermaßen gebildet:

$$\text{Wärmedichte } D'(\bar{p}, A) = \rho_2 \times e^{-\rho_1 \cdot A} \quad \rho_1, \rho_2 > 0$$

$$80 = \rho_2 \times e^{-\rho_1 \times 0} = \rho_2$$

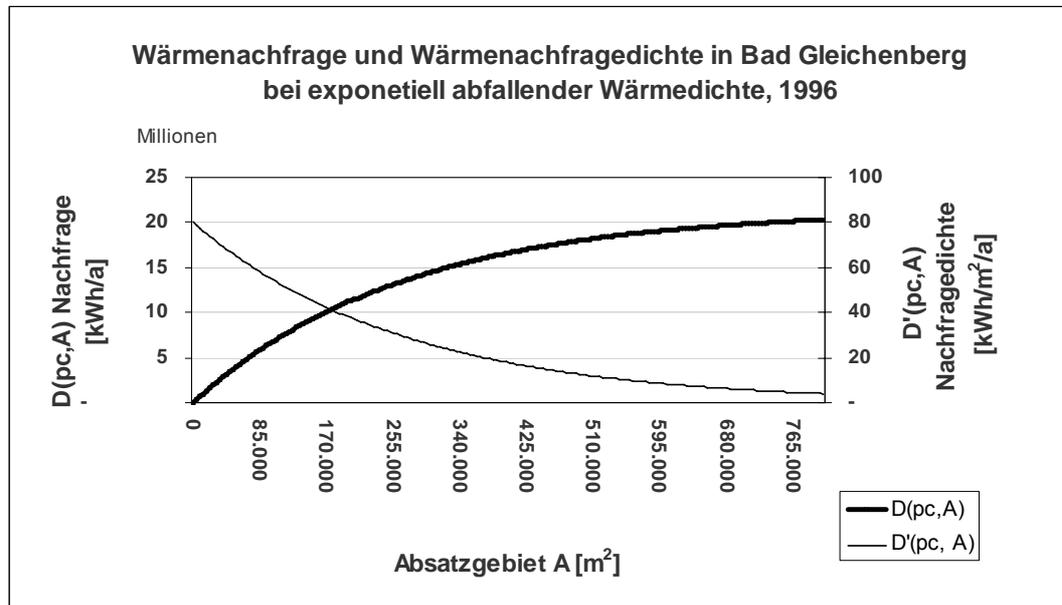
$$4 = 80 \times e^{-\rho_1 \times 800000} \quad \rho_1 = 0,0000037446$$

Bei exponentiell abfallender Nachfragedichte gilt in Bad Gleichenberg daher die folgende Wärmenachfragedichte- und Wärmenachfragefunktion:

$$\text{Wärmedichte Bad Gleichenberg } D'(\bar{p}, A) = 80 \times e^{-0,0000037446 \times A}$$

$$\text{Wärmenachfrage Bad Gleichenberg } D(\bar{p}, A) = \frac{80}{0,0000037446} \times (1 - e^{-0,0000037446 \times A})$$

Abbildung 20: Wärmenachfrage- und Wärmedichtefunktion in Bad Gleichenberg bei exponentiell fallender Nachfragedichte



Quelle: Eigene Abbildung

Obige Abbildung zeigt den Verlauf der Wärmenachfrage und Wärmenachfragedichtefunktion in Bad Gleichenberg bei exponentiell abfallender Wärmenachfragedichte. Im Betrachtungsraum, Teilgebiet 1 und 2 und großteils 9, 10, 11, 12 und 14, würden rund 20 GWh Wärme nachgefragt. Tatsächlich werden im Betrachtungsraum jedoch rund 30 GWh Wärme nachgefragt. Die lineare Wärmenachfragefunktion (siehe Abbildung 19) erlaubt damit eine genauere Approximation der Wärmenachfrage und im weiteren wird daher ein linearer Verlauf der Wärmenachfragedichte in Bad Gleichenberg unterstellt.

4.2. Nachfrage und Preis

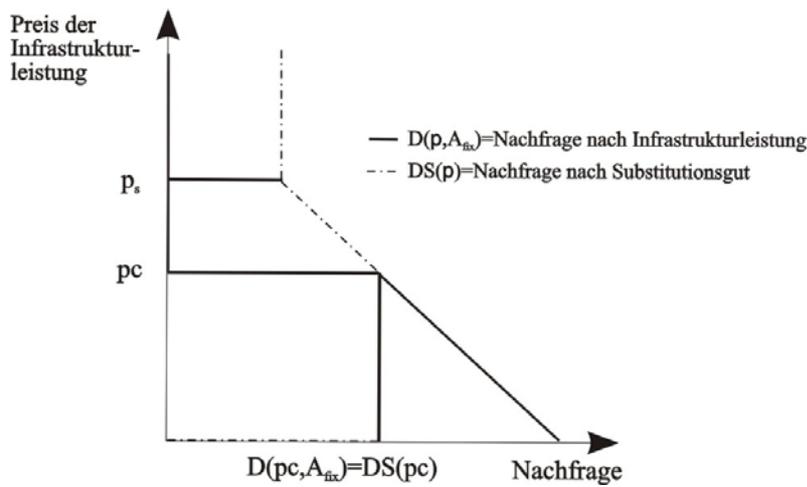
Bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Nachfrage und Preis wird das Absatzgebiet fixiert bei A_{fix} und lediglich der Preis variiert: $D(p, A_{fix})$

Der hier verwendete Preis p umfasst sämtliche Kosten (auch die Transaktionskosten, siehe Kapitel 3.3 Annahmen), welche einem Haushalt zur Deckung der Nachfrage entstehen. In diesem Preis sind z. B. nicht nur der Fernwärmepreis, sondern auch die annuisierten Aufwendungen für den Anschluss etc. enthalten. Es handelt sich daher bei dieser Größe eigentlich nicht um einen Preis, sondern vielmehr um die Kosten der Nachfragedeckung. Zur Vereinfachung und in Anlehnung an die traditionelle Terminologie wird jedoch im weiteren vom „Preis“ zur Deckung der Nachfrage gesprochen.

Ebenso enthält der Preis p_c des kompetitiven Substitutionsgutes sämtliche Kostengrößen wie z. B. die Kosten je Liter Heizöl, die Aufwendungen für den Öltank und Ölheizung, die Verluste bei der Wärmebereitstellung sowie auch nicht monetäre Größen wie z. B. verringerte Bequemlichkeit im Vergleich zur Fernwärme.

Im Rahmen der hier vorgestellten Modellierung wird ein linearer Zusammenhang zwischen Preis und Nachfrage im Bereich $p \leq p_c \leq p_s$ unterstellt.

Abbildung 21: Preis-Nachfrage-Funktion



p Preis des leitungsgebundenen Gutes
 p_c Preis des kompetitiven Substitutionsgutes
 p_s Preis, ab dem die Nachfrage unelastisch ist
 $D(p, A)$.. Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut
 $DS(p)$.. Nachfrage nach dem kompetitiven Substitutionsgut

Quelle: Eigene Konzeption

Abbildung 21 zeigt die Preis-Nachfrage-Funktion, z. B. Raum-wärmeversorgung, in einem bestimmten Gebiet A_{fix} . Die Nachfrage kann entweder durch ein leitungsgebundenes Gut (z. B. Fernwärme) oder mit dem preisgünstigsten Substitutionsgut (z. B. Ölelzeilheizungen) gedeckt werden.

p_c ist der Preis, zu dem das preisgünstigste kompetitive Substitutionsgut angeboten wird. Es wird angenommen, dass für das Substitutionsgut vollständige Konkurrenz gilt und damit der Preis p_c den Grenzkosten und minimalen Durchschnittskosten des kompetitiven Substitutionsgutes entspricht und langfristig konstant ist. Die Nachfrage nach dem Substitutionsgut beträgt daher $DS(p_c)$. Wird in A_{fix} ein Leitungsnetz errichtet, kann dieses annahmegemäß nur dann Güter absetzen, wenn diese nicht teurer als das preisgünstigste Substitutionsgut sind (d. h. $p \leq p_c$). Ist der Preis des

leistungsgebundenen Gutes größer als p_c , wird nur das Substitutionsgut aber kein leistungsgebundenes Gut konsumiert und $D(p > p_c, A_{\text{fix}}) = 0$ bei $DS(p_c)$. Bei einem Preis über p_s reagiert die Nachfrage annahmegemäß preisunelastisch.

Liegt der Preis des leistungsgebundenen Gutes unter p_c , wird kein Substitutionsgut konsumiert und $DS(p_c > p) = 0$. Die Nachfrage in Höhe von $D(p \leq p_c, A_{\text{fix}})$ wird vielmehr ausschließlich durch das leistungsgebundene Gut gedeckt. D. h. leistungsgebundene Güter werden nur solange nachgefragt, solange deren Preis geringer oder gleich dem Preis des kompetitiven Substitutionsgutes ist. Wenn z. B. eine kWh Fernwärme mehr kostet als eine kWh Wärme aus Ölheizung, wird Öl zur Beheizung verwendet und umgekehrt⁷. Das Ausmaß des nachgefragten leistungsgebundenen Gutes orientiert sich am Preis dieser. Je höher z. B. der Fernwärmepreis, umso weniger Wärme wird konsumiert und umgekehrt.

Das „auf den Markt Treten“ des Anbieters leistungsgebundener Güter wirkt sich annahmegemäß nicht auf den Preis des preisgünstigsten Substitutionsgutes aus, da diese überregional angeboten werden und sich die regional begrenzte Veränderung der Nachfrage kaum auf die einzelnen Anbieter des preisgünstigsten Substitutionsgutes auswirkt.

4.3. Nachfrage, Preis und Absatzgebiet

4.3.1. Allgemeine Betrachtung

Für die Herleitung der Nachfragefunktion in Abhängigkeit vom Preis müssen wir zunächst die Abhängigkeit der NachfrageDICHTEfunktion vom Preis betrachten.

Im vorigen Kapitel haben wir die (lineare fallende) Nachfragedichtefunktion abhängig vom Absatzgebiet mit $D'(\bar{p}, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A$ $\rho_1, \rho_2 > 0$ bestimmt und für Bad Gleichenberg eine konkrete Wärmenachfragedichtefunktion der Form $D'(\bar{p}, A) = 80 - 0.0001 \times A$ abgeschätzt. Betrachten wir nun den Preis \bar{p} , der dieser Wärmenachfragedichtefunktion zugrunde liegt. Die Daten für die Abschätzung der Wärmedichte in Bad Gleichenberg wurden aus einer Wärmebedarfserhebung im Jahr 1996 gewonnen, bei welcher die Wärmenach-

⁷ Nicht gesondert berücksichtigt werden hier die Kosten für den Wechsel von dem leistungsgebundenen Gut zum Substitutionsgut und umgekehrt bzw. es wird angenommen, dass diese Kosten im Preis p_c enthalten sind und damit ein Wechsel nur dann stattfindet, wenn der Preis des leistungsgebundenen Gutes unter dem Preis der Substitutionsgüter inklusive der Umstiegskosten liegt (siehe dazu auch Kapitel 3.3 Annahmen).

frage der Wärmeverbraucher durch Befragung erhoben wurde. Die Wärmemengen, welche die Wärmeverbraucher bei der Befragung angaben, beziehen sich auf das Preisniveau des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes 1996, da es in Bad Gleichenberg zum Zeitpunkt der Befragung kein Fernwärmenetz gab. Es kann daher unterstellt werden, dass die für Bad Gleichenberg abgeschätzte Wärmenachfragedichtefunktion für ein Preisniveau in Höhe des Preises des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes gilt und damit $\bar{p} = pc$. Die preisgünstigsten Alternativen zur Raumwärmebereitstellung in Bad Gleichenberg sind Öl- und Holzeinzelheizungen. Die durchschnittlichen Kosten für die Bereitstellung von Raumwärme durch Öl- und Holzeinzelheizung betrug 1996 zu Preisen von 2006 durchschnittlich rund 0,15 Euro pro kWh, Aufwendungen für Investitionen, Wartung etc. inkludiert, exklusive MWSt. Die Wärmenachfragedichtefunktion für Bad Gleichenberg kann daher folgendermaßen geschrieben werden: $D'(0,15, A) = 80 - 0,0001 \times A$.

Während in den beiden vorigen Kapiteln die Zusammenhänge zwischen Nachfrage bzw. Nachfragedichte und Preis sowie Absatzgebiet jeweils isoliert betrachtet wurden, d. h. entweder Preis oder Absatzgebiet festgehalten und die jeweils andere Größe variiert wurde, wird nun die Nachfrage und Nachfragedichte bei gleichzeitiger Variabilität von Preis und Absatzgebiet untersucht und damit sowohl Preiseffekt als auch Absatzgebiet einbezogen.

Zur Reduktion der Komplexität dieser Arbeit wird im Folgenden nur noch die Nachfragefunktion bei linear fallender Nachfragedichtefunktion untersucht. Der für die fallende Nachfragedichte vorgestellte Ansatz kann aber ebenso für andere funktionale Zusammenhänge wie z. B. exponentiell fallende Nachfragedichten angewandt werden.

Betrachten wir dazu zunächst den Extremfall, bei dem der Preis=0 ist. Bei einem Preis in Höhe von 0 kann bei jedem Absatzgebiet die höchstmögliche Nachfragedichte $D'(p=0, A)$ erzielt werden. Schreibt man die Nachfragedichtefunktion nun als $D'(p=0, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A$ ist der Parameter ρ_2 definiert als die Nachfragedichte im Zentrum bei $p=0$ und ρ_1 ist definiert als die Abnahme der Nachfragedichte bei fortschreitender Netzausdehnung bei $p=0$.

Bei Preisen größer 0 reduziert sich die Nachfrage je m^2 annahmegemäß linear mit v . Allerdings können wir nicht einfach die Nachfragedichtefunktion um $v \times p$ verringern, denn dies würde bei linear fallender Nachfragedichte in $D'(p=0, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A - v \times p$ münden. Ein funktionaler Zusammenhang der Form $D'(p=0, A) = \rho_2 - \rho_1 \times A - v \times p$ impliziert, dass eine Preisveränderung Δp die gleiche Wirkungen auf die Nachfragedichte hat, unabhängig vom Absatzgebiet A . D. h. eine Preiserhöhung um 1 Cent hätte die gleiche Re-

duktion der Nachfragemenge je m^2 im Zentrum bei $A=0$ wie an den Randgebieten bei \bar{A} zur Folge, was nicht stimmen kann, da die Nachfrage im Zentrum wesentlich höher ist als am Rand.

Anstatt den Preiseffekt auf die gesamte Nachfragedichte zu beziehen, muss der Preiseffekt für die Strukturparameter ρ_1 und ρ_2 gesondert betrachtet werden. Nimmt man an, dass die Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsraumes linear mit wachsendem Preis mit Veränderungsrate v_2 abnimmt, lässt sich die linear fallende Nachfragedichtefunktion schreiben als:

$$\text{Gl. 4.8 } D'(p, A_{\text{fix}}) = \rho_2 - v_2 \times p - \rho_1 \times A$$

Auch ρ_1 (die Veränderung der Nachfragedichte bei zunehmendem Absatzgebiet) verändert sich bei wachsenden Preisen. Wie zuvor gezeigt sinkt die Nachfragedichte bei einem Preis in Höhe von 0 mit jedem weiteren m^2 Absatzgebiet um ρ_1 . Bei einem höheren Preis als 0 ist die erreichbare Nachfrage geringer und damit sinkt die Nachfragedichte weniger stark im Vergleich zu $p=0$ und ρ_1 muss reduziert werden. Dieser Zusammenhang lässt sich für die linear fallende Nachfragedichtefunktion und Veränderungsrate v_1 wie folgt darstellen:

$$\text{Gl. 4.9 } D'(p, A) = \rho_2 - v_2 \times p - (\rho_1 - v_1 \times p) \times A .^8$$

Unter der Annahme, dass für ρ_1 die gleiche Preiselastizität ξ gilt wie für ρ_2 , sind v_1 und v_2 nicht unabhängig von einander und v_1 kann geschrieben werden als :

$$v_1 = \frac{v_2 \times \rho_1}{\rho_2} \text{ denn}$$

$$\xi = \frac{\frac{d(\rho_2 - v_2 \times p)}{(\rho_2 - v_2 \times p)}}{\frac{dp}{p}} = \frac{\frac{d(\rho_1 - v_1 \times p)}{(\rho_1 - v_1 \times p)}}{\frac{dp}{p}}$$

$$\frac{d(\rho_2 - v_2 \times p)}{(\rho_2 - v_2 \times p)} = \frac{d(\rho_1 - v_1 \times p)}{(\rho_1 - v_1 \times p)}$$

$$\frac{d(\rho_2 - v_2 \times p)}{d(\rho_1 - v_1 \times p)} = \frac{(\rho_2 - v_2 \times p)}{(\rho_1 - v_1 \times p)}$$

⁸ Man beachte hier die unterschiedlichen Einheiten von v_1 und v_2 . Während v_2 kWh/ m^2 zeigt, wird v_1 in kWh/ m^2/m^2 gemessen.

$$\frac{d(\rho_2 - v_2 * p)}{dp} = \frac{(\rho_2 - v_2 * p)}{(\rho_1 - v_1 * p)}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{(\rho_2 - v_2 * p)}{(\rho_1 - v_1 * p)}$$

$$v_2 * (\rho_1 - v_1 * p) = (\rho_2 - v_2 * p) * v_1$$

$$v_2 * \rho_1 = \rho_2 * v_1 - v_2 * p * v_1 + v_1 * p * v_2 = v_1 * \rho_2$$

$$v_1 = \frac{v_2 * \rho_1}{\rho_2}$$

Bezeichnet man die Veränderung der Nachfragedichte abhängig vom Preis mit v statt v_2 so sieht die Nachfragedichtefunktion abhängig von Preis und Absatzgebiet A folgendermaßen aus:

$$\text{Gl. 4.10: } D'(p, A) = \rho_2 - v \times p - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p\right) \times A \text{ für } 0 < A \leq \bar{A} \text{ und}$$

$$0 \geq p \leq pc \text{ und } \rho_1, \rho_2 > 0,$$

ρ_2 = Nachfragedichte im Zentrum bei $p=0$ und

ρ_1 = Abnahme der Wärmedichte je m^2 ausgehend vom Zentrum bei $p=0$.

Die dazugehörige Nachfragefunktion wird durch Integration bestimmt:

$$D(p, A) = \int_0^A D'(p, A) dA = \int_0^A \left(\rho_2 - v \times p - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p\right) \times A\right) dA$$

$$Gl. 4.11: \quad D(p, A) = \rho_2 \times A - v \times p \times A - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p\right) \times \frac{A^2}{2}$$

$$Gl. 4.12: \quad \frac{\partial D(p, A)}{\partial A} = \rho_2 - v \times p - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p\right) \times A > 0 \text{ für } 0 \leq A \leq \frac{\rho_2}{\rho_1} = \bar{A}$$

$$Gl. 4.13: \quad \frac{\partial D(p, A)}{\partial p} = -v \times A + \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{A^2}{2} < 0 \text{ für } 0 \leq A \leq \frac{\rho_2}{\rho_1} = \bar{A}$$

Zur Abschätzung von v für das Fallbeispiel kann die Preiselastizität der Nachfrage ξ herangezogen werden. Die Preiselastizität zeigt, um wieviel sich die Nachfrage verändert, wenn sich der Preis um 1 % verändert und kann geschrieben werden als

$$Gl. 4.14: \quad \xi = \frac{\frac{\Delta D'}{D'}}{\frac{\Delta p}{p}}$$

D'	Nachfragedichte im Zentrum
p	Preis
$\Delta D'$	Veränderung der Nachfragedichte im Zentrum bei Preisänderung Δp
Δp	Preisänderung
ξ	Preiselastizität der Nachfrage

$-v$ zeigt die Änderung (Reduktion) der Nachfragedichte im Zentrum in Mengeneinheiten und entspricht damit ΔD aus Gl. 4.14. bei $\Delta p = 1$. Gehen wir für die Bestimmung von v vom zumeist beobachtbaren Preis des preisgünstigsten Substitutionsgutes p_c und der Nachfrage im Zentrum bei diesem Preis, $\rho_2^{p_c}$ aus. Gl. 4.14 kann dann geschrieben werden als $\xi = \frac{-v}{\frac{\rho_2^{p_c}}{1}}$

und v kann abgeleitet werden als

$$Gl. 4.15: \quad v = \frac{-\xi \times \rho_2^{p_c}}{p_c}$$

4.3.2. Nachfrage, Absatzgebiet und Preis im Fallbeispiel Bad Gleichenberg

Im Anschluss an die Überlegungen im vorigen Kapitel wird hier in einem ersten Schritt v , die Veränderung der Wärmedichte im Zentrum abhängig von der Preisveränderung, abgeschätzt. Im Kapitel 4.1.2 Nachfrage und räumliche Struktur im Fallbeispiel Bad Gleichenberg wurde die Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsraumes bei Preis $p_c = 0,15$ Euro/kWh mit rund 80

kWh pro m² und die Abnahme der Wärmedichte mit 0,0001 kWh/m²/m², berechnet. Die Preiselastizität der Wärmenachfrage wird aus der Studie Huber et al. (2006, S. 119) übernommen, in der folgende Preiselastizitäten der Energienachfrage von Haushalten ausgewiesen sind:

- Kohle: -1
- Öl: -0,065
- Gas: -0,151 und
- Elektrizität: -0.06

Die Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung der Raumwärme für Bad Gleichenberg wird aus der Wärmebedarfserhebung berechnet und in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2: Verteilung des Energieträgereinsatzes zur Raumwärmebereitstellung in Bad Gleichenberg

Energieträger	Verbrauch in MWh	Verteilung
Elektrizität	1.369	3 %
Öl	1.402	68 %
Holz	28.116	16 %
Gas	6.493	3 %
Kohle	4.050	10 %
Summe	41.430	100%

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten der Wärmebedarfserhebung 1996 Bad Gleichenberg

Die Elastizität der Energienachfrage in Bad Gleichenberg wird nun mittels Gewichtung der Elastizitäten aus Huber et al. (2006, S. 119) mit der Verteilung der Energieträger Tabelle 2 (Öl und Holz werden zusammengefasst) in Höhe von -0,1891 abgeschätzt. Die Elastizität von -0,1891 zeigt, dass bei einer einprozentigen Veränderung des Energiepreises die Energienachfrage im Schnitt um 0,1891 % sinkt.

ν wird gemäß des in Gl. 4.15 hergeleiteten Zusammenhangs berechnet mit

$$\nu = \frac{0,1891 \times 80}{0,15} = 100,9$$

Für die Berechnung der Wärmedichtefunktion wird der zuvor hergeleitete Zusammenhang aus Gl. 4.10 herangezogen. Die Strukturparameter ρ_1 und ρ_2 in Gl. 4.10 beziehen sich auf einen Preis in Höhe von 0. Da sich die in Kapitel 4.1.2 Nachfrage und räumliche Struktur im Fallbeispiel Bad Gleichenberg be-

rechneten Strukturparameter (Nachfragedichte im Zentrum des Betrachtungsraumes mit rund 80 kWh pro m² und die Abnahme der Wärmedichte mit 0,0001 kWh/m²/m²) auf ein Preisniveau von $p_c=0,15$ beziehen, müssen diese auf einen Preis $p=0$ umgerechnet werden. Es gilt:

$$\rho_2^{pc} = \rho_2 - v \times pc$$

$$80 = \rho_2 - 100,9 \times 0,15$$

$$\rho_2 = 80 + 100,9 \times 0,15 = 95,13$$

Das Betrachtungsgebiet bzw. das maximale Absatzgebiet liegt wie in Kapitel 4.3.2 Nachfrage, Absatzgebiet und Preis im Fallbeispiel Bad Gleichenberg beschrieben bei 800.000 m². Bei linear fallender Wärmenachfragedichte kann

ρ_1 berechnet werden aus $\rho_1 = \frac{\rho_2}{A} = \frac{95,13}{800.000} = 0,0001189$ kWh/m²/ m², da die

Wärmenachfragedichte am Ende des Betrachtungsraumes annahmegemäß 0 beträgt.

Die Wärmenachfragedichtefunktion für Bad Gleichenberg hat daher, unter der Annahme einer linear fallenden Wärmenachfragedichte, die Form:

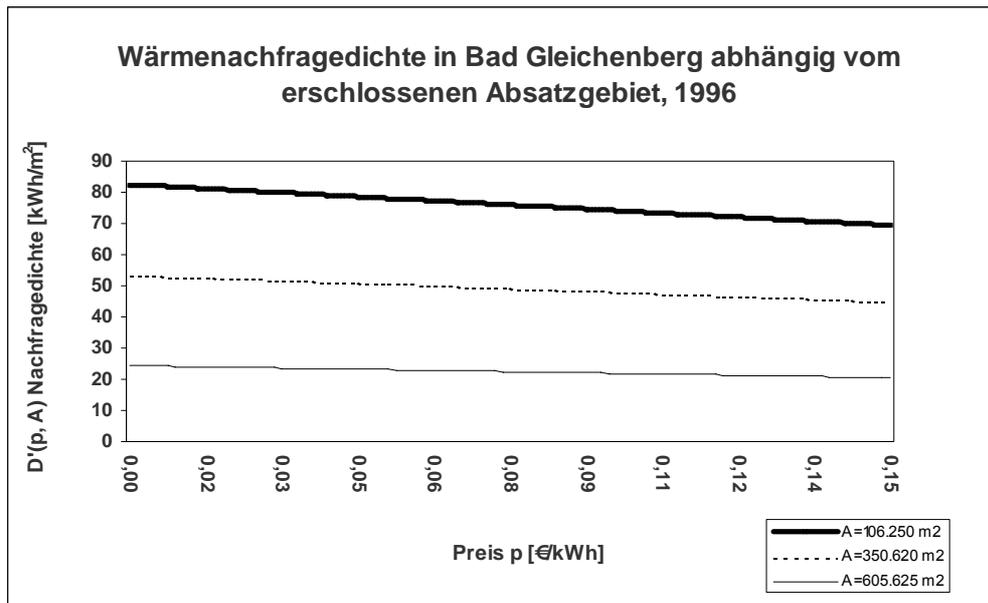
$$D'(p, A) = 95,13 - 100,9 \times p - \left(0,0001189 - \frac{100,9 \times 0,0001189}{95,13} \times p\right) \times A$$

Die Wärmenachfragefunktion kann durch einsetzen in Gl. 4.11 ermittelt werden:

$$D(p, A) = 95,13 \times A - 100,9 \times p \times A - \left(0,0001189 - \frac{100,9 \times 0,0001189}{95,13} \times p\right) \times \frac{A^2}{2}$$

Die folgende Abbildung zeigt die Funktion der Wärmedichtenachfrage in Bad Gleichenberg bei Variation des Preises für drei unterschiedliche Absatzgebiete.

Abbildung 22: Preis-Wärmenachfragedichte-Funktion in Bad Gleichenberg

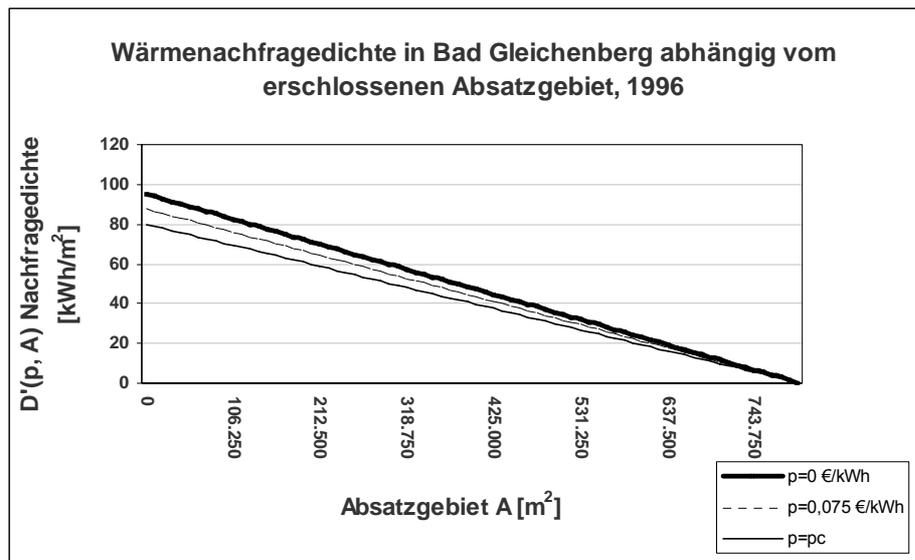


Quelle: Eigene Konzeption auf Basis der Wärmebedarfserhebung 1996

Obige Abbildung zeigt den linear fallenden Zusammenhang zwischen Nachfragedichte und Preis bei festgehaltenem Absatzgebiet im relevanten Bereich $0 \leq p \leq p_c$. Je höher der Preis, umso geringer die Nachfragedichte bei einem bestimmten Absatzgebiet. Je weiter die Netzausdehnung, umso geringer (annahmegemäß) die Nachfragedichte.

Die folgende Abbildung zeigt den linear fallenden Zusammenhang zwischen Nachfragedichte und Absatzgebiet bei festgehaltenem Preis im relevanten Bereich $0 \leq A \leq \bar{A}$.

Abbildung 23: Absatzgebiet -Wärmenachfragedichte-Funktion in Bad Gleichenberg

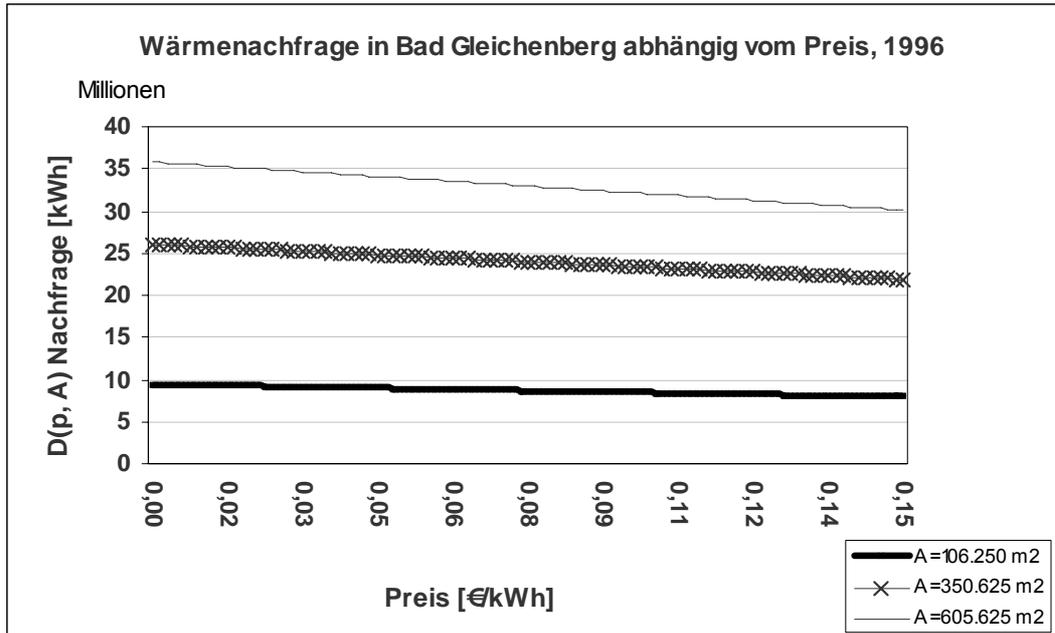


Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Wärmebedarfserhebung 1996

Je weiter das Netz ausgedehnt ist, umso geringer die Wärmedichte. Am Rand des Betrachtungsraumes (bei 800.000 m²) ist die Wärmedichte 0. Im Zentrum und bei $p=0$ beträgt die Wärmedichte 95,13 kWh/m², was der maximalen Wärmedichte im gesamten Betrachtungsraum entspricht. Es wird aus obiger Graphik deutlich, dass Preisänderungen (im relevanten Bereich $0 \leq p \leq p_c$) keinen wesentlichen Einfluss auf die Nachfragedichtefunktion haben, was auf die relativ geringe Elastizität der Energienachfrage zurückzuführen ist.

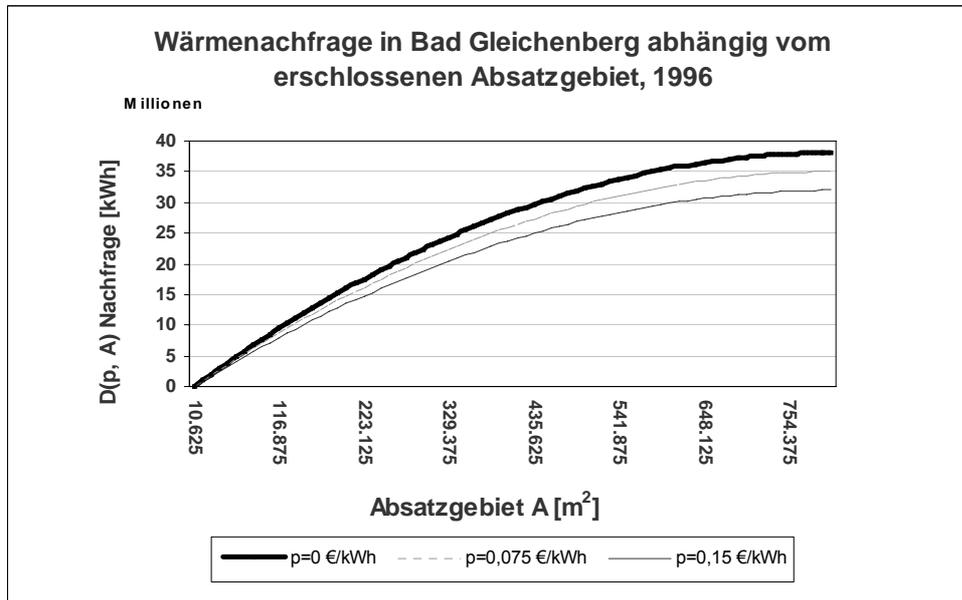
Die Wärmenachfragefunktion von Bad Gleichenberg in Abhängigkeit von Preis bzw. Absatzgebiet wird in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

Abbildung 24: Preis-Wärmenachfrage-Funktion in Bad Gleichenberg



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Wärmebedarfserhebung 1996

Abbildung 25: Absatzgebiet -Wärmenachfrage-Funktion in Bad Gleichenberg



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Wärmebedarfserhebung 1996

Aus Abbildung 24 wird der lineare Zusammenhang zwischen Nachfrage und Preis sichtbar, der auch aus Gl. 4.13 deutlich wird, da bei festgehaltenem A $\frac{\partial D(p, A)}{\partial p} = -v \times A + \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{A^2}{2}$ konstant ist. Weiters kann man aus Abbildung 24 gut die fallende Nachfragedichtefunktion erkennen: Obwohl das zusätzliche

Absatzgebiet, die zwischen den Linien liegt mit annähernd 250.000 m² gleich ist, nimmt der Abstand zwischen den Linien mit zunehmendem Absatzgebiet ab, d. h. dass immer weniger zusätzliche Nachfrage durch eine Netzausdehnung realisiert werden kann.

Die Nachfrage in Abhängigkeit vom Absatzgebiet in Abbildung 25 zeigt einen degressiv steigenden Verlauf, die Wärmenachfrage nimmt mit jedem weiteren m² Netzausdehnung zu, aber die Zunahme der Wärmenachfrage wird mit jedem weiteren m² Netzausdehnung geringer. Die maximale Wärmenachfrage in Bad Gleichenberg ist bei Ausdehnung des Fernwärmenetzes bis an den Rand des Betrachtungsraumes und bei einem Fernwärmepreis von 0 in Höhe von rund 38 GWh erzielbar. Bei einem Fernwärmepreis in Höhe des Preises des kompetitiven Substitutionsgutes kann mit einer Nachfrage von rund 32 GWh bei maximalem Absatzgebiet gerechnet werden, wenn für die Nachfrage keine anderen Einflussfaktoren (wie z. B. eine Abneigung gegen die Abhängigkeit als Folge des zentralen Energieangebots) bestehen.

5. Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung

Wie bereits erwähnt, wird in dieser Arbeit das Konzept der langfristigen Grenzkosten- und Angebotsfunktion herangezogen, mit dessen Hilfe Entscheidung z. B. über die optimale Produktionskapazität, die optimale Größe einer Maschine oder die optimale Zusammensetzung des Kraftwerksparks eines Energieversorgungsunternehmens getroffen werden können (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 145). Adaptiert wird das Konzept insofern, als dass die Produktionskapazität mit der Ausdehnung des Absatzgebietes einhergeht und damit der Zusammenhang zwischen Absatzmenge (z. B. kWh Wärme) und der Ausdehnung des Absatzgebietes einbezogen werden muss.

5.1. Kurzfristige Kosten

Da die kurzfristigen Kosten eines leitungsgebundenen Gutes nicht im Mittelpunkt dieser Untersuchung stehen, sondern lediglich zur Bestimmung der langfristigen Kostenfunktion benötigt werden, werden die kurzfristigen Kostenfunktionen hier nur im Überblick dargestellt. Bei den kurzfristigen Kosten ist, im Gegensatz zu den langfristigen Kosten, die Produktionskapazität konstant. Die kurzfristigen Gesamtkosten von netzgebundenen Gütern $STC(D)$ sind zumeist durch einen hohen Anteil an kurzfristig fixen Kosten SFC und daher durch ausgeprägte Betriebsgrößenvorteile und einen nur geringfügig steigenden Verlauf der Gesamtkostenkurve gekennzeichnet. $D(p, A_{fix})$ bezeichnet in den folgenden Gleichungen die Nachfrage bei einem fixierten Absatzgebiet A_{fix} . Es wird angenommen, dass die Produktionsmenge des Anbieters leitungsgebundener Güter genau der Nachfrage nach diesen entspricht. Die kurzfristigen variablen Kosten svc werden hier als konstant angenommen und die kurzfristigen Gesamtkosten können folgendermaßen geschrieben werden:

$$Gl. 5.1: STC(D(p, A_{fix})) = SFC + svc * D(p, A_{fix})$$

Die kurzfristigen Durchschnittskosten $SAC(D)$ ergeben sich durch die Division der Gesamtkosten durch die Menge D und die kurzfristigen Grenzkosten werden durch Ableitung der Gesamtkosten nach D bestimmt:

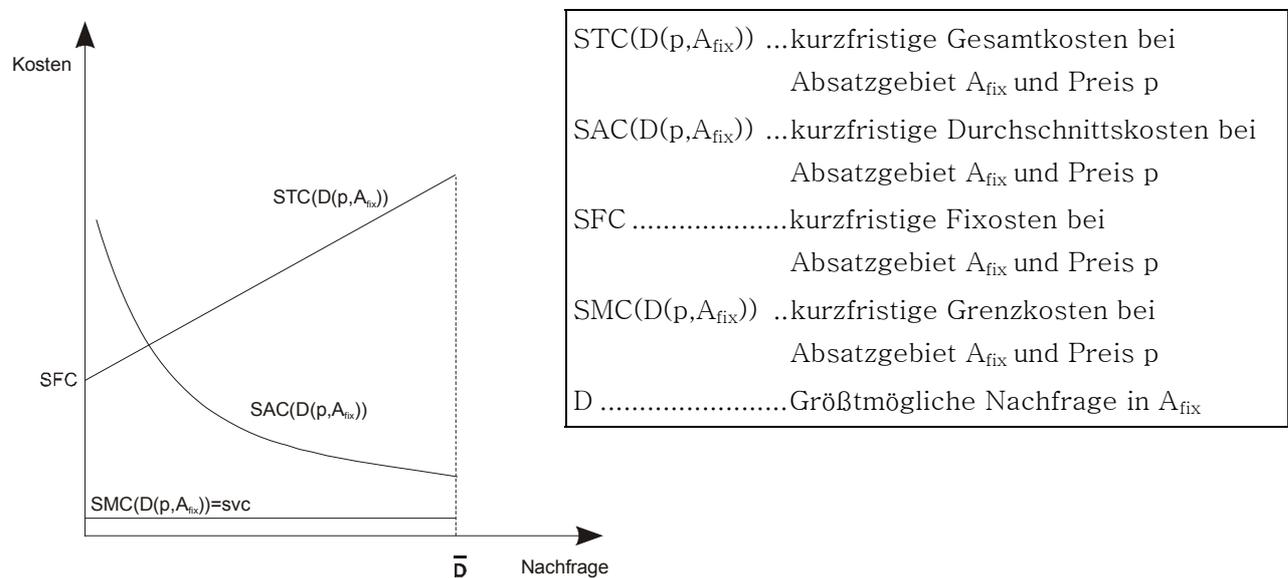
$$Gl. 5.2: SAC(D(p, A_{fix})) = \frac{STC(D(p, A_{fix}))}{D(p, A_{fix})} = \frac{SFC}{D(p, A_{fix})} + svc$$

$$Gl. 5.3: SMC(D(p, A_{fix})) = \frac{dSTC(D(p, A_{fix}))}{dD(p, A_{fix})} = svc$$

Gl. 5.3 zeigt die kurzfristigen Grenzkosten, die bei einem linearen Verlauf der Gesamtkostenkurve den variablen Kosten entsprechen.

Beispielhafte Funktionsverläufe der Gl. 5.1, Gl. 5.2 und Gl. 5.3 werden in der folgenden Graphik dargestellt.

Abbildung 26: Kurzfristige Kostenverläufe bei Absatzgebiet A_{fix}



Quelle: Eigene Konzeption

Die kurzfristigen Durchschnittskosten SAC fallen monoton mit zunehmender Produktionsmenge D und nähern sich den kurzfristigen Grenzkosten svc . Die Kurve der kurzfristigen Gesamtkosten STC beginnen auf Höhe der Fixkosten (annuisierte Investitionskosten, Kosten für Versicherungen und Wartung etc.) und steigen ab da konstant mit Steigung svc . Sämtliche Kostenfunktionen zeigen für das **natürliche Monopol** typische Kostenverläufe und brechen bei der maximalen Nachfrage $D(p, A_{fix})$ ab.

Die Fixkosten leitungsgebundener Güterbereitstellung sind aufgrund der Investitionen in das Leitungsnetz zumeist auch potentiell **versunkene Kosten**. Fixkosten sind dann „versunkene Kosten“, wenn die entsprechenden Anlagegüter keiner alternativen Verwendung zugeführt werden können bzw. wenn eine eventuelle alternative Verwendung signifikant geringere Erträge aufweisen würde. Versunkene Kosten schaffen im Gegensatz zu „reinen“ fixen

Kosten Marktzutrittsbarrieren und schränken damit auch den potentiellen Wettbewerb ein, da diese eine Asymmetrie zwischen aktuellen Marktteilnehmern und potentiellen Newcomern generieren. (in Anlehnung an Borrmann et al., 1999, S. 110–111). Es wird daher in dieser Arbeit unterstellt, dass für die hier untersuchten leitungsgebundenen Güter die Theorie der „contestable markets“ oder bestreitbaren Märkte nicht gilt⁹.

5.2. Langfristige Kosten

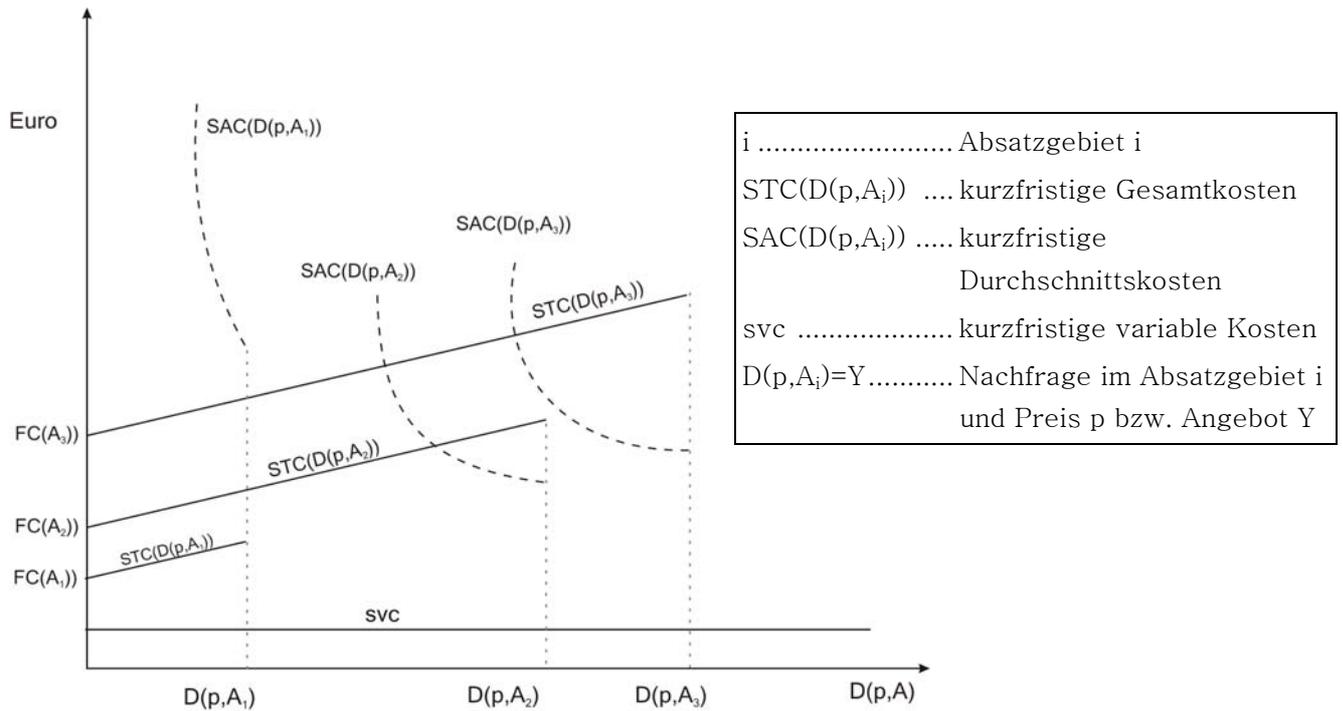
Während bei der kurzfristigen Kostenfunktion von einem konstanten, also unveränderbaren Absatzgebiet ausgegangen wird, wird bei der langfristigen Kostenfunktion eben dieses Absatzgebiet variiert. Für die Ableitung der langfristigen Kostenfunktion wird zunächst wieder die kurzfristige Kostenfunktion aus Gl. 5.1 herangezogen und eine Veränderung von A_{fix} analysiert. Die kurzfristige Kostenfunktion bei einem größeren Netz, also $A_+ > A_{\text{fix}}$ wird durch die höheren annuisierten Investitionserfordernisse jedenfalls höhere Fixkosten aufweisen. Die variablen Kosten svc sind annahmegemäß konstant und verändern sich nicht bei einem weiterausgedehnten Netz¹⁰. Unter der Annahme, dass die kurzfristigen Fixkosten SFC nur durch das Absatzgebiet bestimmt sind (siehe dazu Kapitel 3.3 Annahmen) können die kurzfristigen Gesamtkosten bei einem bestimmten Absatzgebiet A_i daher auch geschrieben werden als: $STC(D(p, A_i)) = FC(A_i) + \text{svc} \times D(p, A_i)$, wobei $FC(A_i)$ die annuisierten Kosten des Absatzgebietes A_i zeigt.

Die folgende Abbildung zeigt die kurzfristigen Kostenfunktionen bei unterschiedlichen Absatzgebieten.

⁹ Vgl. Baumol et al., 1988, S. 57.

¹⁰ Die potentielle Nachfrage verändert sich zwar, wenn sich die Netzausdehnung A verändert, die variablen Kosten pro Leistung bleiben jedoch konstant svc .

Abbildung 27: Kurzfristige Gesamt-, Grenz- und Durchschnittskostenverläufe bei unterschiedlichen Absatzgebieten



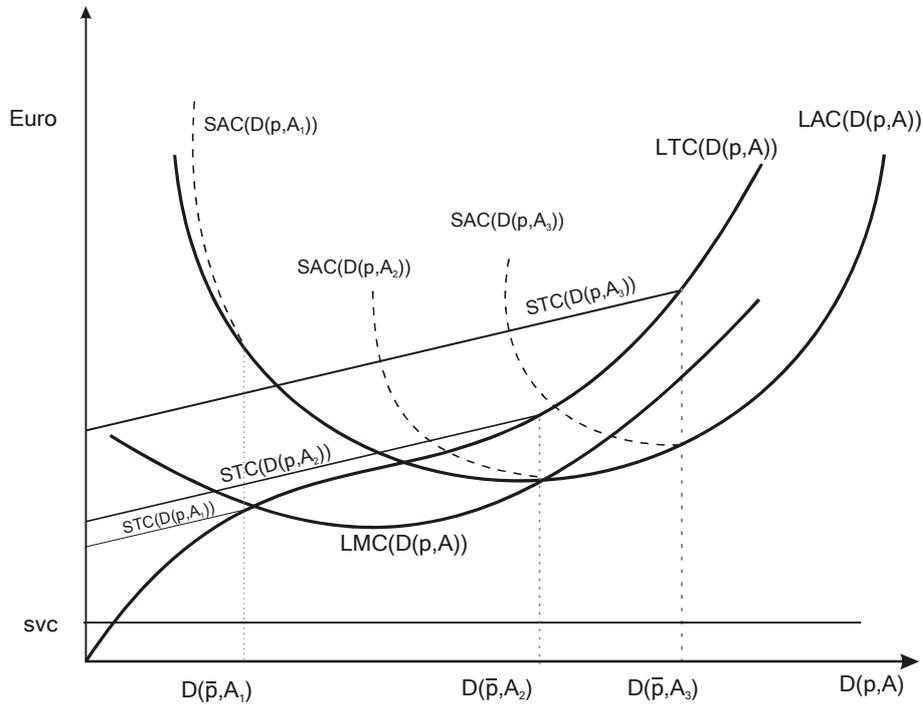
Quelle: Eigene Konzeption

Die langfristige Kostenkurve umhüllt nun (wie in Kapitel 2 Theoretische Grundlagen beschrieben) die kurzfristigen Funktionen durch Verbinden der Punkte mit den geringsten Durchschnittskosten. Die Punkte mit den geringsten Durchschnittskosten liegen immer bei der für das Absatzgebiet A_i und Preis p maximal erzielbaren Nachfrage $D(p, A_i)$ bzw. bei $STC(D(p, A_i)) = FC(A_i) + svc \times D(p, A_i)$. Die langfristigen Kosten bei variablem Preis p und Absatzgebiet A lassen sich damit folgendermaßen darstellen:

$$Gl. 5.4: LTC(D(p, A)) = STC(D(p, A)) = FC(A) + svc * D(p, A)$$

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die kurzfristigen und langfristigen Kostenfunktionen bei einem bestimmten Preisniveau \bar{p} .

Abbildung 28: Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktionen



Quelle: Eigene Konzeption

Der konkrete Verlauf der langfristigen Kostenfunktion hängt ab vom Zusammenhang

- langfristige Kosten und Nachfragefunktion
- langfristige Kosten und Absatzgebiet
- langfristige Kosten und Preis.

5.2.1. Zusammenhang langfristige Kosten und Nachfrageverlauf

Der Verlauf der Nachfragefunktion bei linear fallender Nachfragefunktion wurde bereits in Kapitel 4 Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern mit

$$D(p, A) = \rho_2 \times A - v \times p \times A - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p \right) \times \frac{A^2}{2} = (\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p)}{2} \times A^2$$

$$0 \geq p \leq pc \text{ und } \rho_1, \rho_2 > 0,$$

ρ_2 = Nachfragedichte im Zentrum bei $p=0$ und

ρ_1 = Abnahme der Wärmedichte je m^2 ausgehend vom Zentrum bei $p=0$.

hergeleitet. Durch einsetzen von $D(p, A)$ in Gl. 5.4 lassen sich die langfristigen Gesamtkosten bei linear fallender Nachfragedichte $D'(p, A)$ und linear steigenden Erschließungskosten $FC(A)$ darstellen als:

$$Gl. 5.5: LTC(D(p, A)) = FC(A) + svc \times ((\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{2} \times p) \times \rho_2}{2} \times A^2)$$

Aufgrund des Zusammenhanges zwischen Absatzgebiet A und Nachfrage $D(p, A)$ muss die Veränderung der langfristigen Kosten in Abhängigkeit von der Nachfrage ermittelt werden aus:

$$\frac{\partial LTC(D(p, A))}{\partial D(p, A)} = \frac{\frac{\partial LTC(D(p, A))}{\partial A}}{\frac{\partial D(p, A)}{\partial A}} > 0 \text{ da sowohl die Nachfragedichte}$$

$$\frac{\partial D(p, A)}{\partial A} > 0 \text{ als auch } \frac{\partial LTC(D(p, A))}{\partial A} > 0.$$

5.2.2. Zusammenhang langfristige Kosten und Absatzgebiet

Der Funktionsverlauf der Fixkosten bzw. der Erschließungskosten $FC(A)$ weist mit großer Wahrscheinlichkeit eine positive Steigung auf, da eine Vergrößerung des Absatzgebietes mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Die Steigung kann

- Linear, bei konstanten Grenzkosten des Absatzgebietes
- Degressiv, bei fallenden Grenzkosten des Absatzgebietes bzw. wenn jede weitere Vergrößerung des Absatzgebietes weniger kostet als die bisherige Ausdehnung
- Progressiv, bei steigenden Grenzkosten des Absatzgebietes bzw. wenn jede weitere Vergrößerung des Absatzgebietes mehr kostet als die bisherige Ausdehnung¹¹

ausfallen.

¹¹ Der progressiv ansteigende Verlauf ist eher unwahrscheinlich, da bei der Ausdehnung des Netzes ausgehend vom Zentrum in Region mit geringerer Nachfragedichte und damit zumeist auch geringer Bevölkerungsdichte, geringer Bebauungsdichte und geringerem Versiegelungsgrad die Kosten für die Netzausdehnung je weiterem m^2 eher sinken als ansteigen.

Nehmen wir zur Vereinfachung konstante Grenzkosten des Absatzgebietes an, d. h. jede Vergrößerung des Netzgebietes kostet konstant $\tau \text{ €/m}^2$. Die von der Netzausdehnung bzw. dem Absatzgebiet abhängigen Fixkosten können daher geschrieben werden als $FC(A) = \tau \times A$ und die kurzfristigen Kostenfunktionen können formuliert werden als $STC(D(p, A_{fix})) = \tau \times A_{fix} + \text{svc} \times D(p, A_{fix})$ und die langfristigen Kosten lassen sich folgendermaßen darstellen:

$$LTC(D(p, A)) = STC(D(p, A)) = FC(A) + \text{svc} \times D(p, A) =$$

$$\begin{aligned} \text{Gl. 5.6:} \quad & (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p) \\ & = \tau \times A + \text{svc} \times ((\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{\rho_2}{2} \times A^2) \end{aligned}$$

$LTC(D(p, A))$ wächst degressiv mit wachsendem Absatzgebiet denn

$$\begin{aligned} \frac{\partial LTC(D(p, A))}{\partial A} &= \frac{\partial(\tau \times A + \text{svc} \times ((\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{\rho_2}{2} \times A^2))}{\partial A} \\ &= \tau + \text{svc} \times ((\rho_2 - v \times p) - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p) \times A) = \tau + \text{svc} \times \frac{\partial D(p, A)}{\partial A} > 0 \end{aligned}$$

für $\tau > 0$

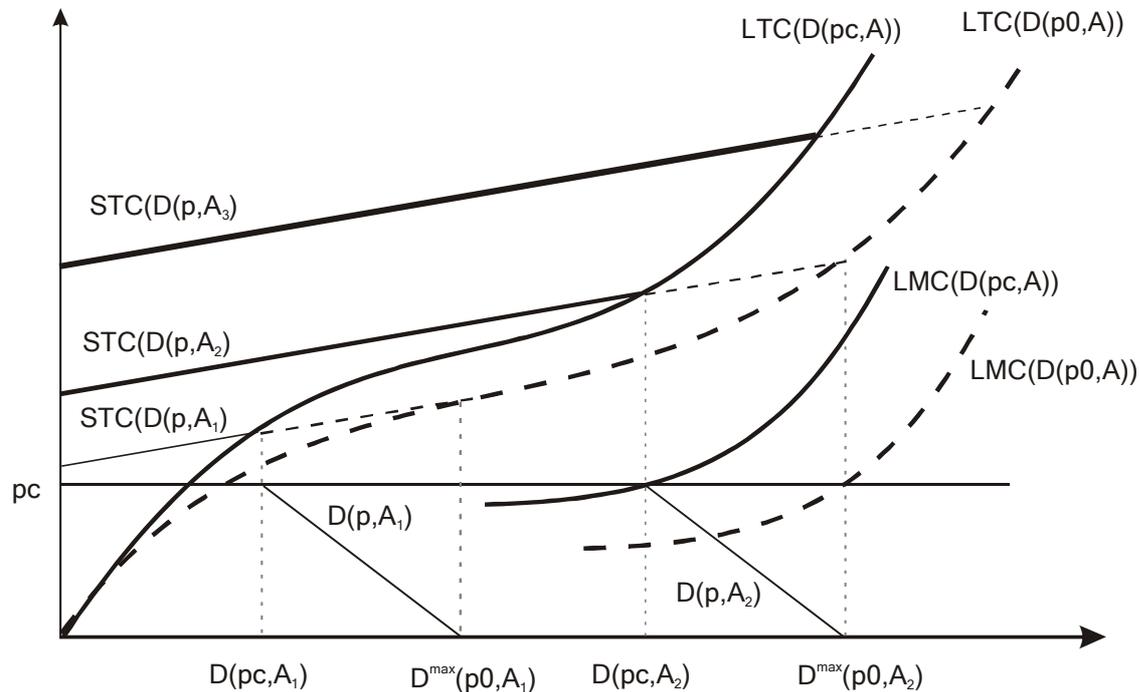
und

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 LTC(D(p, A))}{\partial A^2} &= \frac{\partial^2(\tau + \text{svc} \times \frac{\partial D(p, A)}{\partial A})}{\partial A^2} \\ &= \text{svc} \times \frac{\partial^2 D(p, A)}{\partial A^2} = \text{svc} \times (-(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p)) < 0 \end{aligned}$$

5.2.3. Zusammenhang langfristige Kosten und Preis

In Gl. 5.6 wird deutlich, dass die langfristigen Kosten auch vom Preis p der Leistung abhängen. Bei einem höheren Preis $p+$ als p ist die bei einem Absatzgebiet A_i erreichbare maximale Nachfrage geringer, damit sind die minimalen Durchschnittskosten höher und damit verläuft die, in den Punkten der minimalen Durchschnittskosten umhüllenden, langfristige Kostenfunktion bei $p+$ oberhalb der langfristigen Kostenfunktion bei Preis p . Die folgende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang für $p=0$ und $p=p_c$ beispielhaft bei zwei unterschiedlichen Absatzgebieten A_1 und A_2 .

Abbildung 29: Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktion bei unterschiedlichen Preisen



Quelle: Eigene Konzeption

In obiger Abbildung sieht man die kurzfristigen Kostenfunktionen und die Preis-Nachfrage-Funktionen für zwei unterschiedliche Absatzgebiete. Bei einem Preis von 0 (p_0) kann für jedes Absatzgebiet die maximale Nachfrage $D^{\max}(p_0, A_i)$ abgesetzt werden. Die langfristige Kostenfunktion $LTC(D(p_0, A))$ umhüllt damit die kurzfristigen Kostenfunktionen an deren Enden im Punkt $STC(D(p_0, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_0, A_i)$ und wird in obiger Abbildung als unterbrochene Linie dargestellt. Bei einem Preis in Höhe von p_c ist die Nachfrage bei einem bestimmten Absatzgebiet geringer und liegt bei $D(p_c, A_i)$. Die beim Absatzgebiet A_i maximal absetzbare Menge liegt damit bei $D(p_c, A_i) < D^{\max}(p_0, A_i)$ für $p_c > p_0$ und die damit verbundenen Durchschnittskosten $LAC(D(p_c, A_i))$ sind höher als bei p_0 . Die langfristige Gesamtkostenkurve kann nun nicht mehr durch die Punkte $STC(D(p_0, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_0, A_i)$ gehen, sondern durch die Punkte $STC(D(p_c, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_c, A_i)$ und liegt somit oberhalb der langfristigen Gesamtkosten bei p_0 . Die langfristigen Gesamtkosten bei einer bestimmten Absatzmenge D sind damit umso höher, je höher der Preis für D bzw. je elastischer die Nachfrage auf Preisveränderungen reagiert, da bei gleichem Absatzgebiet nur weniger Menge abgesetzt werden kann und umgekehrt.

5.3. Kurzfristige und Langfristige Kostenfunktionen für Bad Gleichenberg

Die langfristige Kostenfunktion aus Gl. 5.6 wird auch für das Fallbeispiel Bad Gleichenberg herangezogen:

$$\begin{aligned} LTC(D(p, A) = FC(A) + svc \times D(p, A) = \\ = \tau \times A + svc \times \left((\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{2} \times p)}{\frac{\rho_2}{2}} \times A^2 \right) \end{aligned}$$

Aus den bisher angestellten Überlegungen sind die Werte für v , ρ_1 , und ρ_2 für Bad Gleichenberg bekannt (siehe Kapitel 4.3.2 Nachfrage, Absatzgebiet und Preis im Fallbeispiel Bad Gleichenberg):

- $v=100,9$
- $\rho_1=0,0001189$
- $\rho_2=95,13$

τ und svc werden im Folgenden abgeschätzt:

Erschließungskosten bzw. Grenzkosten des Absatzgebietes

τ bezeichnet die Erschließungskosten, das sind die Kosten für die Ausdehnung des Absatzgebietes. Da Kosten in dieser Form für Biomasse-Nahwärmeversorgungen nicht unmittelbar aus der Literatur übernommen werden können, wurden Kostenabschätzungen aus bestehenden Studien und aus konkreten Projektplanungen herangezogen und in Kosten je m^2 umgelegt.

Die Investitionskosten von Biomasse-Nahwärmeversorgungssystemen setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen.

- Kosten für die technischen Einrichtungen (Kessel, Rauchgasreinigung, Ascheausbringung, Brennstofftransport, etc.)
- Kosten des Leitungsnetzes
- Kosten für bauliche Anlagen
- Projektvorbereitungs- und -planungskosten

Wie in Starzer et al. (2000, S. 15) oder Rakos (1995, S. 23) ersichtlich, variieren die Investitionskosten für Biomassenahwärmeversorgungen beträchtlich. Die Gesamtinvestitionskosten betragen rund 830 Euro pro kW installierter Kesselleistung. Davon entfallen mehr als 40 % auf das

Leitungsnetz, 30 % auf die technische Ausrüstung, 25 % auf bauliche Anlagen und rund 5 % auf Projektvorbereitung und Planung. Die Kosten des Leitungsnetzes betragen rund 200 Euro/m Trassenlänge (siehe Starzer et al., 2000, S. 23). Aufgrund der in Starzer et al. (2000, S. 23) ausgewiesenen Netzkosten je kW (332 Euro / kW bzw. 40 % von 830 Euro kW) und der Netzkosten je Laufmeter (200 Euro / lfm) kann von einer durchschnittlichen Netzlänge von 1,66 lfm Trassenlänge je kW installierter Leistung ausgegangen werden. Die durchschnittlichen Gesamtkosten einer Biomasse-Nahwärmeversorgung belaufen sich damit auf 500 Euro pro Laufmeter Trassenlänge (830 Euro je kW / 1,66 lfm je kW).

Kostenaufstellungen realisierter Biomasse-Nahwärmeversorgungsanlagen bestätigen den Wert von rund 500 Euro Investitionskosten pro Laufmeter Trassenlänge: Die Kosten der Nahwärmeversorgung in Gnas betragen z. B. rund 470 Euro/lfm und die Kosten der Biomasse-Fernwärme der E. u. B. GmbH liegen bei rund 570 Euro/lfm Trassenlängen.

Unter der Annahme, dass mit einem Laufmeter Trassenlänge ein Gebiet von rund zehn m² versorgt werden kann entstehen Kosten in Höhe von fünfzig Euro je m² versorgtem Gebiet. Können nur zwei m² mit einem Laufmeter Trassenlänge versorgt werden, liegen die Erschließungskosten bei rund 250 Euro je m². Bei einer Nutzungsdauer von rund fünfzig Jahren (siehe dazu ÖKL Merkblatt 67) liegen die annuisierten Investitionskosten je m² Absatzgebiet zwischen ein und fünf Euro je m². Zusätzlich zu den Investitionskosten fallen bei Biomassenahwärmesystemen weitere Fixkosten pro Jahr in Form von Personalkosten, Versicherungen, Wartungen etc. an. Diese jährlichen Fixkosten werden mit 20 % der annuisierten Investitionskosten oder ein Euro je m² Absatzgebiet abgeschätzt.

Für τ wird daher in weiterer Folge ein Wert von sechs Euro je m² angenommen.

Variable Kosten

Für die variablen Kosten s_{vc} werden in erster Linie die Kosten für Hackschnitzel herangezogen: Die Preise für Hackschnitzel betragen derzeit zwischen 10 und 17 Euro /m³ (gemäß Preisanfragen bei dem Hackschnitzellieferanten Biomassehof Waldstein, Graz und dem Betreiber des Biomassenahwärmeheizwerk in Kleinebersdorf/Niederösterreich), ohne Zustellung. Der Heizwert eines m³ Hackschnitzel ist von der Qualität (Trockenheit, Größe der Hackschnitzel) abhängig und wird hier mit 800 kWh/m³ angenommen. Eine kWh Hackschnitzel kostet damit zwischen 0,0125 Euro/kWh und 0,02125 Euro/kWh. Die 0,02125 Euro/kWh beziehen sich allerdings auf die in den Hackschnitzeln enthaltene Brennstoffwärme. Im Heizwerk werden die Hackschnitzel in Wärmeenergie umgewandelt, die auf

den Energieträger Warmwasser für den Transport zu den Abnehmern übertragen wird. Die bei der Umwandlung und beim Transport zu den Abnehmern entstehenden Energieverluste müssen auch vom Betreiber des Heizwerks getragen werden und erhöhen somit die variablen Kosten pro produzierter und abgesetzter kWh Heizenergie. Es wird hier ein Jahresnutzungsgrad von Biomasseheizwerken in Höhe von 80 % unterstellt. Die Brennstoffkosten für die Produktion und den Transport einer kWh Wärme betragen somit rund 0,02656 Euro pro kWh.

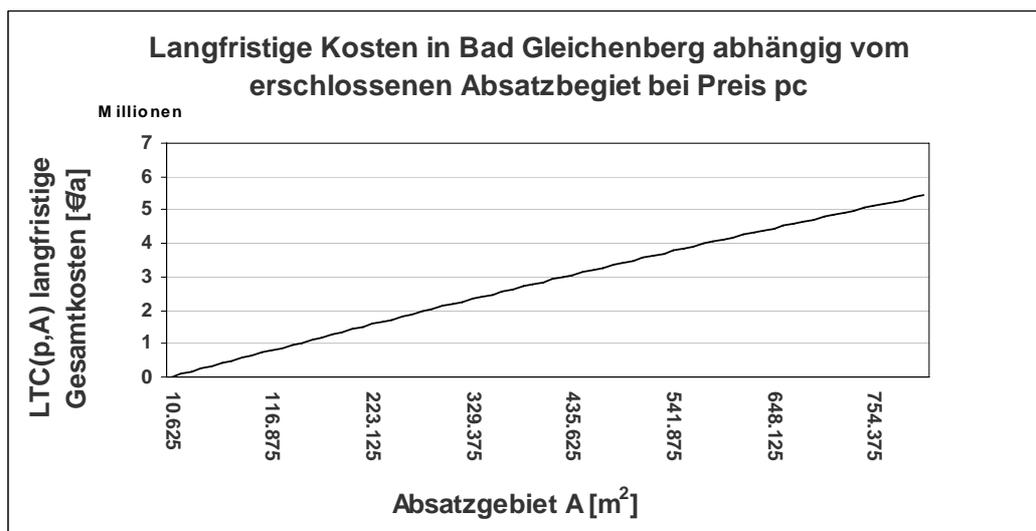
Neben den reinen Brennstoffkosten fallen auch noch Kosten für den Transport der Hackschnitzel zum Biomasseheizwerk und weitere variable Kosten wie z. B. Strom für Pumpanlagen an. Diese zusätzlichen Kosten werden in Höhe von 20 % der Brennstoffkosten abgeschätzt. Insgesamt werden die variablen Kosten zur Bereitstellung einer kWh Wärmeenergie durch Biomassenahwärmesysteme svc in Höhe von 0,03187 Euro/kWh angenommen.

Die langfristige Kostenfunktion für Bad Gleichenberg hat damit folgende Form:

$$LTC(D(p,A)) = 6 \times A + 0,03187 \times ((95,13 - 100,9 \times p) \times A - \frac{(0,0001189 - \frac{100,9 \times 0,0001189}{95,13} \times p)}{2} \times A^2)$$

Die folgende Abbildung zeigt die langfristige Kostenfunktion für die Gemeinde Bad Gleichenberg, abhängig vom Absatzgebiet.

Abbildung 30: Langfristige Kosten abhängig vom Absatzgebiet in Bad Gleichenberg



Quelle: Eigene Konzeption

Obige Abbildung zeigt den zuvor hergeleiteten, in A quadratisch steigenden, Verlauf der langfristigen Gesamtkostenkurve in Bad Gleichenberg.

6. Optimierung

In vorangegangenen Kapiteln wurden die theoretischen Grundlagen geschaffen, Nachfrage- und Nachfragedichte der leitungsgebundenen Güterbereitstellung abhängig vom Absatzgebiet des Leitungsnetzes diskutiert und kurz- sowie langfristige Kostenfunktionen hergeleitet. In diesem Kapitel werden die zuvor generierten Informationen zusammengefasst und das optimale Absatzgebiet und Allokation leitungsgebundener Güterbereitstellung aus einzel- und volkswirtschaftlicher Sicht analysiert.

Die Optimierung des Absatzgebietes leitungsgebundener Güterbereitstellung ist eng mit dem Problem der Produktionskapazität- oder Betriebsgrößenplanung verwandt, die mit Hilfe des Konzepts der langfristigen Kosten- bzw. Gewinnfunktion durchgeführt wird (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 183 – 205). Bei der „klassischen“ Produktionskapazitätenplanung wird die optimale Produktionskapazität in Produktionseinheiten ermittelt, zur Bestimmung des gewinnmaximierenden Absatzgebietes einer netzgebundenen Güterbereitstellung interessiert hingegen die Maximierung des Gewinnes bezüglich des *Absatzgebietes*.

Um das klassische Konzept der langfristigen Kosten für Netzoptimierungen heranziehen zu können, muss daher ein Konnex zwischen Absatzgebiet und absetzbaren Produktionseinheiten geschaffen werden. Dieser zwischen dem Absatzgebiet und den „Produktionseinheiten“ bzw. Gütern bestehende Zusammenhang wird durch die *Nachfragedichte im Raum* beschrieben. Die Nachfrage in Abhängigkeit vom Absatzgebiet ist im Detail in Kapitel 4 Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern beschrieben. Kurz zusammengefasst gilt:

- Die Nachfragedichtefunktion zeigt die Nachfrage je m^2 in Abhängigkeit vom Absatzgebiet. Im Zentrum einer Ortschaft ist z. B. die Nachfragedichte am höchsten, weil die Bevölkerungsdichte am höchsten ist. Bei zunehmendem Absatzgebiet ausgehend vom Zentrum nimmt die Nachfragedichte häufig ab. Die gesamte Nachfrage bei einem bestimmten Absatzgebiet A errechnet sich nun durch Addition (bzw. Integration) sämtlicher Nachfragedichten im Gebiet A. Wie bei der Dichte- und Verteilungsfunktion in der Wahrscheinlichkeitsrechnung ergibt sich die Nachfragefunktion daher durch Integration der Nachfragedichtefunktion.
- Die Nachfragedichte- und Nachfragefunktion hängen (wie jede Nachfragefunktion) vom Preis ab und sind außerdem durch regionsspezifische Parameter wie z. B. die Bevölkerungsdichte charakterisiert. Im Vergleich zu einer herkömmlichen ökonomischen Optimierung gehen bei der hier vorgestellten Netzoptimierung neben den spezifischen Kosten der Güterbereitstellung **auch Parameter, die regionsspezifische Strukturen beschreiben (Strukturparameter)** in die Optimierung als unabhängige Variable ein.

Im Folgenden werden die notwendigen Adaptierungsschritte des klassischen Konzeptes der Kapazitäts- oder Produktionskapazitätenplanung zur Lösung der hier diskutierten Problemstellung (räumliche Optimierung netzgebundener Güterbereitstellung) durchgeführt. Zuerst wird der optimale Produktionsplan für eine gegebene Produktionskapazität oder ein bestimmtes Absatzgebiet aus einzelwirtschaftlichen und unter wohlfahrtsökonomischen Gesichtspunkten hergeleitet. Dies entspricht einer kurzfristigen Betrachtung, da das Absatzgebiet nicht veränderbar angenommen wird. Im Anschluss daran wird das optimale Absatzgebiet aus einzelwirtschaftlichen sowie unter wohlfahrtsökonomischen Gesichtspunkten analysiert. Dies entspricht einer langfristigen Betrachtung, da langfristig gesehen auch das Absatzgebiet variiert werden kann. Es werden also 4 unterschiedliche Optimierungssituationen beleuchtet:

Abbildung 31: Optimierungssituationen

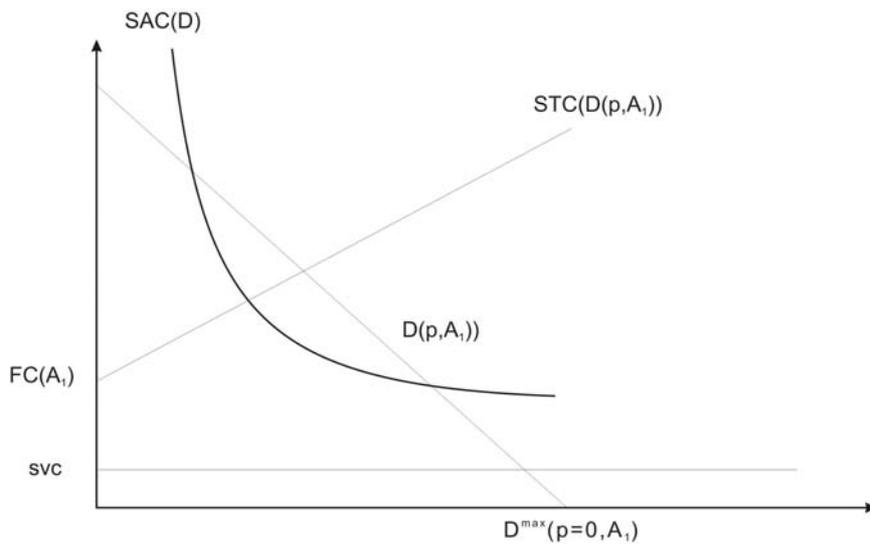
Zeitlicher Horizont der Betrachtung / Entscheidungsträger oder Zielsystem	Kurzfristig, Absatzgebiet fix	Langfristig, Absatzgebiet variabel
Einzelwirtschaftlich	Gewinnmaximierung durch optimale Wahl von Preis und Menge	Gewinnmaximierung durch optimale Wahl des Absatzgebietes
Volkswirtschaftlich	Maximierung des sozialen Überschusses durch optimale Wahl von Preis und Menge	Maximierung des sozialen Überschusses durch optimale Wahl des Absatzgebietes

Quelle: Eigene Darstellung

6.1. Optimaler Produktionsplan bei fixem Absatzgebiet – kurzfristige Betrachtung

Die bereits in den Kapiteln 4 und 5 (Nachfrage und Kosten leitungsgebundenen Güterbereitstellung) beschriebenen funktionalen Zusammenhänge werden in der folgenden Abbildung integriert dargestellt und im Anschluss daran diskutiert:

Abbildung 32: Kurzfristige Nachfrage- und Kostenfunktion bei Absatzgebiet A1



Quelle: Eigene Darstellung

Die Nachfragefunktion $D(p, A_1)$ bei Absatzgebiet A_1 verläuft linear fallend. Die maximale Nachfrage $D^{\max}(p=0, A_1)$ bei Absatzgebiet A_1 ist bei einem Preis von 0 erreicht. Die kurzfristigen Gesamtkosten $STC(D(p, A_1))$ setzen sich aus den

- Fixkosten $FC(A_1)$ - das sind im wesentlichen die annuisierten Raumer-schließungskosten für das Absatzgebiet A_1 - und den
- kurzfristigen variablen Kosten svc je bereitgestellter Leistung zusammen.

Die kurzfristigen Durchschnittskosten $SAC(D)$ zeigen den bereits diskutierten fallenden Verlauf oberhalb der Grenzkosten.

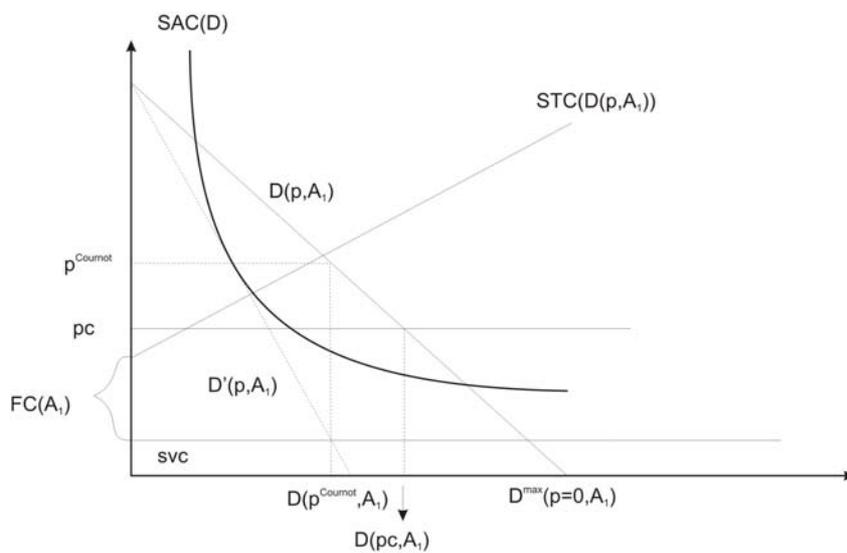
6.1.1. Kurzfristige Gewinnmaximierung aus einzelwirtschaftlicher Sicht

Wie bereits diskutiert handelt es sich bei einer leitungsgebundenen Güterbereitstellung aufgrund der fallenden Grenzkosten um ein natürliches Gebietsmonopol. Der Netzbetreiber kann daher wie ein Monopolist agieren und das Gewinnmaximum durch gleichsetzen des Grenzerlöses mit den Grenzkosten erzielen (siehe dazu Kapitel 2 Theoretische Grundlagen). Aus einzelwirtschaftlicher Sicht wird damit als optimaler Produktionsplan der Cournotpreis p^{Cournot} und die dazugehörige Menge $D(p^{\text{Cournot}}, A_1)$ gewählt (siehe Abbildung 33).

Wird allerdings – wie im hier untersuchten Fall – ein kompetitives Substitutionsgut zu einem Preis p_c angeboten und liegt der Preis des kompetitiven Substitutionsgutes unter dem Cournotpreis, kann p^{Cournot} nicht realisiert werden, da annahmegemäß bei höheren Preisen für das leitungsgebundene Gut im Vergleich zum preisgünstigsten Substitutionsgut die Nachfrage ausschließlich durch das Substitutionsgut gedeckt wird. In diesem Fall wird der Monopolist p_c und die dazugehörige Menge $D(p_c, A_1)$ als optimalen Produktionsplan wählen denn:

- ab dem Cournotpunkt bringt jede weitere produzierte Einheit weniger ein, als die zusätzliche Einheit kostet, da ab diesem Punkt der Grenzerlös kleiner ist als die Grenzkosten. Der Monopolist wird damit zum höchstmöglichen Preis p_c (und nicht darunter) anbieten, solange der Preis p_c über den Durchschnittskosten liegt ($p_c > SAC(D(p, A_1))$).
- ein höher Preis als p_c ist nicht möglich, da die Nachfrage aufgrund des Angebots des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes wegbrechen würde.

Abbildung 33: Optimaler Produktionsplan aus einzelwirtschaftlicher Sicht bei Vorhandensein eines kompetitiven Substitutionsgutes zum Preis p_c



Quelle: Eigene Darstellung

Obige Abbildung zeigt, dass sich der Monopolist wie ein Preisnehmer am Markt mit vollständiger Konkurrenz bei einem Gleichgewichtspreis p_c verhält, solange der Preis des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes unter dem Cournotpreis und über den Durchschnittskosten $SAC(D)$ liegt. Anders betrachtet: p_c wirkt wie ein Maximalpreis für die leitungsgebundenen Güter.

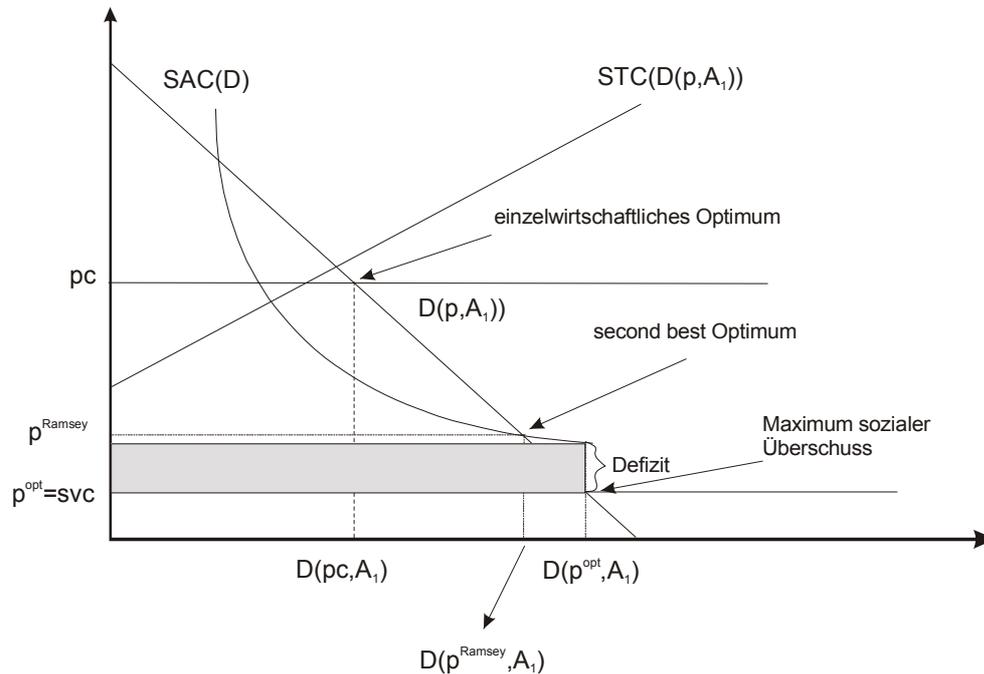
Fazit: Bei gegebenem Absatzgebiet A_1 liegt der optimale Produktionsplan aus einzelwirtschaftlicher Sicht beim Preis p_c und der Menge $D(p_c, A_1)$, wenn der Preis p_c über den Durchschnittskosten der leitungsgebundenen Güter und unter dem Cournotpreis liegt ($p^{\text{Cournot}} > p_c \geq \text{SAC}(D(p_c, A_1))$).

6.1.2. Kurzfristige Gewinnmaximierung aus wohlfahrtsoptimaler Sicht

Der wohlfahrtsoptimale Preis, bei dem der soziale Überschuss am größten ist, liegt bei p^{opt} und $D(p^{\text{opt}}, A_1)$, wo die Preis-Nachfragefunktion gleich den Grenzkosten svc ist (siehe dazu Kapitel 2 Theoretische Grundlagen und in der folgenden Abbildung). Allerdings verursacht dieses Optimum (wie in der Literatur vielfach beschrieben, siehe z. B. Borrmann et al. (1999, S. 163) oder Schumann et al. (1999, S. 292)) ein Defizit, da die Durchschnittskosten bei Menge $D(p^{\text{opt}}, A_1)$ größer sind als der erzielbare Preis p^{opt} . Die „second best“ oder Ramsey Preise liegen dort, wo der Preis den Durchschnittskosten entspricht, also bei p^{Ramsey} bzw. die Absatzmenge bei $D(p^{\text{Ramsey}}, A_1)$. Liegt p_c unter p^{Ramsey} sollte im Hinblick auf die soziale Wohlfahrt die Nachfrage nicht mit dem leitungsgebundenen Gut, sondern mit dem preisgünstigsten Substitutionsgut gedeckt werden, denn dann liegen die durchschnittlichen Kosten des leitungsgebundenen Gutes über den Kosten für das preisgünstigste kompetitive Substitutionsgut¹².

¹² Da die kompetitiven Substitutionsgüter Annahmegemäß vollständiger Konkurrenz unterliegen, entsprechen die Preise p_c den Grenzkosten der Produktion dieser Substitutionsgüter.

Abbildung 34: Kurzfristige Nachfrage- und Kostenfunktion, second best Optimum und Optimum bei Vorhandensein kompetitiver Konkurrenzgüter



Quelle: Eigene Darstellung

Fazit: Der optimale Produktionsplan bei Absatzgebiet A_1 liegt aus wohlfahrtsorientierter Sicht beim Punkt $p^{\text{opt}} = \text{svc}$ und $D(p^{\text{opt}}, A_1)$. Bei kurzfristiger Betrachtung deckt sich damit der optimale Produktionsplan aus einzelwirtschaftlicher und wohlfahrtsorientierter Sicht nicht. Aus einzelwirtschaftlicher Sicht wird ein höherer Preis ($p_c > p^{\text{opt}}$) und eine geringere Menge ($D(p_c, A_1) < D(p^{\text{opt}}, A_1)$) als im Wohlfahrtsoptimum angeboten. Der optimale Produktionsplan bei Absatzgebiet A_1 liegt aus wohlfahrtsorientierter Sicht unter der Nebenbedingung der Kostendeckung beim Punkt $p^{\text{Ramsey}} = \text{SAC}(D(p^{\text{Ramsey}}, A_1))$ und $D(p^{\text{Ramsey}}, A_1)$.

6.2. Optimales Absatzgebiet – langfristige Betrachtung

Bei der langfristigen Betrachtung kann neben Preis und Menge vor allem über das Absatzgebiet entschieden werden. Im Gegensatz zur herkömmlichen ökonomischen Optimierung sind daher hier nicht nur Menge und Preis zu bestimmen, um ein Optimum zu erreichen. Es geht vielmehr eine dritte unabhängige Variable in die Optimierungsaufgabe ein: das Absatzgebiet A eines Leitungsnetzes.

Die Optimierung des Absatzgebietes der leitungsgebundenen Güterbereitstellung ist eng mit dem Problem der Kapazitäts- oder Produktionskapazitätenplanung verwandt, die mit Hilfe des Konzepts der langfristigen Kosten- bzw. Gewinnfunktion durchgeführt wird (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 183 – 205). Bei der Produktionskapazitätenplanung wird die optimale Produktionskapazität in „Produktionseinheiten“ ermittelt. Zur Bestimmung des gewinn- oder wohlfahrtsmaximierenden Absatzgebietes einer netzgebundenen Güterbereitstellung interessiert hingegen die *Maximierung des Gewinnes oder des sozialen Überschusses aus der Netzinvestition und dem -betrieb..*

Das klassische Konzept der langfristigen Kosten kann für Netzoptimierungen nicht unmittelbar herangezogen werden, da der hier untersuchte Fall einer netzgebundenen Güterbereitstellung im Vergleich zum „klassischen“ Modell drei grundlegend unterschiedliche Eigenschaften aufweist:

1. Aufgrund des linearen und am Ende des Absatzgebietes abrupt abbrechenden Verlaufs der kurzfristigen Kostenkurven (siehe dazu Abbildung 35) entsprechen die langfristigen Grenzkosten nicht den kurzfristigen Grenzkosten. Die Grenzkosten im langfristigen Optimum entsprechen somit auch nicht den Grenzkosten im kurzfristigen Optimum. Damit kann es bei der langfristigen Entscheidung zu einem anderen Optimum als bei kurzfristiger Entscheidung kommen und damit zu unterschiedlichen langfristigen Kostenfunktionen!
2. Die Nachfrage und damit der Grenzerlös sind nicht nur vom Preis, sondern auch vom Absatzgebiet abhängig, und es gibt langfristig somit zu jedem Absatzgebiet eine Nachfragefunktion.
3. Die Bedingung Grenzerlös = Grenzkosten kann nur dann herangezogen werden, wenn der Preis des preisgünstigsten Substitutionsgutes p_c über dem Cournotpreis liegt. Liegt p_c annahmegemäß unter dem Cournotpreis, wird – wie wir aus der kurzfristigen Optimierung wissen – p_c und die dazugehörige Menge $D(p_c, A_i)$ aus einzelwirtschaftlicher Sicht gewählt.

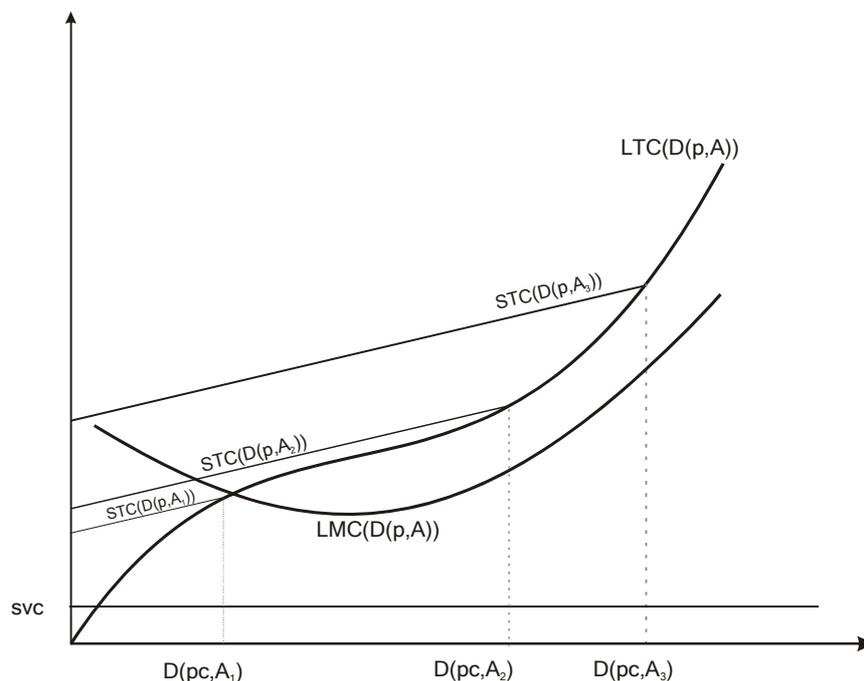
Im Folgenden wird auf diese drei Unterschiede näher eingegangen.

Abruptes Abrechen der Gesamtkostenfunktion

Der oben genannte erste Unterschied – die kurzfristige Gesamtkostenfunktion $STC(D(p, A_i))$ ist durch ein abruptes Abbrechen am Ende der Netzgrenze (A_i) gekennzeichnet, da innerhalb des Absatzgebietes nur eine bestimmte, begrenzte Absatzmöglichkeit für das leitungsgebundene Gut gegeben ist – bewirkt, dass die umhüllende langfristige Gesamtkostenkurve $LTC((D(p, A_i))$ die kurzfristigen Kostenfunktionen an den Punkten bei maximalem Absatz verbindet, da dort die Kosten für das jeweilige Absatzgebiet am geringsten

sind (siehe Abbildung 35). Gleiches gilt für die Durchschnittskostenkurven. Die Grenzkosten an den Absatzgrenzen sind jedoch nicht definiert, da die kurzfristigen Gesamtkostenkurven in diesen Punkten nicht mehr stetig verlaufen und damit entsprechen die kurzfristigen Grenzkosten – anders als z. B. bei dem in Schumann et al., 1999, S 183 – 205 beschriebenen Modell – nicht mehr den langfristigen Grenzkosten! Die folgende Abbildung zeigt das abrupte Abbrechen der kurzfristigen Kostenfunktionen und die daraus resultierende langfristige Gesamtkostenfunktion sowie die langfristige Grenzkostenkurve.

Abbildung 35: Ableitung der langfristigen aus den kurzfristigen Kostenfunktionen



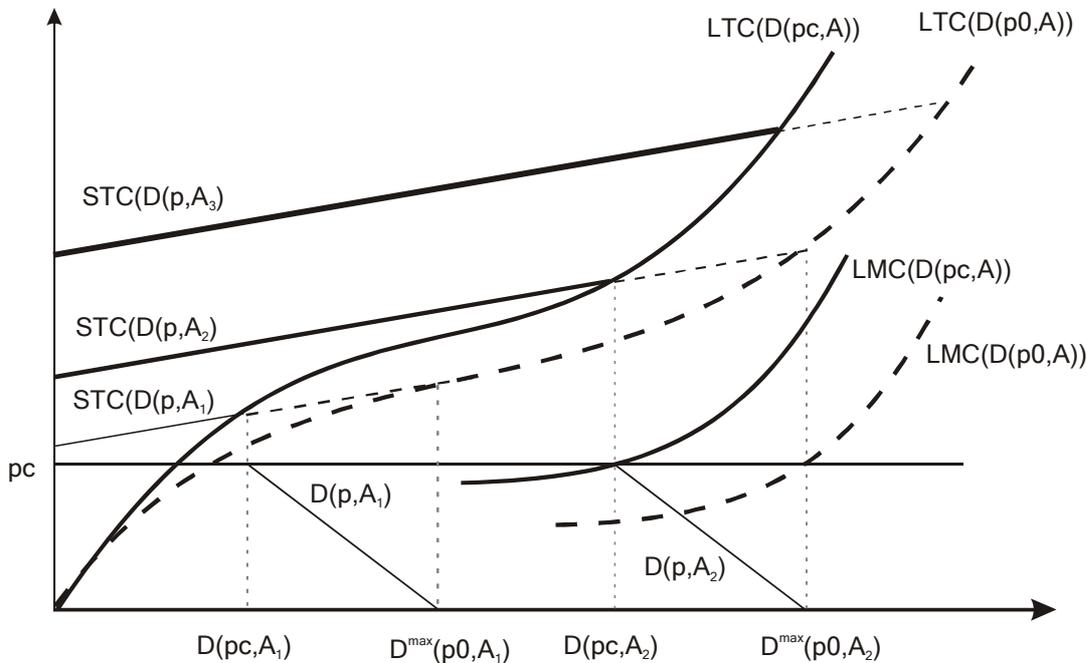
Quelle: Eigene Konzeption

In obiger Abbildung wird deutlich, dass die kurzfristigen Grenzkosten svc nicht den langfristigen Grenzkosten $LMC(D(p, A))$ entsprechen. Während also im konventionellen Modell die Bedingung erster Ordnung für ein Optimum (Grenzkosten=Grenzerlös) sowohl für die langfristige als auch für die kurzfristige Betrachtung **die gleichen optimalen Preise und Mengen** ergibt, ist dies bei leitungsgebundenen Gütern nicht der Fall, da die langfristigen und kurzfristigen Grenzkosten unterschiedlich sind!

Damit kann die langfristige Kostenfunktion nicht unmittelbar als umhüllende Funktion der kurzfristigen Kostenfunktionen gebildet werden, denn beim Punkt mit den geringsten Durchschnittskosten, bei dem (wie in Kapitel 5.2 Langfristige Kosten gezeigt) für die maximale Nachfrage produziert wird, muss ein Preis von $p=0$ gelten. Für Preise $p>0$ verläuft die langfristige Gesamtkostenfunktion oberhalb der langfristigen Kostenfunktion bei $p=0$. Dieser

bereits in Kapitel 5.2.3 Zusammenhang langfristige Kosten und Preis diskutierte Umstand wird in folgender Graphik nochmals zusammengefasst.

Abbildung 36: Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktion bei unterschiedlichen Preisen



Quelle: Eigene Konzeption

In obiger Abbildung sieht man die kurzfristigen Kostenfunktionen und die Preis-Nachfragefunktionen für zwei unterschiedliche Absatzgebiete A_1 und A_2 . Bei einem Preis von 0 (p_0) kann bei jedem Absatzgebiet die maximale Nachfrage $D^{max}(p_0, A_i)$ abgesetzt werden. Die langfristige Kostenfunktion $LTC(D(p_0, A))$ umhüllt damit die kurzfristigen Kostenfunktionen an deren Enden im Punkt $STC(D(p_0, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_0, A_i)$ (wobei τ die Kosten je m^2 Ausdehnung des Absatzgebietes bezeichnet) und wird in obiger Abbildung als unterbrochene Linie dargestellt.

Bei einem Preis in Höhe von p_c ist die Nachfrage bei einem bestimmten Absatzgebiet geringer und liegt bei $D(p_c, A_i)$. Die bei dem Absatzgebiet A_i maximal absetzbare Menge liegt damit bei $D(p_c, A_i) < D^{max}(p_0, A_i)$ für $p_c > p_0$ und die damit verbundenen Durchschnittskosten $LAC(D(p_c, A_i))$ sind höher als bei p_0 . Die langfristige Gesamtkostenkurve kann bei p_c nun nicht mehr durch die Punkte $STC(D(p_0, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_0, A_i)$ gehen, sondern durch die Punkte $STC(D(p_c, A_i)) = \tau \times A_i + svc \times D(p_c, A_i)$ und liegt somit oberhalb der langfristigen Gesamtkosten $LTC(D(p_0, A))$.

Für die Optimierung muss damit die für den optimalen Preis geltende langfristige Kostenfunktion herangezogen werden.

Unterschiedliche Nachfrage bei unterschiedlichen Absatzgebieten

Der in der vorigen Aufzählung angeführte 2. Unterschied – unterschiedliche Nachfragefunktionen bei unterschiedlichen Absatzgebieten – zeigt sich in dem bereits in Abbildung 36 dargestellten Zusammenhang – nicht eine Preis-Absatz-Funktion schneidet die langfristigen Grenzkosten, sondern unterschiedliche, je Absatzgebiet.

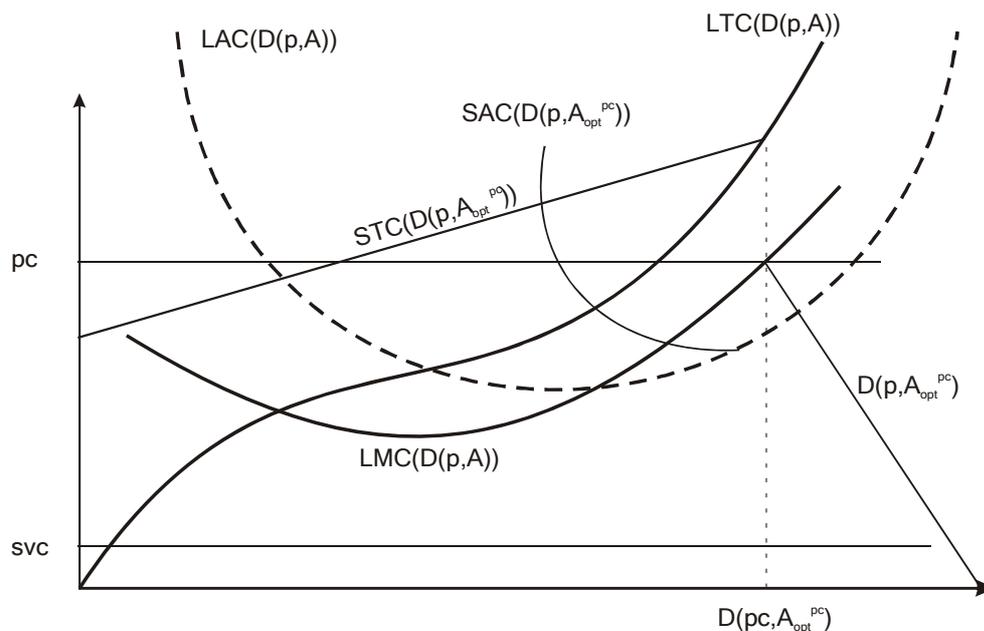
pc bestimmt die Preissetzung des Monopolisten

Diese Eigenschaft ist für die einzelwirtschaftliche Optimierung von Bedeutung. Der Monopolist reagiert wie ein Preisnehmer und es kann daher eine konstante Preis-Nachfrage-Funktion bei pc angenommen werden, solange $p^{\text{Ramsey}}(A_i) \leq pc < p^{\text{Cournot}}(A_i)$.

6.2.1. Optimales Absatzgebiet – langfristige Betrachtung aus einzelwirtschaftlicher Sicht

Da für die Ermittlung des optimalen Absatzgebietes aus einzelwirtschaftlicher Sicht pc als Preis-Nachfrage-Funktion angenommen werden kann (solange $SAC(D(pc, A_i)) \leq pc < p^{\text{Cournot}}(A_i)$), lässt sich die einzelwirtschaftliche Gewinnmaximierung folgendermaßen darstellen:

Abbildung 37: Optimales Absatzgebiet bei einzelwirtschaftlicher Gewinnmaximierung



Quelle: Eigene Konzeption

Der Monopolist wird das Netz soweit ausdehnen, bis die (konstante) Nachfragefunktion p_c die langfristige Grenzkostenfunktion bei Preisniveau p_c $LMC(D(p_c, A))$ in deren steigenden Ast (aufgrund der Bedingung 2. Ordnung) schneidet. Das gewinnmaximale Absatzgebiet liegt in obiger Graphik bei $A_{opt}^{p_c}$ und die gewinnmaximierende Absatzmenge liegt bei $D(p_c, A_{opt}^{p_c})$. Bei einem Absatzgebiet kleiner als $A_{opt}^{p_c}$ wären die mit einer Produktionsausweitung verbundenen Grenzerlöse (p_c) größer als die Grenzkosten ($LMC(D(p_c, A))$) und damit würde $A < A_{opt}^{p_c}$ den Gewinn nicht maximieren. Bei $A > A_{opt}^{p_c}$ wären die zusätzlichen Kosten höher als die Grenzerlöse und eine Reduktion der Produktionsmenge auf $A_{opt}^{p_c}$ würde den Gewinn erhöhen.

Neben der hergeleiteten graphischen Bestimmung des einzelwirtschaftlichen Gewinnmaximums wird im Folgenden das Gewinnmaximum analytisch bestimmt.

Der gewinnmaximale Preis liegt wie zuvor gezeigt bei p_c , dem Preis des kompetitiven Substitutionsgutes bzw. der Monopolist verhält sich als Preisanpasser an den Preis des kompetitiven Substitutionsgutes. Die Gewinnfunktion des Monopolisten kann damit geschrieben werden als:

$$P(p_c, A) = p_c \times D(p_c, A) - LTC(D(p_c, A))$$

$P(p_c, A)$	Gewinn, abhängig vom Absatzgebiet A
p_c	Preis des kompetitiven Substitutionsgutes
$D(p_c, A)$	Nachfrage bei Preis p_c und Absatzgebiet A
$LTC(D(p_c, A))$	langfristige Gesamtkosten

Die Bedingung 1. Ordnung für ein Gewinnmaximum lautet:

$$P'(p_c, A) = 0 \text{ und damit } R'(D(p_c, A)) = LTC'(D(p_c, A))$$

und die Bedingung 2. Ordnung erfordert

$$R''(D(p_c, A)) < LTC''(D(p_c, A)).$$

Aus der Bedingung erster Ordnung für die Gewinnmaximierung folgt:

$P(p_c, A)$	Gewinn
$R(D(p_c, A))$	Erlöse
$LTC(D(p_c, A))$...	Kosten

$$\frac{dP(pc, A)}{dA} = pc \times \frac{dD(pc, A)}{dA} - \frac{dLTC(D(pc, A))}{dA} = 0$$

$$\text{Gl. 6.1: } pc = \frac{\frac{dLTC(D(pc, A))}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}} = \frac{dLTC(D(pc, A))}{dD(pc, A)} = LMC(D(pc, A))$$

für $SAC(D(pc, A)) \leq pc < p^{Cournot}$ und $0 < A \leq \bar{A}$

Der Preis wird damit nicht direkt den Grenzkosten des Outputs (dieser entspricht der Nachfrage D) ($\frac{dLTC(D(pc, A))}{dD}$) gleichgesetzt, sondern den Grenzkosten des Absatzgebietes $\frac{dLTC(D(pc, A))}{dA}$ (Euro/m²) dividiert durch die Nachfragedichte $\frac{dD(pc, A)}{dA}$ (z.B. kWh/m²) und damit wiederum den Grenzkosten je Output (Euro/kWh). Die Aufgliederung der Grenzkosten je Output in Grenzkosten je m² Absatzgebiet und Nachfragedichte ist notwendig, um den Zusammenhang zwischen Nachfragedichte und optimalem Absatzgebiet analysieren zu können.

Die Bedingung 2. Ordnung erfordert $P''(pc, A) < 0$:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 P(pc, A)}{dA^2} &= pc \times \frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2} - \frac{d^2 LTC(D(pc, A))}{dA^2} < 0 \\ pc \times \frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2} &< \frac{d^2 LTC(D(pc, A))}{dA^2} \\ pc &< \frac{\frac{d^2 LTC(D(pc, A))}{dA^2}}{\frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2}} \end{aligned}$$

Die Bedingung zweiter Ordnung erfordert also einen größeren Preis im Vergleich zum Anstieg der langfristigen Grenzkosten des Absatzgebietes je Anstieg der Nachfragedichte oder anders gesagt: für ein Gewinnmaximum muss die Steigerung des Umsatzes (Preis x Menge) für jeden weiteren m² Absatzgebiet geringer sein als die Steigerung der Kosten für jeden weiteren m² Absatzgebiet.

Jenes Absatzgebiet A, für welches die obigen Zusammenhänge gelten, ist nun das für den Betreiber von leitungsgebundenen Gütern gewinnmaximale Absatzgebiet. Unter den bisher getroffenen Annahmen (linear fallende Nachfragedichte, konstante Grenzkosten des Absatzgebietes, konstante variable Kosten) und hergeleiteten funktionalen Zusammenhängen kann das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet ermittelt werden aus:

Gl. 5.6 Kapitel 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung:

$$\frac{\partial LTC(D(pc, A))}{\partial A} = \frac{\partial(\tau \times A + svc \times ((\rho_2 - v \times pc) \times A - \frac{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc)}{2} \times A^2))}{\partial A}$$

$$= \tau + svc * ((\rho_2 - v \times pc) - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A) = \tau + svc \times \frac{\partial D(pc, A)}{\partial A}$$

und aus Gl. 4.12 Kapitel 4 Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern:

$$\frac{\partial D(pc, A)}{\partial A} = \rho_2 - v \times pc - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A > 0 \text{ für } 0 \leq A \leq \frac{\rho_2}{\rho_1} = \bar{A}$$

Durch einsetzen in Gl. 6.1 folgt:

$$pc = \frac{\frac{dLTC(D(pc, A))}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}} = \frac{\tau + svc * ((\rho_2 - v \times pc) - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A)}{\rho_2 - v \times pc - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A}$$

$$pc = \frac{\tau}{\rho_2 - v \times pc - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A} + svc$$

$$pc - svc = \frac{\tau}{(\rho_2 - v \times pc) - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A}$$

$$(\rho_2 - v \times pc) - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A = \frac{\tau}{pc - svc}$$

$$-(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc) \times A = \frac{\tau}{pc - svc} - (\rho_2 - v \times pc)$$

$$Gl. 6.2: A_{opt}^{pc} = \frac{(\rho_2 - v \times pc) - \frac{\tau}{pc - svc}}{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc)}$$

Die Bedingung 2. Ordnung für ein Gewinnmaximum lautet:

$$pc \times \frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2} < \frac{d^2 LTC(D(pc, A))}{dA^2}$$

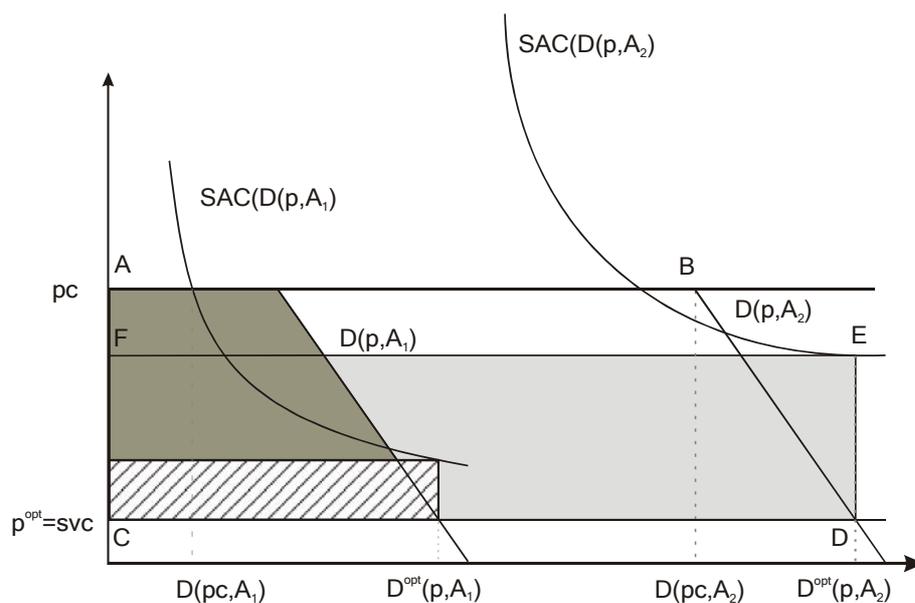
$$pc \times \frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2} < svc \times \frac{d^2 D(pc, A)}{dA^2}$$

Solange damit bei fallender Nachfragdichte $\frac{d^2D(pc, A)}{dA^2} < 0$ die variablen Kosten svc unter dem Preis der kompetitiven Konkurrenzgüter liegen, existiert ein langfristiges Gewinnmaximum bei A_{opt}^{pc} .

6.2.2. Optimales Absatzgebiet – langfristige Betrachtung aus volkswirtschaftlicher Sicht

Bei der Bestimmung des volkswirtschaftlich optimalen Absatzgebietes wird (wie auch bei der kurzfristigen volkswirtschaftlichen Optimierung) der soziale Überschuss bzw. die Summe der Produzenten- und Konsumentenrente maximiert. Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang für zwei unterschiedliche Absatzgebiete A_1 und A_2 .

Abbildung 38: Optimale Absatzmenge bei einzelwirtschaftlicher Gewinnmaximierung und unterschiedlichen Absatzgebieten



Quelle: Eigene Konzeption

Obige Abbildung zeigt die kurzfristige volkswirtschaftliche Optimierung bei zwei unterschiedlichen Absatzgebieten A_1 und A_2 , wobei $A_1 < A_2$. $D(p, A_i)$ zeigt die Preis-Nachfragefunktion, die Funktion $SAC(D(p, A_i))$ zeigt den Verlauf der kurzfristigen Durchschnittskosten für das Absatzgebiet i . svc zeigt die kurzfristigen variablen Kosten, die annähernd konstant für unterschiedliche Absatzgebiete angenommen werden. Der volkswirtschaftlich optimale Preis liegt nun bei kurzfristiger Betrachtung (wie in Kapitel 2 Theoretische Grundlagen hergeleitet) bei den kurzfristigen Grenzkosten ($p_{opt} = svc$). Zu

beachten ist hier, dass – bei leitungsgebundenen Gütern die ein natürliches Monopol darstellen – die Durchschnittskosten über den Grenzkosten liegen und damit bei volkswirtschaftlich optimaler Allokation ein Defizit des Anbieters leitungsgebundener Güter entsteht¹³! Bei Absatzgebiet A_1 entspricht das Defizit der schraffierten Fläche. Die graue Fläche entspricht der Konsumentenrente bei Absatzgebiet A_1 (die Produzentenrente ist nicht vorhanden bzw. negativ in Höhe des Defizits, da der Preis gleich den konstanten Grenzkosten ist). Bei einem weiter ausgedehnten Netz A_2 liegt der optimale Preis nach wie vor bei p^{opt} (da die kurzfristigen Grenzkosten bei größerem Absatzgebiet annähernd gleich bleiben, siehe dazu Kapitel 3.3 Annahmen). Die Konsumentenrente und das Defizit des Monopolisten wachsen an auf die von den Punkten ABCD bzw. CDEF eingeschlossene Fläche an. Bei der volkswirtschaftlichen Optimierung gilt es nun jenes Absatzgebiet zu wählen, welche die Fläche der Konsumentenrente abzüglich der Defizitfläche maximiert. Dazu wird der soziale Überschuss als Summe der Konsumenten- und Produzentenrente formuliert:

$S\ddot{U}(p, A)$	Sozialer Überschuss bei Preis p und Absatzgebiet A
$LTC(D(p, A))$..	Langfristige Gesamtkostenfunktion in Abhängigkeit von der Absatzmenge $D(p, A)$
$V(p, A)$	Konsumentenrente bei Preis p und Absatzgebiet A
$D(p, A)$	Absatzmenge bei Preis p und Absatzgebiet A
p_c	Preis des kompetitiven Substitutionsgutes

$$S\ddot{U}(p, A) = V(p, A) + p \times D(p, A) - LTC(D(p, A)) =$$

Gl. 6.3:

$$= \int_p^{p_c} D(p, A) dp + p \times D(p, A) - LTC(D(p, A))$$

Die kurzfristige volkswirtschaftliche Optimierung zeigt, dass kurzfristig ein Preis in Höhe von $p_{opt}=svc$ wohlfahrtsmaximierend ist, daher wird für $p=p_{opt}$ bzw. svc in obigen Zusammenhang eingesetzt:

$$S\ddot{U}(p_{opt}, A) = V(p_{opt}, A) + p \times D(p_{opt}, A) - LTC(D(p_{opt}, A)) =$$

$$= \int_{p_{opt}}^{p_c} D(p = p_{opt}, A) dp + p_{opt} \times D(p_{opt}, A) - LTC(D(p_{opt}, A))$$

$$= \int_{svc}^{p_c} D(p = svc, A) dp + svc \times D(svc, A) - LTC(D(svc, A))$$

¹³ Dieses Defizit des Unternehmers wäre bei Realisierung der volkswirtschaftlich optimalen Preise durch Umverteilung von den Konsumenten (die eine im Vergleich zu kostendeckenden Preisen höhere Konsumentenrente erzielen können) hin zum Anbieter leitungsgebundener Güter auszugleichen (siehe dazu z. B. Schumann et al. 1999).

und nach A maximiert:

$$\frac{dS\ddot{U}(p_{opt}, A)}{dA} = 0$$

$$\frac{dV(p_{opt}, A)}{dA} + p_{opt} \times \frac{dD(p_{opt}, A)}{dA} - \frac{dLTC(D(p_{opt}, A))}{dA} = 0$$

$$p_{opt} = \frac{\frac{dLTC(D(p_{opt}, A))}{dA} - \frac{dV(p_{opt}, A)}{dA}}{\frac{dD(p_{opt}, A)}{dA}}$$

$$p_{opt} = \frac{\frac{dLTC(D(p_{opt}, A))}{dD(p_{opt}, A)} \times \frac{dD(p_{opt}, A)}{dA} - \frac{dV(p_{opt}, A)}{dD(p_{opt}, A)} \times \frac{dD(p_{opt}, A)}{dA}}{\frac{dD(p_{opt}, A)}{dA}}$$

$$Gl. 6.4: p_{opt} = \frac{dLTC(D(p_{opt}, A))}{dD(p_{opt}, A)} - \frac{dV(p_{opt}, A)}{dD(p_{opt}, A)}$$

bzw.

$$Gl. 6.5: svc = \frac{dLTC(D(svc, A))}{dD(svc, A)} - \frac{dV(svc, A)}{dD(svc, A)}$$

Oder auch:

$$Gl. 6.6: \begin{aligned} svc &= \frac{\frac{dLTC(D(svc, A))}{dA}}{\frac{dD(svc, A)}{dA}} - \frac{\frac{dV(svc, A)}{dA}}{\frac{dD(svc, A)}{dA}} = \\ &= svc \times \frac{dD(svc, A)}{dA} = \frac{dLTC(D(svc, A))}{dA} - \frac{dV(svc, A)}{dA} \end{aligned}$$

Es gilt nach Gl. 5.6 Kapitel 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung

$$LTC(D(svc, A)) = FC(A) + svc \times D(svc, A)$$

$$\frac{dLTC(D(svc, A))}{dA} = \frac{dFC(A)}{dA} + svc \times \frac{D(svc, A)}{dA}$$

setzen wir nun $\frac{dLTC(D(svc, A))}{dA} = \frac{dFC(A)}{dA} + svc \times \frac{dD(svc, A)}{dA}$ in Gl. 6.6 ein:

$$svc \times \frac{dD(svc, A)}{dA} = \frac{dFC(A)}{dA} + svc \times \frac{D(svc, A)}{dA} - \frac{dV(svc, A)}{dA}$$

$$\text{Gl. 6.7: } \frac{dFC(A)}{dA} = \frac{dV(\text{svc}, A)}{dA}$$

sieht man, dass das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet dort liegt, wo die Grenzkosten $\frac{dFC(A)}{dA}$ der Erschließung den Grenznutzen der Konsumenten $\frac{dV(\text{svc}, A)}{dA}$ entsprechen.

Die Bedingung 2. Ordnung erfordert für ein Maximum $S\ddot{U}''(\text{svc}, A) < 0$ und damit

$$\frac{dV^2(\text{svc}, A)}{dA^2} + \text{svc} \times \frac{d^2 D(\text{svc}, A)}{dA^2} - \frac{d^2 LTC(D(\text{svc}, A))}{dA^2} < 0$$

$$\text{svc} \times \frac{d^2 D(\text{svc}, A)}{dA^2} < \frac{d^2 LTC(D(\text{svc}, A))}{dA^2} - \frac{dV^2(\text{svc}, A)}{dA^2}$$

da $\frac{d^2 LTC(D(\text{svc}, A))}{dA^2} = \frac{d^2 FC(A)}{dA^2} + \text{svc} \times \frac{dD^2(\text{svc}, A)}{dA^2}$ gilt

$$\text{svc} \times \frac{d^2 D(\text{svc}, A)}{dA^2} < \frac{d^2 FC(A)}{dA^2} + \text{svc} \times \frac{dD^2(\text{svc}, A)}{dA^2} - \frac{dV^2(\text{svc}, A)}{dA^2}$$

$$\text{Gl. 6.8: } \frac{dV^2(\text{svc}, A)}{dA^2} < \frac{d^2 FC(A)}{dA^2}$$

Die Bedingung 2. Ordnung erfordert damit, dass die Steigung der Grenznutzen der Konsumenten $\frac{dV^2(\text{svc}, A)}{dA^2}$ kleiner ist als die Steigung der Grenzkosten des Absatzgebietes $\frac{d^2 FC(A)}{dA^2}$.

Fazit: Für das volkswirtschaftlich optimale Absatzgebiet gilt:

$$p_{svc} = \frac{dLTC(D(svc, A))}{dD(svc, A)} = \frac{dV(svc, A)}{dD(svc, A)}$$
 Die kurzfristigen Grenzkosten p_{svc} entsprechen den langfristigen Grenzkosten abzüglich der Grenzkonsumentenrente bei einem Preis in Höhe der kurzfristigen Grenzkosten. Für das volkswirtschaftlich optimale Absatzgebiet gilt weiters,

$$\frac{dFC(A)}{dA} = \frac{dV(svc, A)}{dA}$$
,
 d. h. die Grenzkosten $\frac{dFC(A)}{dA}$ der Erschließung entsprechen den Grenznutzen der Konsumenten $\frac{dV(svc, A)}{dA}$.

Das einzelwirtschaftlich gewinnoptimale Absatzgebiet liegt bei

$$p_c = \frac{dLTC(D(p_c, A))}{dD(p_c, A)}$$
 und damit dort, wo die langfristigen Grenzkosten dem Preis des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes entsprechen.

6.2.3. Optimales Absatzgebiet für die Gemeinde Bad Gleichenberg.

Die in den Kapiteln 4 und 5 hergeleiteten Kosten- und Nachfragezusammenhänge werden in die Gl. 6.7 $\frac{dFC(A)}{dA} = \frac{dV(svc, A)}{dA}$ integriert.

$\frac{dFC(A)}{dA} = \tau$ und $\frac{d^2FC(A)}{dA^2} = 0$ wie aus Gl. 5.6 Kapitel 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung deutlich wird.

$$\frac{dV(svc, A)}{dA} = \frac{dV(svc, A)}{dD(svc, A)} \times \frac{dD(svc, A)}{dA}$$
 und jedenfalls >0 , da bei konstantem Preis $p=p_{svc}$ durch eine Vergrößerung des Absatzgebietes mehr Nachfrage befriedigt werden kann und damit die Konsumentenrente abhängig vom Absatzgebiet sicher steigt. Bei linearer Nachfragedichtefunktion gilt:

$$\begin{aligned}
 V(D(p, A)) &= \int_p^{p_c} D(p, A) dp = \int_p^{p_c} (\rho_2 \times A - v \times p \times A - (\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p) \times \frac{A^2}{2}) dp \\
 &= \rho_2 \times A \times p_c - \frac{v \times A}{2} \times p_c^2 - \rho_1 \times \frac{A^2}{2} \times p_c + \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times \frac{A^2}{2} \times p_c^2 - \\
 &- \rho_2 \times A \times p + \frac{v \times A}{2} \times p^2 + \rho_1 \times \frac{A^2}{2} \times p - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times \frac{A^2}{2} \times p^2
 \end{aligned}$$

Gl. 6.9:

$$V(D(p,A)) = \rho_2 \times A \times (pc - p) - \frac{v \times A}{2} \times (pc^2 - p^2) - \rho_1 \times \frac{A^2}{2} \times (pc - p) + \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times \frac{A^2}{2} \times (pc^2 - p^2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V(D(p,A))}{\partial A} &= \rho_2 \times pc - \frac{v}{2} \times pc^2 - \rho_1 \times A \times pc + \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times pc^2 \times A - \\ &- \rho_2 \times p + \frac{v}{2} \times p^2 + \rho_1 \times A \times p - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times p^2 \times A = \end{aligned}$$

$$\text{Gl. 6.10: } \frac{\partial V(D(p,A))}{\partial A} = \rho_2 \times (pc - p) - \frac{v}{2} \times (pc^2 - p^2) - (\rho_1 \times (pc - p) - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc^2 - p^2)) \times A$$

Im Optimum gilt nach Gl. 6.7

$$\tau = \rho_2 \times (pc - svc) - \frac{v}{2} \times (pc^2 - svc^2) - (\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc^2 - svc^2)) \times A$$

$$A_{opt}^{svc} = \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - \frac{v}{2} \times (pc^2 - svc^2) - \tau}{(\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc^2 - svc^2))}$$

Setzt man für die Variablen die Werte für Bad Gleichenberg ein, kann das optimale volkswirtschaftliche Absatzgebiet berechnet werden mit:

$$A_{opt}^{svc} = \frac{95,13 \times (0,15 - 0,031875) - \frac{100,9}{2} \times (0,15^2 - 0,031875^2) - 6}{(0,0001189 \times (0,15 - 0,031875) - \frac{100,9 \times 0,0001189}{2 \times 95,13} \times (0,15^2 - 0,031875^2))} =$$

rund 327.300 m².

Für die Bedingung 2. Ordnung muss Gl. 6.8 gelten und damit

$$\frac{\partial^2 V(D(p,A))}{\partial A^2} < 0. \text{ Es muss daher } \frac{\partial^2 V(D(p,A))}{\partial A^2} \text{ aus Gl. 6.10 abgeleitet werden:}$$

$$\frac{\partial^2 V(D(p,A))}{\partial A^2} = -(\rho_1 \times (pc - p) - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc^2 - p^2)) < 0 \text{ bzw. für Bad Gleichenberg}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V(D(p,A))}{\partial A^2} &= -(0,0001189 \times (0,15 - 0,031875) - \frac{100,9 \times 0,0001189}{2 \times 95,13} \times (0,15^2 - 0,031875^2)) = \\ &= -0,00001269 < 0 \end{aligned}$$

Es existiert daher für Bad Gleichenberg ein Maximum des sozialen Überschusses bei Preis $p_{opt}=svc$ und Absatzgebiet $A \cong 327.300 \text{m}^2$.

Das einzelwirtschaftliche Optimum wird aus Gl. 6.2

$$A_{opt}^{pc} = \frac{(\rho_2 - v \times pc) - \frac{\tau}{pc - svc}}{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc)}$$

ermittelt.

$$A_{opt}^{pc} = \frac{(95,13 - 100,9 \times 0,15) - \frac{6}{0,15 - 0,031875}}{(0,0001189 - \frac{100,9 \times 0,0001189}{95,13} \times 0,15)} \cong 292.100 \text{ m}^2$$

Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet liegt daher mit 292.100 m² unter dem volkswirtschaftlich optimalen Absatzgebiet von 327.000 m².

Für die getroffenen Annahmen einer linear fallenden Nachfragedichtefunktion, konstanten Grenzkosten des Absatzgebietes und konstanten kurzfristigen Grenzkosten, ist das volkswirtschaftlich optimale Absatzgebiet immer größer oder gleich dem einzelwirtschaftlich optimalen Absatzgebiet. Vergleichen wir dazu die beiden optimalen Absatzgebiete

$$A_{opt}^{pc} = \frac{(\rho_2 - v \times pc) - \frac{\tau}{pc - svc}}{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc)} = \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - v \times (pc^2 - pc \times svc) - \tau}{\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc)}$$

$$A_{opt}^{svc} = \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - v \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau}{\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}}$$

Zur Beweisführung betrachten wir zuerst den Zusammenhang zwischen A_{opt}^{svc} und der Preiselastizität ξ . Aus Gl. 4.15 Kapitel 4 Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern gilt, dass

$$v = \frac{-\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \text{ und}$$

$$\rho_2^{pc} = \rho_2 - v \times pc = \rho_2 - \frac{-\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \times pc \text{ und damit}$$

$$\rho_2^{pc} = \rho_2 + \xi \times \rho_2^{pc} \text{ und } \rho_2 = (1 - \xi) \times \rho_2^{pc} \text{ bzw. für negatives } \xi \text{ gilt}$$

$\rho_2 = (1 + \xi) \times \rho_2^{pc}$. Gleiches gilt für ρ_1 , $\rho_1 = (1 + \xi) \times \rho_1^{pc}$. A_{opt}^{svc} kann daher auch geschrieben werden als:

$$\begin{aligned} A_{opt}^{svc} &= \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - v \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau}{\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}} = \\ &= \frac{\rho_2^{pc} \times (1 + \xi) \times (pc - svc) - \frac{\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau}{\rho_1^{pc} \times (1 + \xi) \times (pc - svc) - \frac{\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \times \rho_1^{pc} \times (1 + \xi) \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}} = \\ &= \frac{\rho_2^{pc} \times (1 + \xi) \times (pc - svc) - \frac{\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau}{\rho_1^{pc} \times (1 + \xi) \times (pc - svc) - \frac{\xi}{pc} \times \rho_1^{pc} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}} \end{aligned}$$

und

$$\frac{\partial A_{opt}^{svc}}{\partial \xi} = \tau \times (\rho_1^{pc} \times (pc - svc) - \frac{\rho_1^{pc}}{pc} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}) \geq 0$$

Je elastischer die Nachfrage umso größer das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet. Anders beim einzelwirtschaftlichen Optimum A_{opt}^{pc} :

$$\begin{aligned} A_{opt}^{pc} &= \frac{(\rho_2 - v \times pc) - \frac{\tau}{pc - svc}}{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc)} = \\ &= \frac{\rho_2^{pc} \times (1 + \xi) - \frac{\xi \times \rho_2^{pc}}{pc} \times pc - \frac{\tau}{pc - svc}}{\rho_1^{pc} \times (1 + \xi) - \frac{pc}{\rho_2^{pc} \times (1 + \xi)} \times pc} = \\ &= \frac{\rho_2^{pc} - \frac{\tau}{pc - svc}}{\rho_1^{pc}} \end{aligned}$$

A_{opt}^{pc} ist damit unabhängig von der Preiselastizität. Bei unelastischer Nachfrage $\xi=0$ entspricht das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet genau dem einzelwirt-

schaftlich optimalen Absatzgebiet. Je elastischer die Nachfrage $|\xi| > 0$ umso größer das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet im Vergleich zum (nicht veränderten) einzelwirtschaftlich optimalen Absatzgebiet. Das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet ist daher in jedem Fall größer oder zumindest gleich dem einzelwirtschaftlichen Absatzgebiet.

$A_{opt}^{svc} \geq A_{opt}^{pc}$ kann auch durch folgende Umformung gezeigt werden:

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - v \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau}{\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}} \geq \frac{\rho_2 \times (pc - svc) - v \times (pc^2 - pc \times svc) - \tau}{\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc)} \\ & \frac{(\rho_2 \times (pc - svc) - v \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} - \tau) \times (\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc))}{(\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}) \times (\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc))} \geq \\ & \frac{(\rho_2 \times (pc - svc) - v \times (pc^2 - pc \times svc) - \tau) \times (\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2})}{(\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2}) \times (\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc))} \\ & - \tau \times ((\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc)) \geq -\tau \times ((\rho_1 \times (pc - svc) - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2})) \\ & \tau \times \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times (pc^2 - pc \times svc) \geq \tau \times \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} \\ & (pc^2 - pc \times svc) \geq \frac{(pc^2 - svc^2)}{2} \\ & 2 \times pc^2 - 2 \times pc \times svc - pc^2 + svc^2 \geq 0 \\ & pc^2 - 2 \times pc \times svc + svc^2 \geq 0 \\ & (pc - svc)^2 \geq 0 \end{aligned}$$

und damit wurde gezeigt, dass $A_{opt}^{svc} \geq A_{opt}^{pc}$ für alle möglichen pc , svc , ρ_1 , ρ_2 , τ und v . Weiters sieht man, dass für ρ_1 oder τ oder $\xi = 0$ gilt $A_{opt}^{svc} = A_{opt}^{pc}$.

Der Unterschied zwischen A_{opt}^{svc} und A_{opt}^{pc} lässt sich aus $A_{opt}^{svc} - A_{opt}^{pc}$ berechnen und beträgt

$$\tau \times \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc - svc)^2 = \tau \times \frac{\xi \times \rho_2}{pc \times (1 + \xi)} \times \rho_1 \times (pc - svc)^2 = \tau \times \frac{\xi}{1 + \xi} \times \frac{\rho_1}{2 \times pc} \times (pc - svc)^2.$$

Je größer also die Grenzkosten des Absatzgebietes τ oder je elastischer die Nachfrage oder je stärker der Rückgang der Nachfragedichte bei größerem Absatzgebiet ρ_1 umso weiter ist das Netz aus wohlfahrtsökonomischer Sicht im Vergleich zur einzelwirtschaftlich optimalen Betrachtung auszudehnen.

Fazit: Bei linear fallender Nachfragedichte, preiselastischer Nachfrage und konstanten Grenzkosten des Absatzgebietes ist das Leitungsnetz unter wohlfahrtsoptimalen Gesichtspunkten weiter auszudehnen als unter einzelwirtschaftlichen Gesichtspunkten. Das volkswirtschaftlich und einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet ist nur dann gleich groß, wenn die Preiselastizität der Nachfrage Null ist oder wenn die Grenzkosten des Absatzgebietes Null sind.

Je größer die Preiselastizität der Nachfrage oder je höher die Grenzkosten des Absatzgebietes umso größer ist das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet. Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet ist gänzlich unabhängig von der Preiselastizität.

7. Externe Effekte und Staatsintervention

Netzgebundene Güterbereitstellung ist aufgrund der Subadditivität der Kostenfunktionen bei Abwesenheit eines kompetitiven Substitutionsgutes ein natürliches Monopol (siehe dazu Kapitel 2 Theoretische Grundlagen). Anders als bei Märkten mit vollständiger Konkurrenz kann bei natürlichen Monopolen nicht davon ausgegangen werden, dass die „unsichtbare Hand des Marktes“ wirkt und zu einer pareto-optimalen Ressourcenallokation führt. Außerdem sind in Zusammenhang mit netzgebundenen Gütern Marktunvollkommenheiten in Form von externen Effekten zu beachten.

Im Kapitel 6 Optimierung wurde gezeigt, dass das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet größer ist als das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet, wenn die Nachfrage preiselastisch ist, wenn die Grenzkosten des Absatzgebietes konstant positiv sind und wenn die Nachfragedichte im Raum linear abnimmt. In diesem Kapitel wird die Frage nach den Auswirkungen unterschiedlicher staatlicher Interventionsmöglichkeiten zur Realisierung des wohlfahrtsoptimalen Absatzgebietes unter Beachtung externer Kosten diskutiert.

7.1. Externe Effekte

Externe Effekte können in Zusammenhang mit leitungsgebundenen Gütern sowohl in Form von externen Nutzen als auch externen Kosten auftreten. Externe Nutzen von Biomassenwärmeversorgungssystemen umfassen z. B. die Einsparung von CO₂-Emissionen durch den Ersatz fossiler Energieträger. Externe Kosten von leitungsgebundenen Gütern werden häufig in Zusammenhang mit Verkehrsinfrastruktur (z. B. externe Kosten durch Lärmbelästigung, siehe Statistik Austria, 2004) genannt. Leitungsgebundene Güter können neben externen Nutzen auch externe Kosten verursachen, wie z. B. die negativen Effekte von Hochspannungsleitungen. Allerdings wurden für die hier untersuchten leitungsgebundenen Güter kaum externe Kosten beobachtet und untersucht (siehe dazu Tietz, 2007, S. 138, 139, 145, 260, 262 und 274), externe Kosten leitungsgebundener Güter werden daher im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt.

Wie bereits in Kapitel 2 Theoretische Grundlagen erläutert liegen bei externen Nutzen die gesamten Nutzeffekte in der Gesellschaft über den Nutzeffekten, die der Konsum dieses Gutes bei den Nachfragern erzeugt. Unter der Annahmen konstanter externer Nutzen je Leistungseinheit e können

die langfristigen Kosten damit ausgehend von Gl. 5.6 Kapitel 5 Kosten leitungsgebundener Güterbereitstellung als

$$LTC(D(p, A)) = FC(A) + (svc - e) \times D(p, A) =$$

$$= \tau \times A + (svc - e) \times ((\rho_2 - v \times p) \times A - \frac{(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p)}{2} \times A^2)$$

geschrieben werden. Das optimale wohlfahrtsökonomische Absatzgebiet liegt unter Beachtung externer Nutzen e bei

Gl. 7.1:

$$A_{opt}^{svc-e} = \frac{\rho_2 \times (pc - svc + e) - \frac{v}{2} \times (pc^2 - (svc - e)^2) - \tau}{(\rho_1 \times (pc - svc + e) - \frac{v \times \rho_1}{2 \times \rho_2} \times (pc^2 - (svc - e)^2))}$$

Für die Berechnung im Fallbeispiel wird ein durchschnittlicher Preis einer Tonne CO₂ in Höhe von 25 Euro/t CO₂ angenommen (siehe dazu KOMM(2006)848). Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen je kWh Nutzenergie in Bad Gleichenberg werden aus dem Heizenergieverbrauch in Bad Gleichenberg differenziert nach Brennstoffen und dem CO₂-Emissionsfaktor je Brennstoff berechnet. Die folgende Tabelle zeigt die Ausgangsdaten im Überblick:

Tabelle 3: Datengrundlagen zur Bestimmung der externen Kosten der CO₂-Emissionen aus der Raumwärmebereitstellung in Bad Gleichenberg

Energieträger	Verbrauch in MWh/a	CO ₂ -Emissionsfaktor in kg/MWh	Emissionen in t/a
Elektrizität	1.369	340	465,46
Öl	1.402	308	431,82
Holz	28.116	24	674,78
Gas	6.493	280	1.818,04
Kohle	4.050	410	1.660,5
Summe	41.430		5.050,6

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten der Wärmebedarfserhebung 1996 und GEMIS 4.2 Österreichupdate, Emissionsfaktoren berechnet für Endenergie

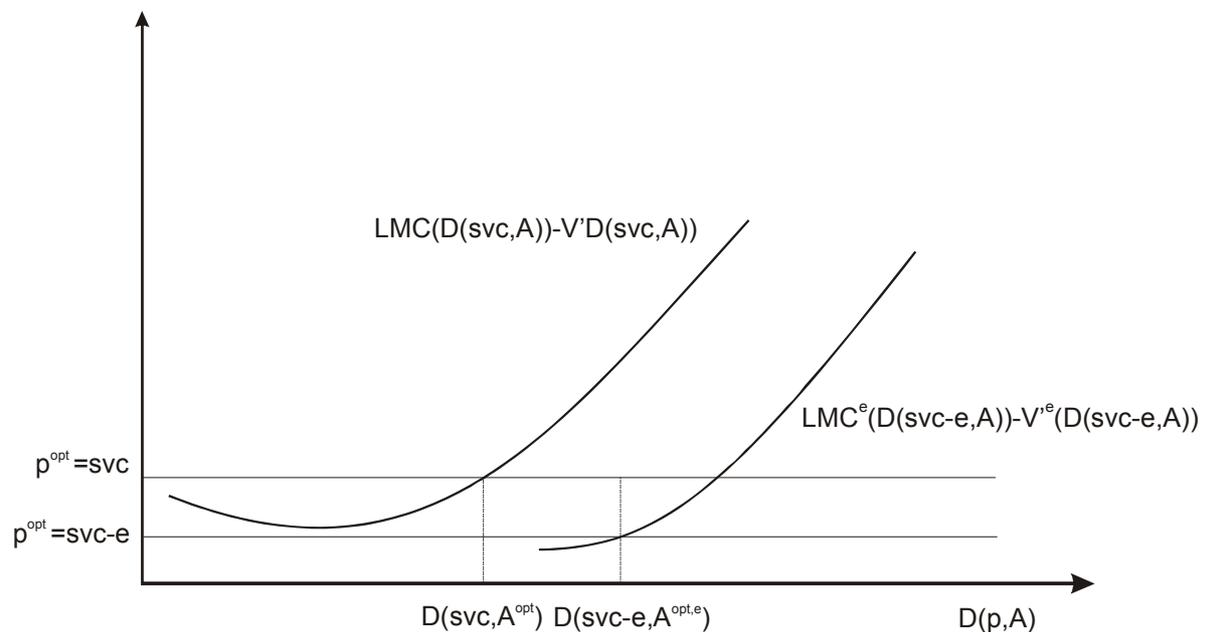
Weiters wird ein durchschnittlicher Jahresnutzungsgrad von Heizanlagen in Höhe von 80 % angenommen und ein CO₂-Emissionsfaktor je MWh Raumwärmebereitstellung aus Biomassenahwärmerversorgungsanlagen in Höhe von 20

kg/MWh unterstellt. Der durchschnittliche Emissionsfaktor je MWh Raumwärme (Nutzenergie) beträgt damit rund 135 kg/MWh.¹⁴ Die externen Nutzen der Biomassenahwärmeverversorgung in Bad Gleichenberg werden daher mit rund 3,375 Euro pro MWh Raumwärmebereitstellung abgeschätzt.

Das optimale Absatzgebiet in Bad Gleichenberg würde somit unter Beachtung externer Nutzen in Bezug auf die Einsparung von CO₂-Emissionen bei 341.327 m² liegen. Das Netz wäre damit um rund 14.000 m² weiter auszu-dehnen als ohne Berücksichtigung der externen Kosten.

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang im Überblick.

Abbildung 39: Optimales Absatzgebiet und externe Effekte



Quelle: Eigene Darstellung

Durch das Einbeziehen externer Nutzen verschieben sich einerseits der (kurzfristig) wohlfahrtsoptimale Preis von $p^{opt}=svc$ auf $p^{opt}=svc-e$, da die sozialen kurzfristigen Grenzkosten nicht mehr bei svc , sondern $svc-e$ liegen. Weiters verschiebt sich die Kurve $LMC(D(svc, A))-V'(D(svc, A))$ auf $LMC^e(D(svc-e, A))-V'^e(D(svc-e, A))$ nach rechts durch geringere soziale Grenzkosten im Vergleich zu den einzelwirtschaftlichen Grenzkosten und durch die höheren Grenznutzen der Konsumentenrente $V'^e(D(svc-e, A))$ bei niedrigerem Preis. Ob das Leitungsnetz bei Vorhandensein externer Nutzen weiter ausgedehnt werden soll oder nicht, hängt von der Höhe der externen Nutzen im Vergleich zu den Grenzkosten und dem Grenznutzen der Konsu-

¹⁴ 5.050,6 t pro MWh / 41.430 MWh pro Jahr / 0,8 - 0,02 t/MWh=0,1324 t/MWh

umentenrente ab. Wenn die Einsparung an Grenzkosten und die Grenznutzen der Konsumentenrente größer sind als die externen Nutzen, wird das Netz weiter ausgedehnt.

7.2. Staatsintervention

Staatsinterventionen sind in Zusammenhang mit leitungsgebundenen Gütern unter zweierlei Gesichtspunkten von Bedeutung: Einerseits aufgrund der suboptimalen Allokation in Zusammenhang mit der Stellung als natürliches Monopol und andererseits aufgrund der externen Effekte, die mit leitungsgebundener Güterbereitstellung häufig verbunden sind.

Staatsintervention aufgrund der suboptimalen Allokation der Entscheidung des Monopolisten

Die staatliche Intervention zur Erreichung der wohlfahrtsoptimalen Allokation kann auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen. Wird keine Intervention vorgenommen, wird das im Kapitel 6 Optimierung hergeleitete einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet und Preis p_c gewählt werden und eine suboptimale volkswirtschaftliche Allokation und Absatzgebiet realisiert. Ein vorgeschriebener volkswirtschaftlich optimaler Preis in Höhe von $p^{\text{opt}} = \text{svc}$ würde aufgrund der höheren Durchschnittskosten als svc jeden potentiellen Anbieter abschrecken. Der volkswirtschaftlich optimale Preis in Höhe der Grenzkosten kann somit nur durch Subvention bzw. Umverteilung der Konsumentenrente (mindestens im Ausmaß zur Abdeckung der Durchschnittskosten) auf den Produzenten realisiert werden (siehe dazu z. B. Schumann et al., 1999, S. 203).

Wird das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet vorgeschrieben, z. B. im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens, bei dem die Versorgung des wohlfahrtsoptimal zu versorgenden Gebietes ausgeschrieben und der Anbieter mit dem geringsten Preis ausgewählt wird, werden sich die im Zuge der Ausschreibung angebotenen Preise den Durchschnittskosten annähern (siehe z. B. Borrmann et al., 1999, S. 314). Auf Interventionsmaßnahmen in Form von Preisdifferenzierungen wird (da hier nicht näher darauf eingegangen werden kann) auf Borrmann et al., 1999 verwiesen, da sich die dort diskutierten allgemeinen Zusammenhänge auch für die Fragestellung des Absatzgebietes einer leitungsgebundenen Güterbereitstellung eignen.

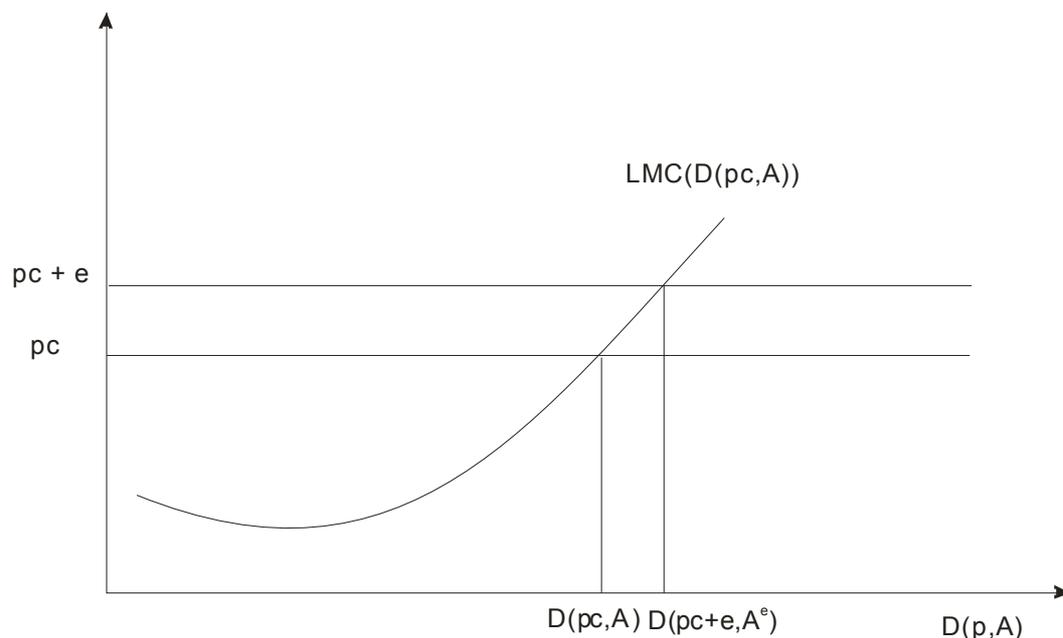
Staatsintervention zur Internalisierung externer Effekte

Es werden hier zwei der bedeutendsten Maßnahmen staatlicher Intervention bei Vorhandensein externer Effekte diskutiert:

- Pigou-Steuer und
- Subventionen.

Die *Subvention* zur Internalisierung der zuvor diskutierten externen Effekte e in Form einer Zahlung in Höhe von e je abgesetzter Leistung (z. B. je verkaufter kWh Fernwärme) an den Betreiber des Leitungsnetzes hätte eine weitere räumliche Ausdehnung des Absatzgebietes zur Folge. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 40: Subvention als Staatsintervention bei externen Nutzen der Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut (durch Verringerung der Nachfrage nach dem Substitutionsgut, das negative externe Effekte aufweist)



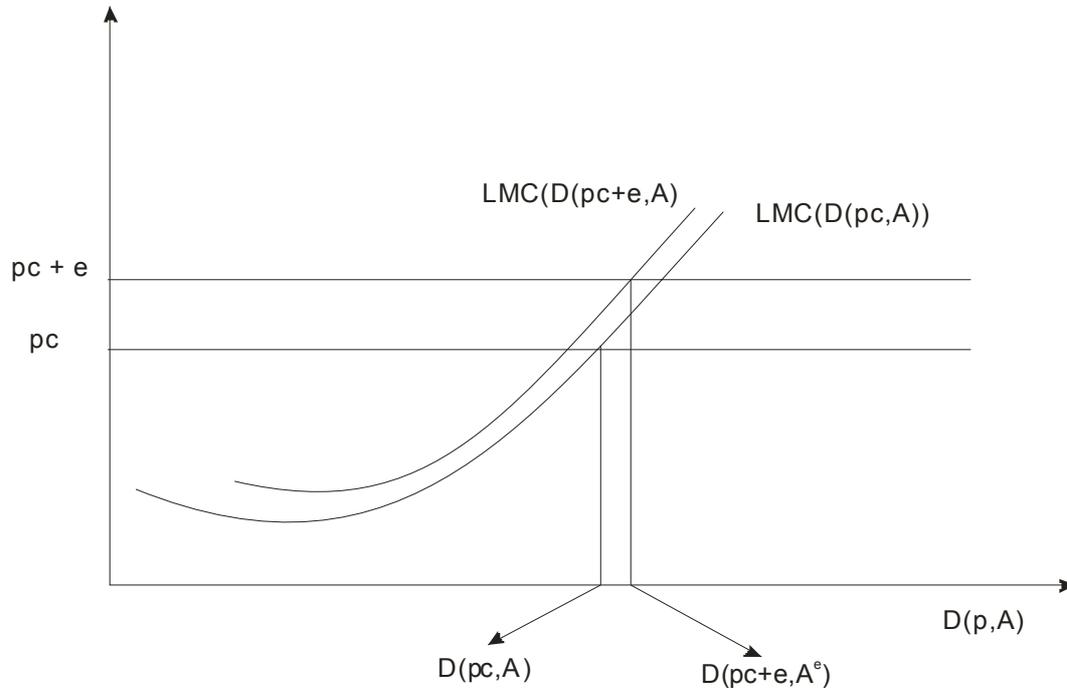
Quelle: Eigene Darstellung

Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet liegt bei $pc = LMC(D(pc, A))$. Wird der Umsatz des Netzbetreibers nun durch die Subvention in Höhe von e je Leistungseinheit erhöht, liegt das neue, optimale Absatzgebiet bei $pc + e = LMC(D(pc, A))$. Die Grenzkostenkurve LMC verschiebt sich durch die Subvention nicht, da vom Netzbetreiber mit oder ohne Subvention der maximal erzielbare Preis pc gewählt werden wird.

Eine *Pigou-Steuer* ist in diesem Zusammenhang dann interessant, wenn das zum leitungsgebundenen Gut kompetitive Substitutionsgut externe Kosten verursacht, die in Form einer Pigou-Steuer in Höhe des Grenzschadens bei der optimalen Ausbringungsmenge internalisiert werden. Eine Pigou-Steuer (in Höhe des Grenzschadens des kompetitiven Substitutionsgutes auf den

Preis desselben) bedeutet für den Leitungsnetzbetreiber einen höheren erzielbaren Preis p_c des leitungsgebundenen Gutes (weil das kompetitive Substitutionsgut teurer geworden ist) und damit eine weitere Ausdehnung des Absatzgebietes. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang.

Abbildung 41: Internalisierung externer Nutzen mittels Pigou-Steuer



Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Pigou-Steuer wird wie bei der Subvention die Preisgerade von p_c auf $p_c + e$ verschoben, was den Effekt einer Ausdehnung des Absatzgebietes mit sich brächte. Allerdings wird bei einer Pigou-Steuer die Preiserhöhung e nicht aus einer Subventionsleistung des Staates aufgebracht, sondern von den Abnehmern des leitungsgebundenen Gutes finanziert, da diese einen höheren Preis in Höhe von $p_c + e$ begleichen müssen. Diese Preiserhöhung wirkt sich auf die langfristige Grenzkostenkurve aus, da bei höherem Preis nur weniger Nachfrage erzielt werden kann und die langfristige Grenzkostenkurve verschieb sich nach links. Eine Pigou-Steuer in Höhe des Grenzschatens, den das kompetitive Substitutionsgut verursacht, führt somit nicht notwendiger weise zu einer Ausdehnung des Absatzgebietes. Ob ausgedehnt wird oder nicht, hängt vielmehr von der Steigung der Grenzkostenfunktion und der Preiselastizität der Nachfrage ab. Wenn die externen Nutzen bzw. die Preiserhöhung e größer ist als die Erhöhung der Grenzkosten, dann ist das Netz weiter auszudehnen bei Vorhandensein externer Nutzen, sonst nicht.

Fazit: Staatsinterventionen, die auf eine Behebung der suboptimalen Allokation aufgrund des Monopols abzielen, unterscheiden sich für leitungsgebundene Güter durch die zusätzlich zur Preis/Mengen Allokation notwendige Intervention bei der Wahl des Absatzgebietes. Es gelten hier grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie für andere natürliche Monopole. Ein Ausschreibungsverfahren, in dem die Versorgung für das wohlfahrtsoptimal zu versorgende Gebiet ausgeschrieben wird, und bei dem der Bestbieter ausgewählt wird, ermöglicht einerseits die Versorgung des wohlfahrtsoptimalen Gebietes und andererseits werden sich aufgrund des Wettbewerbs bei Anbotlegung die Kosten an die durchschnittlichen Kosten annähern.

Bei Staatsinterventionen zur Berücksichtigung externer Effekte von leitungsgebundenen Gütern ist zu bemerken, dass eine Pigou-Steuer auf kompetitive Substitutionsgüter (die externe Kosten verursachen) nicht nur den Erlös des Bereitstellers leitungsgebundener Güter, sondern auch auf die langfristige Grenzkostenkurve verändert, da von den Konsumenten der leitungsgebundenen Güter im Ausmaß der Pigou-Steuer höhere Preise eingehoben werden. Ob es tatsächlich zu einer Ausdehnung des Absatzgebietes des leitungsgebundenen Gutes durch die Pigou-Steuer kommt oder nicht, hängt von der Steigung der Grenzkostenkurve und der Preiselastizität der Nachfrage ab.

Im Gegensatz dazu besteht bei einer Subvention an den Netzbetreiber in Höhe der externen Kosten des preisgünstigsten kompetitiven Substitutionsgutes mit Sicherheit ein Anreiz zur Ausdehnung des Absatzgebietes, da es zu keiner preisinduzierten Veränderung der Nachfrage kommt.

8. Exogene Veränderung der Nachfragedichte

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln ein Ansatz zur ökonomischen Analyse des optimalen Absatzgebietes leitungsgebundener Güterbereitstellung entwickelt wurde, werden in diesem Kapitel Veränderungen der Nachfragedichte untersucht. Veränderungen der Nachfragedichte resultieren beispielsweise aus veränderter Siedlungsentwicklung – z. B. verdichtete Bauweise, aus verändertem Nutzerverhalten oder aus technischen Maßnahmen wie z. B. Wärmedämmung. Die Auswirkungen einer veränderten Nachfragestruktur werden hier exemplarisch anhand von Wärmedämmmaßnahmen auf das optimale Absatzgebiet eines Nahwärmenetzes diskutiert:

Wärmedämmmaßnahmen reduzieren die Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut Fernwärme. Sowohl Nachfrage- als auch Nachfragedichte sinken daher annahmegemäß mit zunehmender Wärmedämmung is und es gilt $\frac{\partial D'(p, A)}{\partial is} < 0$ und $\frac{\partial D(p, A)}{\partial is} < 0$.

Für die einzelwirtschaftliche Gewinnmaximierung gilt nach Gl. 6.1:

$$pc = \frac{\frac{dLTC(D(pc, A))}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}}. \quad LTC(D(pc, A)) \text{ lässt sich gem. Gl. 5.4 schreiben als}$$

$$LTC(D(pc, A)) = FC(A) + svc \times D(pc, A) \text{ und damit gilt}$$

$$\frac{dLTC(D(pc, A))}{dA} = \frac{dFC(A)}{dA} + svc \times \frac{dD(pc, A)}{dA}. \quad \text{Durch Einsetzen in die einzelwirtschaftliche Gewinnmaximierung resultiert:}$$

$$pc = \frac{\frac{dFC(A)}{dA} + svc \times \frac{dD(pc, A)}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}} = \frac{\frac{dFC(A)}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}} + svc. \quad \frac{dFC(A)}{dA}, \text{ die Grenzkosten des}$$

Absatzgebietes, ändern sich nicht durch Wärmedämmmaßnahmen. $\frac{dD(pc, A)}{dA}$ sinkt annahmegemäß mit zunehmender Wärmedämmung is und damit

$$\text{steigt } \frac{\frac{dFC(A)}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}}. \quad \text{Bei gleich bleibenden } pc \text{ und } svc \text{ muss daher das}$$

Absatzgebiet reduziert werden, um die Gleichung $pc = \frac{dLTC(D(pc, A))}{\frac{dA}{dD(pc, A)}}$ bei zunehmender Wärmedämmung zu erfüllen.

Auch graphisch kann dieser Zusammenhang gezeigt werden. Eine Reduktion der absetzbaren Wärme in einem bestimmten Absatzgebiet führt sowohl zu einer Verschiebung der Nachfragefunktion als auch zu einer Verschiebung der langfristigen Kostenfunktion. Die Nachfragefunktion (siehe Abbildung 42) verschiebt sich von $D^{opt}(pc, A_2)$ durch die Wärmedämmung nach $D(p, A_2^{is})$, da bei gleichem Absatzgebiet A_2 weniger Nachfrage erreicht werden kann. Wie im Kapitel 5 gezeigt kommt es auch zu einer Verschiebung der langfristigen Grenzkostenfunktion nach links, bzw. liegen die langfristigen Grenzkosten bei Wärmedämmung über den langfristigen Grenzkosten ohne Wärmedämmung und damit ist das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet bei Wärmedämmung geringer als ohne Wärmedämmung.

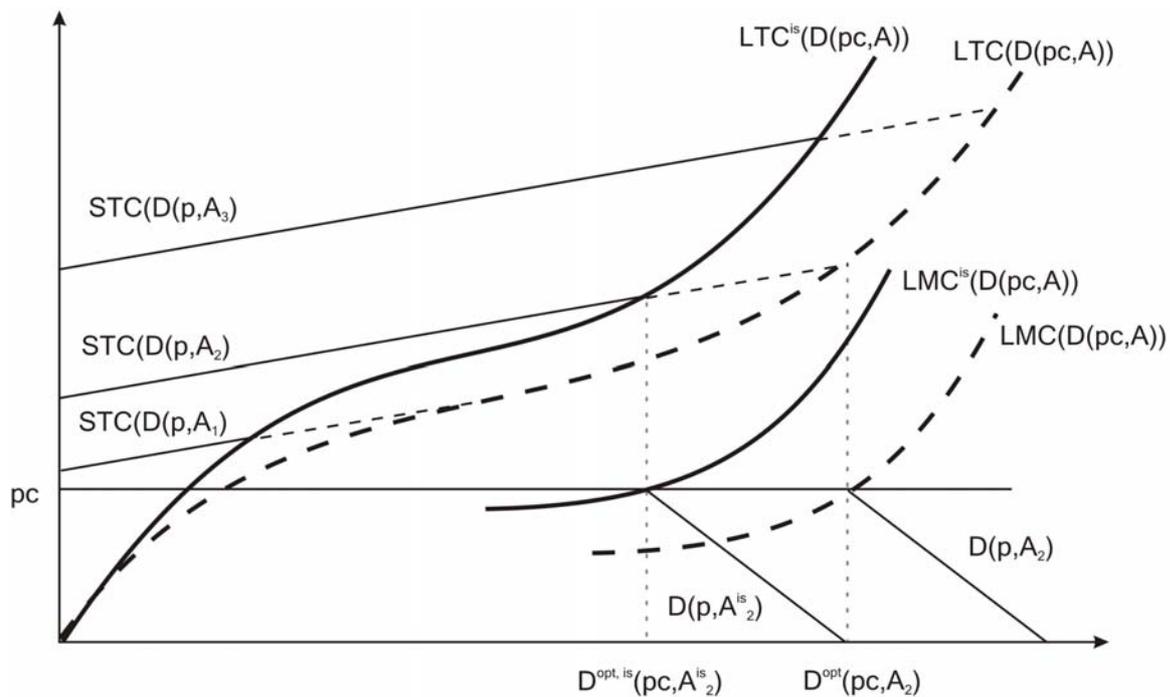


Abbildung 42: Einzelwirtschaftliche Optimierung mit und ohne Wärmedämmung

Quelle: Eigene Konzeption

Betrachtet man den zuvor unterstellten linear fallenden Verlauf der Nachfragedichte in der Form

$$D'(p, A) = \rho_2 - v \times p - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p\right) \times A \quad \text{für } 0 < A \leq \bar{A} \text{ und } 0 \geq p \leq pc \text{ und } \rho_1, \rho_2 > 0,$$

ρ_2 = Nachfragedichte im Zentrum bei $p=0$ und

ρ_1 = Abnahme der Wärmedichte je m^2 ausgehend vom Zentrum bei $p=0$.

sowie die dazugehörige Nachfrage

$$D(p, A) = \rho_2 \times A - v \times p \times A - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p \right) \times \frac{A^2}{2}.$$

Dann lassen sich Wärmenachfragedichte und Wärmenachfrage bei Wärmedämmung *is* darstellen als:

$$D'(p, A) = \frac{\partial D}{\partial A} = (\rho_2 - v \times p - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p \right) \times A) \times (1 - is) \text{ und}$$

$$D(p, A) = \left(\rho_2 \times A - v \times p \times A - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times p \right) \times \frac{A^2}{2} \right) \times (1 - is)$$

Die Bedingung erster Ordnung für das einzelwirtschaftliche Gewinnmaximum lautet wie zuvor hergeleitet:

$$pc = \frac{\frac{dFC(A)}{dA}}{\frac{dD(pc, A)}{dA}} + svc. \text{ Unter der Annahme konstanter Erschließungskosten in}$$

Höhe von $\frac{dFC(A)}{dA} = \tau$ lautet damit die Bedingung erster Ordnung bei Wärmedämmung:

$$pc = \frac{\tau}{\left(\rho_2 - v \times pc - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc \right) \times A \right) \times (1 - is)} + svc$$

$$(pc - svc) \times \left(\rho_2 - v \times pc - \left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc \right) \times A \right) \times (1 - is) = \tau$$

$$A_{opt}^{pc, is} = \frac{\rho_2 - v \times pc - \frac{\tau}{(pc - svc) \times (1 - is)}}{\left(\rho_1 - \frac{v \times \rho_1}{\rho_2} \times pc \right)}$$

Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet bei Wärmedämmung ist jedenfalls geringer im Vergleich ohne Wärmedämmung da $\frac{\partial A_{opt}^{pc, is}}{\partial is} < 0$, unter der Annahme linear fallender Wärmedichte und konstanter Erschließungskosten.

Für das Fallbeispiel Bad Gleichenberg liegt das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet bei einer Wärmedämmung in Höhe von 30 % des Wärmebedarfs statt bei 292.100 m² bei nur 74.375 m². Durch eine Wärmedämmung in Höhe von 30 % des Endenergiebedarfs für Wärme wird somit das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet um $\frac{3}{4}$ reduziert im Vergleich zum optimalen Absatzgebiet ohne Wärmedämmung!

9. Kurzfassung

Problemstellung und Forschungsfrage

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der ökonomischen Optimierung des Absatzgebietes von Leitungsnetzen zur Güterbereitstellung unter Beachtung kompetitiver Substitutionsgüter und räumlich differenzierter Nachfragedichte. Die Begrenztheit des Absatzgebietes von Leitungsnetzen impliziert, dass Gebiete außerhalb dieses Absatzgebietes nur mehr mit alternativen, dezentralen Lösungen versorgt werden.

Infrastruktureinrichtungen in Form von Leitungsnetzen zur Bereitstellung eines Gutes stiften volkswirtschaftlichen Nutzen, verursachen aber, vor allem durch den Netzausbau, auch hohe Kosten. Es stellt sich daher die Frage, welches Absatzgebiet der leitungsgebundenen Güterbereitstellung ein gewinnmaximierender Anbieter anstrebt, wie groß also das betriebswirtschaftlich optimale Absatzgebiet ist und wie groß das volkswirtschaftlich optimale Absatzgebiet wäre. Dies impliziert, dass Gebiete außerhalb des Absatzgebietes der leitungsgebundenen Güterbereitstellung nur mehr mit alternativen, dezentralen Lösungen versorgt werden können.

Der ökonomische Erfolg von Leitungsnetzen zur Bereitstellung eines Gutes ist einerseits durch die hohen Kosten des Netzausbaues bestimmt, andererseits durch das Ausmaß der Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut und den erzielbaren Preis. Je größer das Absatzgebiet ist, desto größer ist die Nachfrage, desto größer aber auch die Kosten des Leitungsnetzes. Das „teure“ Leitungsnetz rentiert sich nur dort, wo die Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut hoch genug ist, was oft nur im Zentrum einer Gemeinde oder einer Stadt zutrifft. In Randlagen mit geringer Siedlungsdichte, wo die Nachfrage geringer ist, stellt sich die Frage, ob ein leitungsgebundenes Gut noch betriebswirtschaftlich oder volkswirtschaftlich effizient bereitgestellt werden kann oder dort das Substitutionsgut, das dezentral und nicht leitungsgebunden angeboten wird, überlegen ist.

Es gibt bereits einige betriebswirtschaftliche Optimierungsverfahren, die für konkrete Gebiete auf Basis kartierter Standorte der potentiellen Nachfrager (anzuschließende Objekte) die Netzausbauplanung optimieren. Allerdings können mit Hilfe dieser Verfahren keine verallgemeinerten Aussagen über *wohlfahrtsoptimale* Absatzgebiete und die Auswirkungen unterschiedlicher staatlicher Interventionsmaßnahmen zur Erreichung der wohlfahrtsoptimalen Allokation getroffen werden.

Zentrale Aufgabe dieser Arbeit ist daher, das *einzel- und volkswirtschaftlich* optimale Absatzgebiet eines Leitungsnetzes mit Hilfe mikroökonomischer

Methode zu bestimmen. Dass das volkswirtschaftlich optimale vom betriebs- oder einzelwirtschaftlich optimalen Absatzgebiet abweicht, ist gemäß der ökonomischen Theorie des natürlichen Monopols zu erwarten. Gegenstand der vorliegenden Dissertation ist die Analyse und Bestimmung dieser beiden Absatzgebiete bei Darstellung der Besonderheiten der Nachfragedichte.

Vorgehensweise und Methode

Langfristige Kosten- und Angebotsfunktion

Die Optimierung des Absatzgebietes eines leitungsgebundenen Güterangebots ist von der Problemstellung her ähnlich dem der Optimierung der Betriebsgröße- oder Produktionskapazität eines Unternehmens oder der Dimensionierung einer Maschine. Diese Problemstellungen werden in der Ökonomie mit dem Konzept der langfristigen Kosten- und Angebotsplanung bearbeitet. Für die hier untersuchte Optimierung des Absatzgebietes wird dieses Konzept der langfristigen Kosten¹⁵ des leitungsgebundenen Gutes herangezogen. Allerdings steht als endogene Größe nicht die optimierte Produktionskapazität, ausgedrückt als potentieller Output (z. B. kWh Wärme, m³ entsorgtes Abwasser, entspricht der Nachfrage D) im Vordergrund, sondern das optimierte Absatzgebiet, gemessen als Fläche des Gebietes, das wohlfahrtsoptimal versorgt werden kann, wenn sich alle Nachfrager für das leitungsgebundene Gut entscheiden.

Die langfristigen Gesamtkosten LTC der Bereitstellung eines leitungsgebundenen Gutes werden sowohl abhängig von vom Absatzgebiet A als auch von der nachgefragten, produzierten und abgesetzten Menge des Gutes D beschrieben, wobei jeweils lineare Zusammenhänge unterstellt werden:

$$Gl. 9.1: LTC = \tau \times A + svc \times D$$

LTC.....	Langfristige Gesamtkosten der leitungsgebundenen Güterbereitstellung [€/a]
τ	annuisierte Fixkosten je weiterer Einheit Absatzgebiet (Netzerrichtung und Betrieb) [€/m ² /a]
A.....	Absatzgebiet [m ²]
svc.....	kurzfristige Grenzkosten des Angebots des Gutes [z. B. €/kWh]
D.....	Produktion = Nachfrage des Gutes [z. B. kWh/a]

¹⁵ Die Kosten umfassen hier sowohl die annuisierten Kapitalkosten wie auch die Betriebskosten.

Je größer das Absatzgebiet des Leitungsnetzes A , umso größer ist die potentielle Nachfrage D bei einem bestimmten Preis p und umgekehrt. Die potentielle Nachfrage bzw. Produktion D ist daher neben dem Preis p des leitungsgebundenen Gutes auch vom Absatzgebiet des Leitungsnetzes A abhängig und es gilt

$$\text{Gl. 9.2: } D=D(p, A).$$

Ist der Zusammenhang zwischen D und A (und somit, durch Bildung der ersten Ableitung dieser Funktion, auch die konkrete Veränderung der Nachfrage abhängig von der Veränderung des erschlossenen Absatzgebietes) bekannt, dann können die langfristigen Gesamtkosten LTC als Funktion von p und A formuliert werden und die ökonomisch optimale Allokation in Form p_{opt} und A_{opt} bestimmt werden. Der Zusammenhang zwischen D und A wird in Form einer Nachfragedichtefunktion einbezogen.

Nachfrage und Nachfragedichte

Die Veränderung der Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut bei konstantem Preis \bar{p} und verändertem Absatzgebiet A kann geschrieben werden als $\frac{\partial D(\bar{p}, A)}{\partial A}$ und wird hier bezeichnet als Nachfragedichtefunktion.

Diese Nachfragedichtefunktion wird durch die Verteilung der Nachfrage im Betrachtungsgebiet bestimmt und ist oft mit der Bevölkerungsdichte verbunden. Sie zeigt die Nachfrage bei Veränderung des Absatzgebietes (z. B. gemessen in kWh Wärmenachfrage je m^2) und ist beobachtbar, z. B. durch eine räumlich verortete Wärmebedarfserhebung bei den potentiellen Wärmeabnehmern. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine vom Zentrum des Betrachtungsraumes aus kontinuierlich fallende Nachfragedichtefunktion unterstellt, d. h. $\frac{\partial D(\bar{p}, A)}{\partial A} > 0$ und $\frac{\partial^2 D(\bar{p}, A)}{\partial A^2} < 0$. Am Ende des Betrachtungsraumes ist die Nachfragedichte 0.

Weiters wird ein linear fallender Zusammenhang zwischen Nachfrage und Preis im Bereich $p \leq p_c$ unterstellt. Es wird hier angenommen, dass Nachfrager die Option haben, anstatt des leitungsgebundenen Gutes ein Substitutionsgut nachzufragen, das zum Preis p_c (der auf einem Markt mit vollständiger Konkurrenz gebildet wird) angeboten wird. Bei konstantem Absatzgebiet A_{fix} nimmt die Nachfrage mit steigendem Preis p linear ab und es gilt:

$$\frac{\partial D(p, A_{\text{fix}})}{\partial p} < 0 \text{ und } \frac{\partial^2 D(p, A_{\text{fix}})}{\partial p^2} = 0 \text{ für } p \leq p_c.$$

Wenn der Preis des leitungsgebundenen Gutes über dem Preis des kompetitiven Substitutionsgutes liegt (für $p > p_c$) wird angenommen, dass nur

noch das kompetitive Substitutionsgut nachgefragt wird und die Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut auf 0 absinkt.

Ergebnisse

Einzelwirtschaftlich optimale Allokation

Nachfrager haben annahmegemäß die Option, anstatt des leitungsgebundenen Gutes mindestens ein kompetitives Substitutionsgut nachzufragen. Dies impliziert, dass Anbieter von leitungsgebundenen Gütern ihre Preissetzung nur dann auf Monopolmacht gründen können, wenn der Preis des Substitutionsgutes p_c über dem Cournotpreis der Bereitstellung des leitungsgebundenen Gutes p^{Cournot} liegt. Wird das Substitutionsgut zu einem Preis angeboten, der geringer ist als der „Monopolpreis“ des leitungsgebundenen Gutes ist ($p^{\text{Cournot}} > p_c$), muss der Anbieter leitungsgebundener Güter von der Monopolpreisbildung Abstand nehmen und einen anderen gewinnmaximalen Preis wählen. Dieser einzelwirtschaftlich optimale Preis liegt, wie in der Dissertation gezeigt wird, sowohl kurz- als auch langfristig bei p_c , dem Preis des kompetitiven Substitutionsgutes, solange p_c größer ist als die Durchschnittskosten des leitungsgebundenen Gutes (wäre p_c kleiner als die Durchschnittskosten des leitungsgebundenen Gutes, müsste der Anbieter ein Defizit hinnehmen). Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet A_{optE} liegt beim Schnittpunkt der (den Preis des billigsten Substitutionsgutes darstellenden) Geraden p_c mit dem ansteigenden Ast der langfristigen Grenzkostenkurve $LMC(D(p, A))$ (siehe Abbildung 43) und es gilt daher $p_c = LMC(D(p_c, A))$. Analytisch gesehen bedeutet dies

$$p_c = LMC(D(p_c, A)) = \frac{dLTC(D(p_c, A))}{dD(p_c, A)} = \frac{\frac{dLTC(D(p_c, A))}{dA}}{\frac{dD(p_c, A)}{dA}} \text{ und daher gilt}$$

$$\text{Gl. 9.3: } p_c \times \frac{dD(p_c, A)}{dA} = \frac{dLTC(D(p_c, A))}{dA}.$$

Der Anbieter des leitungsgebundenen Gutes dehnt das Leitungsnetz also soweit aus, bis der Grenzerlös je weiterer Einheit Absatzgebiet, also z. B. Preis mal Veränderung der Nachfrage je weiteren m^2 Absatzgebiet oder $p_c \times \frac{dD(p_c, A)}{dA}$ größer ist als die Kosten der weiteren Einheit Absatzgebiet $\frac{dLTC(D(p_c, A))}{dA}$.

Nun ziehen wir wieder die Kostenfunktion aus Gl. 9.1 in Betracht und setzen diese in Gl. 9.3 ein. Es wird deutlich, dass das Absatzgebiet solange ausgedehnt wird, solange die Kostenvorteile der leitungsgebundenen

Güterproduktion im Vergleich zum kostengünstigsten Substitutionsgut ($pc - svc$) für jeden weiteren m^2 Absatzgebiet (das ist $(pc - svc) \times \frac{dD(pc, A)}{dA}$) größer ist als die Kosten τ eines jeden weiteren m^2 Absatzgebiet.

Wohlfahrtsoptimale Allokation

Während bei der einzelwirtschaftlichen Optimierung die Maximierung des Gewinnes angestrebt wird, wird bei der wohlfahrtsoptimalen Allokation der soziale Überschuss SÜ (Produzentenrente plus Konsumentenrente) maximiert. Es wird in dieser Dissertation gezeigt, dass bei kurzfristiger volkswirtschaftlicher Betrachtung und fixem Absatzgebiet A_{fix} der wohlfahrtsoptimale Preis den kurzfristigen Grenzkosten svc entspricht. Die kurzfristigen Grenzkosten svc liegen aufgrund der fallenden Durchschnittskostenkurve beim natürlichen Monopol immer unter den langfristigen Grenzkosten LMC und damit ist der wohlfahrtsoptimale Preis geringer als der einzelwirtschaftlich optimale Preis pc .

Für das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet A_{optW} wird nun der soziale Überschuss bei Zugrundelegen des kurzfristig optimalen Preises $p=svc$, $SÜ(D(p=svc, A))$ im Hinblick auf das erschlossene Absatzgebiet A maximiert.

Aus $\frac{dSÜ(p = svc, A)}{dA} = 0$ folgt

$$\text{Gl. 9.4: } svc \times \frac{dD(svc, A)}{dA} = \frac{dLTC(D(svc, A))}{dA} - \frac{dV(svc, A)}{dA}$$

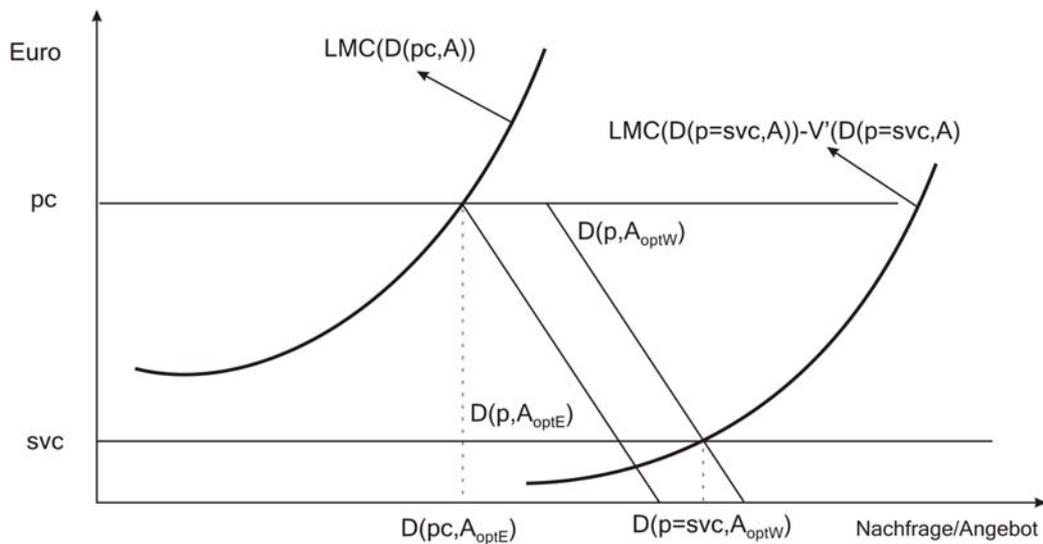
Das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet liegt also dort, wo der wohlfahrtsoptimale Preis des leitungsgebundenen Gutes in Höhe der kurzfristigen Grenzkosten svc den langfristigen Grenzkosten des leitungsgebundenen Gutes abzüglich den Grenznutzen aus Konsumentenrente entsprechen (siehe Abbildung 43). Das Leitungsnetz wird daher solange ausgedehnt, bis die volkswirtschaftlichen Nutzen je weiteren m^2 Absatzgebiet, das ist die Summe aus den Preisen in Höhe der kurzfristigen Grenzkosten svc mal der Nachfrage je m^2 $\frac{dD(svc, A)}{dA}$ und die Nutzen aus Konsumentenrente je m^2 $\frac{dV(svc, A)}{dA}$ den Kosten je weiteren m^2 Absatzgebiet $\frac{dLTC(D(svc, A))}{dA}$ entsprechen.

Nun ziehen wir wieder die Kostenfunktion aus Gl. 9.1 in Betracht und setzen diese in Gl. 9.4 ein. Es wird deutlich, dass das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet A_{optW} dort liegt, wo die Kosten eines jeden weiteren m^2 Absatzgebiet τ den Grenznutzen der Konsumenten $\frac{dV(svc, A)}{dA}$ entsprechen.

Aus dem Vergleich des zuvor gezeigten Zusammenhangs bei einzelwirtschaftlicher Optimierung $\tau = (pc - svc) \times \frac{dD(svc, A)}{dA}$ und dem Zusammenhang bei volkswirtschaftlicher Optimierung $\tau = \frac{dV(svc, A)}{dA}$ wird deutlich, dass das optimale Absatzgebiet aus einzelwirtschaftlicher Sicht nur dann dem wohlfahrtsoptimalen Absatzgebiet entspricht, wenn $\frac{dV(svc, A)}{dA} = (pc - svc) \times \frac{dD(pc, A)}{dA}$.

Bei fallender Nachfragedichte ausgehend vom Zentrum eines Versorgungsgebietes und konstanten Kosten der Raumerschließung τ , entspricht das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet nicht notwendigerweise dem einzelwirtschaftlich optimalen Absatzgebiet. Vielmehr ist das wohlfahrtsoptimale Absatzgebiet immer größer oder maximal gleich dem einzelwirtschaftlich optimalen Absatzgebiet. In diesem Fall ist die Nachfragekurve infolge der zusätzlichen Nachfrage nach rechts verschoben. Die folgende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang im Überblick:

Abbildung 43: Optimale Nachfragefunktionen bei den jeweiligen Absatzgebieten aus einzelwirtschaftlicher und wohlfahrtsoptimaler Sicht bei Vorhandensein eines kompetitiven Substitutionsgutes



pc	Preis des preisgünstigsten dezentral angebotenen Substitutionsgutes, einzelwirtschaftlich optimaler Preis des leitungsgebundenen Gutes
svc	kurzfristige Grenzkosten, wohlfahrtsoptimaler Preis
$D(p, A)$	Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut bei Preis p und Absatzgebiet A
$LMC(D(p, A))$	Langfristige Grenzkosten bei Preis p und Absatzgebiet A
$V'(D(p, A))$	Ableitung der Konsumentenrente bei Preis p und Absatzgebiet A , dV/dD
A_{optE}	einzelwirtschaftlich optimales Absatzgebiet
A_{optW}	wohlfahrtsoptimales Absatzgebiet

Quelle: Eigene Darstellung

Um ein wohlfahrtsoptimales Absatzgebiet zu erreichen, könnte in einem ersten Schritt das wohlfahrtsoptimal zu versorgende Gebiet (wie oben gezeigt) ermittelt werden und in einem zweiten Schritt die Versorgung dieses Gebietes in einem Ausschreibungsverfahren vergeben werden. Die im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens angebotenen Preise werden sich bei geeigneter Wahl der Ausschreibungsbedingungen an den Durchschnittskosten des leitungsgebundenen Gutes orientieren und somit könnte das „Second best“ Optimum realisiert werden. Das „First best“ Optimum bei einem Preis in Höhe der kurzfristigen Grenzkosten könnte nur dann erzielt werden, wenn neben dem zu versorgenden Gebiet auch der Preis für das leitungsgebundene Gut festgelegt und für eine Abdeckung des Defizits beim Anbieter gesorgt wird.

Staatsinterventionen zur Berücksichtigung negativer externer Effekte des Substitutionsgutes in Höhe von e bewirken eine Erhöhung des Preises für das Substitutionsgut auf $pc + e$. Damit führt eine Pigou-Steuer aufgrund der zuvor gezeigten einzelwirtschaftlichen Optimierung dazu, dass von den Konsumenten

des leitungsgebundenen Gutes höhere Preise im Ausmaß der Pigou-Steuer eingehoben werden. Das einzelwirtschaftlich optimale Absatzgebiet des Leitungsnetzes muss sich durch die Pigou-Steuer und die damit verbundene Preiserhöhung nicht notwendigerweise vergrößern. Durch den höheren Preis verschiebt sich bei preiselastischer Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut auch die langfristige Grenzkostenkurve, da die Nachfrage bei höherem Preis geringer ist und damit die langfristigen Grenzkosten höher sind. Ob es tatsächlich zu einem volkswirtschaftlich optimalen Absatzgebiet durch die Pigou-Steuer kommt oder nicht, hängt vom Verlauf der Grenzkostenkurve und der Preiselastizität der Nachfrage ab. Bei unelastischer Nachfrage und konstanten Kosten der Netzerweiterung kommt es jedenfalls zu einer Ausdehnung des Absatzgebietes, wenn für das Substitutionsgut eine Pigou-Steuer eingehoben wird. Je elastischer die Nachfrage reagiert, umso geringer wird die zusätzliche Ausdehnung des Absatzgebietes ausfallen.

Im Gegensatz dazu besteht bei einer an die Menge der Güterbereitstellung gebundenen Subvention an den Anbieter eines leitungsgebundenen Gutes in Höhe der externen Kosten des kompetitiven Substitutionsgutes mit Sicherheit ein Anreiz zur Ausdehnung des Absatzgebietes des leitungsgebundenen Gutes, da es zu keiner preisinduzierten Veränderung der Nachfrage und damit zu keiner Erhöhung der langfristigen Grenzkosten kommt.

10. Verzeichnisse

10.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gewinnmaximale Preis-Mengen-Kombination beim Monopol.....	15
Abbildung 2:	Gewinnmaximale Preis-Mengen-Kombination im natürlichen Monopol.....	16
Abbildung 3:	Wohlfahrtsoptimale Preis-Mengen-Kombination im natürlichen Monopol.....	19
Abbildung 4:	Kurzfristige und langfristige Gesamtkostenfunktion.....	20
Abbildung 5:	Kurzfristige und langfristige Grenz- und Durchschnittskostenkurven.....	22
Abbildung 6:	Langfristige Gewinnmaximierung im Markt mit vollständiger Konkurrenz.....	24
Abbildung 7:	Langfristige Gewinnmaximierung beim Monopol.....	25
Abbildung 8:	Negative externe Effekte.....	28
Abbildung 9:	Pigou-Steuer.....	29
Abbildung 10:	Beispielhafter Verlauf einer Wärmenachfragedichte im Betrachtungsraum.....	34
Abbildung 11:	Karte der Gemeinde Bad Gleichenberg.....	39
Abbildung 12:	Nachfrage nach leitungsgebundenen Gütern, Preis und Absatzgebiet.....	43
Abbildung 13:	Linearer Verlauf der Nachfragedichte.....	46
Abbildung 14:	Nachfrage bei linearem Verlauf der Nachfragedichte.....	47
Abbildung 15:	Exponentiell fallende Nachfragedichte.....	47
Abbildung 16:	Nachfragefunktion bei exponentiell fallender Nachfragedichte.....	48
Abbildung 17:	Fallender Nachfragedichteverlauf entsprechend der Wahrscheinlichkeitsdichte einer Normalverteilung.....	49
Abbildung 18:	Gebietsverteilung Bad Gleichenberg.....	50
Abbildung 19:	Wärmenachfrage- und Wärmenachfragedichte in Bad Gleichenberg bei linear fallender Nachfragedichte.....	53
Abbildung 20:	Wärmenachfrage- und Wärmedichtefunktion in Bad Gleichenberg bei exponentiell fallender Nachfragedichte.....	54
Abbildung 21:	Preis-Nachfrage-Funktion.....	55
Abbildung 22:	Preis-Wärmenachfragedichte-Funktion in Bad Gleichenberg.....	63
Abbildung 23:	Absatzgebiet -Wärmenachfragedichte-Funktion in Bad Gleichenberg.....	64
Abbildung 24:	Preis-Wärmenachfrage-Funktion in Bad Gleichenberg.....	65
Abbildung 25:	Absatzgebiet -Wärmenachfrage-Funktion in Bad Gleichenberg.....	65
Abbildung 26:	Kurzfristige Kostenverläufe bei Absatzgebiet A_{fix}	68
Abbildung 27:	Kurzfristige Gesamt-, Grenz- und Durchschnittskostenverläufe bei unterschiedlichen Absatzgebieten.....	70
Abbildung 28:	Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktionen.....	71
Abbildung 29:	Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktion bei unterschiedlichen Preisen.....	74
Abbildung 30:	Langfristige Kosten abhängig vom Absatzgebiet in Bad Gleichenberg.....	77
Abbildung 31:	Optimierungssituationen.....	81
Abbildung 32:	Kurzfristige Nachfrage- und Kostenfunktion bei Absatzgebiet A_1	82
Abbildung 33:	Optimaler Produktionsplan aus einzelwirtschaftlicher Sicht bei Vorhandensein eines kompetitiven Substitutionsgutes zum Preis p_c	84

Abbildung 34:	Kurzfristige Nachfrage- und Kostenfunktion, second best Optimum und Optimum bei Vorhandensein kompetitiver Konkurrenzgüter	86
Abbildung 35:	Ableitung der langfristigen aus den kurzfristigen Kostenfunktionen	88
Abbildung 36:	Zusammenhang kurzfristige Kostenverläufe und langfristige Kostenfunktion bei unterschiedlichen Preisen	89
Abbildung 37:	Optimales Absatzgebiet bei einzelwirtschaftlicher Gewinnmaximierung	90
Abbildung 38:	Optimale Absatzmenge bei einzelwirtschaftlicher Gewinnmaximierung und unterschiedlichen Absatzgebieten	94
Abbildung 39:	Optimales Absatzgebiet und externe Effekte	107
Abbildung 40:	Subvention als Staatsintervention bei externen Nutzen der Nachfrage nach dem leitungsgebundenen Gut (durch Verringerung der Nachfrage nach dem Substitutionsgut, das negative externe Effekte aufweist)	109
Abbildung 41:	Internalisierung externer Nutzen mittels Pigou-Steuer	110
Abbildung 42:	Einzelwirtschaftliche Optimierung mit und ohne Wärmedämmung	114
Abbildung 43:	Optimale Nachfragefunktionen bei den jeweiligen Absatzgebieten aus einzelwirtschaftlicher und wohlfahrtsoptimaler Sicht bei Vorhandensein eines kompetitiven Substitutionsgutes	123

10.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wärmebedarf in Bad Gleichenberg in den zwanzig Teilgebieten	51
Tabelle 2:	Verteilung des Energieträgereinsatzes zur Raumwärmebereitstellung in Bad Gleichenberg ..	61
Tabelle 3:	Datengrundlagen zur Bestimmung der externen Kosten der CO ₂ -Emissionen aus der Raumwärmebereitstellung in Bad Gleichenberg	106

11. Literatur

- Amt der NÖ Landesregierung 2001 (Hrsg.), NÖ Energiebericht 2001, Bericht über die Lage der Energieversorgung in Niederösterreich 2000, St. Pölten, 2001.*
- Baumol, W. J., Panzar, J. C., Willig, R. D., Contestable Markets and the Theory of Industry Structure, rev. Aufl., New York, 1988.*
- Blankart, C., Ökonomie der öffentlichen Unternehmung, Verlag Franz Vahlen, München, 1980.*
- BMLFUW, Studie zeigt: Leistungsfortschritt bei Biomasseheizwerken, Ökoprosjekt. Das Fachmagazin für Umweltförderung 1/2003, S. 6.*
- Böhmer, P., Elsner, N., Ein Beitrag zur optimalen Dimensionierung unvermaschter Rohrnetze, in Energietechnik, Heft 5. Mai 1971, S. 222-228.*
- Böhmer, P., Lippmann, U., Auslegung von Wärmeversorgungsanlagen bei unsicheren Eingangsinformationen, in : Energietechnik, 35. Jg., Heft 6, 1985, S. 214-217.*
- Borrmann, J., Finsinger, J., Markt und Regulierung, Verlag Franz Vahlen, München, 1999.*
- Brümmerhoff, D., Finanzwissenschaft, 8. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, Wien, 2001.*
- Bühler, S., Jaeger F., Einführung in die Industrieökonomik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.*
- Cembrowicz, R. G., Water Supply Network Simulation & Optimisation, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe 1997*
- Duan, G., Yixin Y., Power Distribution System Optimisation by an Algorithm for Capacitated Steiner Tree Problems with complex Flows and arbitrary Cost Functions, in: Electrical Power & Energy Systems, Elsevier 2002.*
- Fritsch, M., Wien, T., Ewers, H.-J., Marktversagen und Wirtschaftspolitik, Verlag Franz Vahlen, München, 2001.*
- Gee, C., Neumann, L., Treuner, P., Die Kapazitätsverteilung und Standortwahl öffentlicher Infrastruktureinrichtungen, IREUS-Schriftenreihe 5, Stuttgart, 1982.*

- GEMIS 4.2 Österreichupdate: Programm GEMIS Version 4.2 und Datensatz Österreichupdate des Umweltbundesamtes Wien, 2005.*
- Glück, B., Heizwassernetze für Wohn- und Industriegebiete, VEB, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1985.*
- Grundwald, H., Staatliche Interventionen zur Forcierung von Biomasse-Fernheizwerken, Diplomarbeit an der TU-Wien, 1993.*
- Hackner, J., Energiewirtschaftlich optimale Ausbauplanung kommunaler Fernwärmesysteme, Dissertation Technische Universität Wien, 2004.*
- Huber, J., Huemer, U., Kratena, K., Mahringer, H., Mittelfristige Beschäftigungsprognose für Österreich, WIFO, März 2006.*
- Jochimsen, R., Gustafson, K., Infrastruktur. Grundlage der marktwirtschaftlichen Entwicklung, in Simonis, U. E. (Hrsg.), Infrastruktur. Theorie und Politik, Köln, 1970.*
- KOMM(2006) 848, Fahrplan für erneuerbare Energien, Mitteilung der Kommission, Brüssel, den 10.1.2007, KOMM(2006) 848 endgültig.*
- Köttl, J., Two Models of Network Economics: Software Monopolies and Infrastructure Networks, Dissertation, Universität Wien, 2002.*
- Ljubic ,I., Exact and Memetic Algorithms for Two Network Design Problems, Dissertation Technische Universität Wien und Technische Universität Graz, 2004*
- Obernberger, I., Möglichkeiten der technologischen und wirtschaftlichen Optimierung von Biomasse-Nahwärme und Mikronetzen in Energieverwertungsagentur (Hrsg.), Tagungsband zur internationalen ALTENER-Konferenz „Mikronetze – Gebäudeübergreifende Wärmeversorgung auf Biomassebasis, 16. – 17. Oktober 1997 in Salzburg, Wien, 1997.*
- Obernberger, I., Netzberechnungsprogramm „RDesign“ zur Dimensionierung und Optimierung von Nahwärmenetzen, in: Euroheat & Power – Fernwärme International 12/2001, S. 48-55.*
- ÖKL Merkblatt 67, Technisch Wirtschaftliche Standards für Biomassefernheizwerke, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Wien, 1999.*

- Poggemann, R., Anwendererfahrungen mit einem neu entwickelten EDV-Werkzeug zur Optimierung von Fernwärmesystemen, in: Euroheat & Power –Fernwärme International 1-2/1998, S. 68-77.*
- Rakos, C., The Diffusion of biomass District Heating in Austria, Austrian Contribution to the Project „EXPRESS PATH“, Institute of Technology Assessment, Austrian Academy of Sciences, Vienna, 1995.*
- Schierenbeck, H., Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, 4. Auflage, Oldenbourg Verlag, München Wien, 1989.*
- Schönböck, W., Adensam, H., Kosz, M., Ökonomische Evaluation der Biomassenutzung in Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" Nr. 8/97, Wien, 1997.*
- Schumann, J., Grundzüge der mikroökonomischen Theorie, Fünfte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokio, 1987.*
- Schumann, J., Meyer, U., Ströbele, W., Grundzüge der mikroökonomischen Theorie, Siebente Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999.*
- Semidubsky, A., Daten zur Erneuerbaren Energie in Österreich 2004, Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Energieverwertungsagentur (Hrsg.), Wien, 2004.*
- Starzer, O., Rakos, C., Semidubsky, A., Österreichspezifische Aufbereitung der Ergebnisse des Thermie B-Projekts BIO-COST: „Auswirkungen von nationalen Biomasse-Rahmenbedingungen auf Investitionskosten von Biomasseheizwerken“ Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, GZ 73.162/1-V/A/8/99, Wien, 2000.*
- Statistik Austria, Auf dem Weg zu einem Nachhaltigen Österreich, Indikatoren-Bericht, im Auftrag des BMLFUW, Wien, 2004.*
- Tietz, H.-P., Erschließungs- und Standortplanung für die Fernwärmeversorgung, Dissertation, Universität Karlsruhe, 1983.*
- Tietz, H.-P., Systeme der Ver- und Entsorgung, Funktionen und räumliche Strukturen, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2007.*
- Turk, H., Leitungsgebundene regionale Raumwärmeversorgung – EDV-Konzepte und Optimierungsansätze, Dissertation am Institut für Energiewirtschaft, TU Wien, 1989.*

Varian, H. R., Bergstrom, T. C., Intermediate Microeconomics, 6. Auflage, Oldenbourg, 2003.

Von Brunn, H., Günzel, H., Leutloff, S., Maubach, K.-D., Energiebezugs- und Einsatzoptimierung in Querverbundsystemen, in : Euroheat & Power – Fernwärme International 1-2/1999, S. 32-34.

Wärmebedarfserhebung 1996, Daten der Wärmebedarfserhebung in Bad Gleichenberg in Form eines Excel-Files, zur Verfügung gestellt von der Firma ARGE FORSCHUNG, PLANUNG, BERATUNG, ING. KORDINA, freigegeben von der Gemeinde Bad Gleichenberg, 1996.

Lebenslauf Mag. Heidelinde Adensam

Geburtsdatum und -ort : 22.03.69, Wien

Nationalität: Österreich

Familienstand: verheiratet; 2 Kinder

Ausbildung:

Einrichtung/Anstalt	Technische Universität Wien Doktorratsstudium Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik
<i>Datum: von - bis</i>	Seit 2006
<i>Abschluss</i>	
Einrichtung/Anstalt	Technische Universität Wien Studienrichtung Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik Diplomarbeit am Institut für Finanzwissenschaft- und Infrastrukturpolitik
Datum: von - bis	1988 - 1995
Abschluss	1995
Einrichtung/Anstalt	Handelsakademie Hetzendorf
Datum: von - bis	1983 - 1988
Abschluss	1988

Fremdsprachkenntnisse: (Grundkenntnisse, in Wort und Schrift, verhandlungsfähig)

Englisch, Spanisch

Qualifikationen:

Seit 1998 Leitung von inter- und transdisziplinären Forschungsprojekten. Seminare im Bereich Projektleitung, Projektcontrolling, Kommunikation und Konfliktmanagement in Projekten.

Seit 2000 Lehrbeauftragte (1995 Lektorat an der TU-Wien und seit 2000 Unterricht am Technologischen Gewerbe Museum).

Arbeitsschwerpunkte und Methodenkompetenz:

- Energiewirtschaft, Erneuerbare Energie
- Nachwachsende Rohstoffe
- Modellierung: Szenarioanalyse, Agentenbasierte Modellierung
- Bewertung: Kosten-Nutzen-Analyse und Multikriterielle Bewertungsverfahren von Energiebereitstellungstechnologien
- Input-Output-Analyse: Berechnung der Wertschöpfungs-, Beschäftigungs- und fiskalischen Effekte
- Emissionsmodellierung, Produktlebenszyklusanalyse, GEMIS-Österreich

Auflistung der Berufserfahrung:

Datum: von - bis	Feb. 1994 - Nov. 1995
Ort	Wien
Arbeitgeber	Institut für Finanzwissenschaft- und Infrastrukturpolitik der TU-Wien
Position	Vertragsassistentin
Beschreibung	Wissenschaftliche Mitarbeit an Projekten im Bereich Kosten-Nutzen-Analyse, Biomassenahwärme und Input-Output-Analyse
Datum: von - bis	Jun. 1995 - Feb. 1996
Ort	Wien
Arbeitgeber	Umweltbundesamt, Abteilung „Allgemeine Ökologie“
Position	Wissenschaftliche Mitarbeit
Beschreibung	Projektmitarbeit im Bereich Energiewirtschaft
Datum: von - bis	1996
Ort	Wien
Arbeitgeber	Institut für Finanzwissenschaft- und Infrastrukturpolitik der TU-Wien
Position	Lektor
Beschreibung	Praktikum zur Biomassenahwärmeplanung
Datum: von - bis	2000
Ort	Wien
Arbeitgeber	Umweltbundesamt, Abteilung „Allgemeine Ökologie“
Position	wissenschaftliche Mitarbeiterin
Beschreibung	Adaption des Computerprogramms GEMIS zur Ökobilanzierung von Energiesystemen

Lebenslauf

Datum: von – bis	Seit Sept. 2001
Ort	Wien
Arbeitgeber	BMBWK, Technologisches Gewerbemuseum
Position	Vertragslehrerin
Beschreibung	Unterricht des Gegenstandes „Ökologie und Energiewirtschaft“ im Kolleg Erneuerbare Energie und Betreuung von Diplomarbeiten
Datum: von – bis	Seit Sept. 2001
Ort	Wien
Arbeitgeber	BMBWK, Technologisches Gewerbemuseum
Position	Vertragslehrerin
Beschreibung	Unterricht des Gegenstandes „Ökologie und Energiewirtschaft“ im Kolleg Erneuerbare Energie und Betreuung von Diplomarbeiten
Datum: von – bis	Jänner 1996 – Jänner 2006
Ort	Wien
Arbeitgeber	Österreichisches Ökologie-Institut
Position	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Beschreibung	Angewandte Forschungsprojekte im Bereich Energie- und Umweltökonomie sowie Ressourcenmanagement
Datum: von – bis	Jänner 2006 – Jänner 2008
Ort	Wien
Arbeitgeber	Universität Klagenfurt,
Position	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Beschreibung	Interdisziplinäre Forschungsprojekte im Bereich Agrarökonomie, Landnutzung und agentenbasierter Modellierung

Derzeitige Stellung:

Mitarbeiterin und Projektleiterin bei der Österreichischen Energieagentur.

Kontaktadresse:

Heidi Adensam
 Passinigasse 11
 1100 Wien
 Tel. und Fax: 01 688 48 18
 Email: heidi@adensam.at