

Kombinatorische Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen

Der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der
Universität Paderborn

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Wirtschaftswissenschaften
- Doctor rerum politicarum -
vorgelegte Dissertation
von

Dipl. Wirt.-Inform. Atilla Yalcin
geboren am 15.04.1984 in Frankfurt am Main

2015

Abstract — deutsch

Viele Industrie- und Handelsunternehmen vergeben heutzutage ihre Transportleistungen an spezialisierte Logistikdienstleister. In einigen Branchen hat sich dafür auch das Gebietsspediteurkonzept etabliert, bei dem die Transportleistungen gebietsweise an exklusive Logistikdienstleister übertragen werden. In dieser Arbeit wird die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen betrachtet. Es werden kombinatorische Auktionen für die kostenoptimale Allokation von Gebieten an Logistikdienstleister untersucht. Aufgrund der Komplexität von kombinatorischen Auktionen werden zwei neue kombinatorische Lösungsansätze vorgestellt. Der erste Lösungsansatz ist ein iteratives Auktionsverfahren, in dem die Bieter und der Auktionator abwechselnd relevante Gebotsinformationen austauschen. Für die effiziente Gebietsanfrage durch den Auktionator ist ein Netzwerkdesignproblem zu lösen. Der zweite Lösungsansatz ist die Entwicklung einer Gebotssprache für bedingte Einzelgebote. Dieser Ansatz ermöglicht es den Bietern, Abhängigkeiten zwischen Geboten präziser durch ihr Preismodell abzubilden. Für die Lösung des erweiterten Gewinnerermittlungsproblems wird ein ganzzahliges Optimierungsmodell formuliert. Weiterhin wird ein Bewertungsmodell für Logistikdienstleister entwickelt, um deren Entscheidungssituation in Gebietsauktionen realitätsnah zu modellieren. In einer umfangreichen Simulationsstudie werden die entwickelten Auktionsverfahren mit bereits existierenden Auktionsverfahren verglichen. Die Ergebnisse der numerischen Analyse zeigen, dass kombinatorische Auktionsverfahren den herkömmlichen Verfahren überlegen sind. Ein weiteres Ergebnis der Studie ist, dass das in dieser Arbeit entwickelte iterative Verfahren eine sehr effiziente Offenbarung von Gebotsinformationen besitzt, deren Ergebnisse nahe dem Kostenoptimum liegen.

Abstract — englisch

Many manufacturing and trading companies nowadays outsource their transportation services to specialized logistic service providers. Therefore the concept of area forwarding based logistic networks has been established in some industries to assign transportation services to exclusive logistic service providers per region. In this thesis the assignment of transportation services for area forwarding based logistic networks is considered. Combinatorial auctions are analyzed for the cost optimal allocation of areas to logistic service providers. Due to the complexity of combinatorial auctions two new solution approaches for combinatorial auctions are presented. The first solution approach is an iterative combination auction where bidders and the auctioneer exchange relevant bidding information alternately. In order to formulate efficient area requests the auctioneer has to solve a network design problem. The second solution approach is the development of a bidding language for contingent single bids. This approach facilitates bidders to model dependencies between bids more precisely in their pricing model. To solve the extended winner determination problem an integer optimization problem is formulated. Furthermore a value model for logistic service providers is developed in order to model the decision problem in auctions realistically. The developed auction designs are compared with existing auction designs in an extensive simulation. The results of the numerical analysis reveal that combinatorial auctions are superior to traditional auctions. A further finding is that the developed iterative auction has an efficient elicitation of bidding information. The achieved results of the iterative auction are close to the cost optimum.

Danksagungen

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis meiner Forschungsarbeit, die während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Decision Support & Operations Research Lab (DS & OR Lab) der Universität Paderborn und meiner anschließenden Tätigkeit bei der K+S AG entstand. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich dabei unterstützt haben.

Zu aller erst möchte ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Leena Suhl bedanken, die mir als wissenschaftlicher Mitarbeiter die Möglichkeit und den Freiraum für meine Promotion gegeben hat. Sie hat mich fortwährend dabei unterstützt mein Forschungsvorhaben voranzutreiben und umzusetzen. Bei Prof. Dr. Achim Koberstein möchte ich mich für die Übernahme des Zweitgutachtens meiner Dissertation bedanken.

Ich möchte mich bei allen Kollegen während meiner Zeit am DS & OR Lab für die gute Zusammenarbeit und die angenehme Atmosphäre bedanken. Insbesondere bedanke ich mich bei meinem Bürokollegen Lars Beckmann und bei Tim Schöneberg für die zahlreichen und interessanten Diskussionen. Außerdem bedanke ich mich bei unseren Projektpartnern Jens Peter Kempkes und Stefan Bunte von der ORCONOMY GmbH für die fachlichen Diskussionen.

Desweiteren möchte ich mich bei meinem nun ehemaligen Vorgesetzten Kai Rasser von der K+S AG für die mir gewährte Flexibilität bei der Fertigstellung meiner Dissertation bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und mir von meiner Schulzeit bis zu meiner Promotion immer ihre volle Unterstützung gegeben haben.

Schließlich möchte ich mich zutiefst bei meiner lieben Frau Fatma für ihre Geduld und ihr Verständnis bedanken, da sie aufgrund meiner Arbeit an der Promotion viel auf mich verzichten musste. Sie hat mich immer motiviert an meiner Dissertation weiterzuarbeiten und mir viel Kraft gegeben.

Paderborn, im September 2015

Atilla Yalcin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung der Arbeit	3
1.3. Struktur der Arbeit	3
2. Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen	5
2.1. Marktumfeld von Gebietsspeditionen	5
2.1.1. Grundformen von Transportleistungen	5
2.1.2. Charakterisierung von Logistikdienstleistern	8
2.1.3. Markt für Kontraktlogistik	16
2.2. Gebietsspediteurkonzept	19
2.2.1. Begriff und Konzept	19
2.2.2. Anforderungen an einen Gebietsspediteur	21
2.2.3. Vorteile des Gebietsspediteurkonzepts	24
2.2.4. Aufgaben des Verladers	26
2.3. Logistiksystem des Gebietsspediteurkonzepts	29
2.3.1. Leistungsumfang eines Gebietsspeditionssystems	30
2.3.2. Charakterisierung und Abgrenzung des Logistiksystems	35
2.3.3. Prozesse im Gebietsspeditionssystem	37
2.4. Ausgestaltung des Vergabeprozesse in Gebietsspeditionsnetzen	41
2.4.1. Ablauf einer Gebietsauktion	41
2.4.2. Tarife im Gebietsspeditionssystem	44
2.4.3. Berechnung von Gebotspreisen	48
2.4.4. Ziele von Verladern	49
2.4.5. Grundformen von Bündelauktionen	50
3. Modellierung von Gebietsspeditionssystemen	55
3.1. Modelle des Netzwerkdesigns	55
3.2. Modelle der Transportplanung	63
4. Kombinatorische Auktionen	67
4.1. Einführung	67
4.2. Das Gewinnerermittlungsproblem	70
4.3. Das Präferenzoffenbarungsproblem	73
4.4. Vergabe von Transportleistungen durch kombinatorische Auktionen	77

5. Handlungsbedarf	83
5.1. Handlungsbedarf	83
5.2. Ziele der Arbeit	85
6. Neue Lösungsansätze für kombinatorische Gebietsauktionen	87
6.1. Hybrides Auktionsprotokoll mit interpolierten Gebietspreisen	87
6.1.1. Der Ablauf des hybriden Auktionsprotokolls	88
6.1.2. Netzwerkdesignproblem mit interpolierten Gebietspreisen	90
6.1.3. Parameterschätzung	96
6.2. Die Gebotssprache bedingter Gebote	106
6.2.1. Gewinnerermittlung mit bedingten Einzelgeboten	109
6.2.2. Eigenschaften bedingter Einzelgebote	110
7. Das Bewertungsmodell für Gebietsspeditionssysteme	119
7.1. Problemmodellierung	119
7.1.1. Abgeleitete Transportbedarfe	121
7.1.2. Tourenplanung im Vorlauf	122
7.1.3. Umlaufplanung im Hauptlauf	124
7.1.4. Bereitstellungsplanung	127
7.2. Mathematisches Optimierungsmodell	128
7.3. Lösungsheuristik	133
8. Numerische Analyse	141
8.1. Aufbau der Simulationsumgebung	141
8.1.1. Systemumgebung	141
8.1.2. Generierung von Vergabeszenarien	142
8.1.3. Auktionssystem	146
8.1.4. Auktionsverfahren	149
8.2. Ergebnisse der numerischen Untersuchung	151
8.2.1. Untersuchungsszenario	152
8.2.2. Ergebnisse für das Basisszenario	152
8.2.3. Effekte variierender Abrufwahrscheinlichkeiten	155
8.2.4. Einfluss des Gewinnaufschlages	162
8.2.5. Einfluss der Anzahl der Gebote	164
9. Zusammenfassung und Ausblick	171
9.1. Zusammenfassung	171
9.2. Ausblick	172
Literaturverzeichnis	175
A. Datentabellen	187

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Die Logistikwirtschaft gehört mit einer jährlichen Wirtschaftsleistung von 223 Mrd. € nach der Automobilindustrie zum zweitgrößten Wirtschaftszweig in Deutschland.¹ Im Zuge der Konzentration der Industrie- und Handelsunternehmen auf ihre Kernkompetenzen ist eine Verlagerung von Logistikdienstleistungen an dafür spezialisierte Logistikdienstleister festzustellen.² Es handelt sich dabei längst nicht mehr um einfache, kurzfristige Aufträge, die Industrie- und Handelsunternehmen, die auch als Verlader bezeichnet werden, an Logistikdienstleister vergeben, sondern oftmals werden komplexe logistische Prozesse und Dienstleistungen für mehrere Jahre an Logistikdienstleister übertragen. Das Geschäftsfeld mit derartig langfristigen Beziehungen wird auch als Kontraktlogistik umschrieben. Das Augenmerk richtet sich damit umso mehr auf die Ausschreibung von logistischen Aktivitäten mit einem Umfang von mehreren Millionen Euro pro Jahr, da die Ergebnisse einer Ausschreibung die zukünftigen Kosten und Erlöse der verladenden Unternehmen und der Logistikdienstleister festlegen.

Anstelle der Vergabe von logistischen Dienstleistungen an einen einzigen Logistikdienstleister mit einem großen flächendeckenden Logistiknetzwerk hat sich in einigen Branchen das Gebietsspediteurkonzept etabliert, bei dem die logistischen Dienstleistungen in Gebiete aufgeteilt an exklusive Logistikdienstleister vergeben werden. Die Ursprünge des Gebietsspediteurkonzepts gehen auf die Problematik der Beschaffungslogistik in der Automobilindustrie Ende der 70er-Jahre zurück, wo es heute immer noch seine größte Anwendung hat. Nach einer Umfrage von Göpfert im Jahr 2008 werden in der Automobilindustrie ca. 70 % des Teilevolumens über das Gebietsspeditionssystem abgewickelt.³ Das Gebietsspediteurkonzept ist heutzutage nicht mehr nur auf die Beschaffungslogistik beschränkt, sondern findet auch in der Distributionslogistik von vielen Branchen Anwendung.⁴

Die Vergabe von langfristigen Kontrakten für die Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen wird üblicherweise über Ausschreibungen organisiert. Als eine gängige Vorgehensweise wird bei der Vergabe dieser Transportleistungen das Gesamtgebiet vom Verlader in kleinere Gebiete unterteilt und getrennt ausgeschrieben. Allerdings besitzt diese Vorgehensweise eine Reihe von Nachteilen. Die Verloader müssen bereits im Vorfeld einer Ausschreibung frühzeitig die Aufteilung der Gebiete festlegen. Hierfür

¹Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 47.

²Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 19.

³Vgl. Göpfert und Grünert (2009), S. 158.

⁴Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 201.

setzen Verlader in der Regel aufwendige Netzwerkmodelle bzw. Netzwerksimulationen ein, um die Kosteneffekte der Gebietsaufteilung zu quantifizieren. Problematisch dabei ist, dass die Verlader die Situation der einzelnen Logistikdienstleister, beispielsweise ihr Aufkommen an Drittgeschäften, nicht kennen und in den Modellen nicht berücksichtigen können. Außerdem wird durch die Größe und Lage der Gebiete bereits ein Teil der Logistikdienstleister bevorteilt. Hierdurch bleibt insbesondere kleineren und mittelständischen Unternehmen der Eintritt in diesen Markt verwehrt, da sie die geforderten Logistikkapazitäten für größere Gebiete meist nicht aufbringen können. „Anstatt aufwendige eigene Netzwerksimulationen zu fahren, lassen deshalb einige Unternehmen gleich 'den Markt sprechen' und gestalten ihr Beschaffungsnetzwerk auf der Basis von Ausschreibungen“⁵, stellt Bretzke angesichts dieser Situation der Verlader fest. Es bleibt jedoch unklar, wie die Netzstrukturen aus den Ausschreibungen zu bestimmen sind.

Eine alternative Ausschreibungsform dazu sind kombinatorische Auktionen. In kombinatorischen Auktionen können Bieter auf selbst definierte Güterbündel Gebote abgeben, um dadurch die Gebotspreise für bevorzugte Güterbündel präziser zu bepreisen. In Bezug auf die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen können damit die Logistikdienstleister ihre Gebiete selbst zusammenstellen und dadurch dem Verlader Vorschläge für das zukünftige Netzwerk unterbreiten. Die selbst definierten Bündelgebote bieten dem Verlader die Gelegenheit, mit den Logistikdienstleistern gemeinschaftlich Kostenoptimierungspotenziale zu identifizieren. Obwohl sich die Forschung zu kombinatorischen Auktionen noch in den Anfängen befindet, existieren bereits eine Reihe von erfolgreichen Anwendungen von kombinatorischen Auktionen in der Praxis.⁶ Das prominenteste Beispiel ist der Einsatz von kombinatorischen Auktionen für die Vergabe von Mobilfunklizenzen in den USA durch die Federal Communications Commission (FCC)⁷, bei der das Ausschreibungsvolumen mehrere Milliarden Dollar umfasst.⁸ Studien zeigen, dass der Einsatz von kombinatorischen Auktionen gegenüber alternativen Ausschreibungsformen effizientere Allokationen hervorbringt.⁹ Allerdings ist das Hauptproblem von kombinatorischen Auktionen, dass exponentiell viele Gebote benötigt werden, um effiziente Allokationen zu garantieren, dies wird auch als Präferenzoffenbarungsproblem bezeichnet.

In dieser Arbeit untersuchen wir kombinatorische Auktionen als alternative Ausschreibungsform zur Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen. Wir beschränken uns für das Gebietsspeditionssystem auf die Beschaffungslogistik, bei der ein Verlader die Transporte von den Lieferanten zu seinen Werken zu organisieren hat. Die Problemstellung des Verladers besteht darin, die kostenoptimale Allokation von Gebieten zu Logistikdienstleistern für das Gebietsspeditionsnetz zu finden. Für

⁵Bretzke (2010), S. 266.

⁶Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 127.

⁷Vgl. Pekec und Rothkopf (2003), S. 1486.

⁸Vgl. Goeree und Holt (2010), S. 146.

⁹Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 133.

unsere Untersuchungen gehen wir zur Analyse des Allokationsproblems des Verladers von folgenden Annahmen aus:

- Das Logistiknetzwerk besteht aus einer großen Anzahl von Lieferanten und einer kleinen Anzahl von Werken, zu denen Lieferteile der Lieferanten transportiert werden sollen.
- Die Logistikdienstleister erhalten vom Verlager vor der Gebietsauktion Informationen zu den Transportbedarfen für das Logistiknetzwerk (z. B. in Form vergangener Transportaufträge eines repräsentativen Zeitraums), die als Basis für die Kalkulation der Logistikdienstleister und gleichzeitig für den Verlager zur Evaluation der Gebote dient.
- Die Logistikdienstleister können auf eine beliebige, aber begrenzte Menge von Gebietsbündel bieten.
- Die Logistikdienstleister geben die Preise der Bündelgebote als Frachttarife ab.
- Alle Logistikdienstleister unterhalten nur ein Konsolidierungszentrum.¹⁰

1.2. Zielsetzung der Arbeit

Diese Arbeit verfolgt zwei wesentliche Ziele: Das erste Ziel ist die Erforschung und Entwicklung von neuen kombinatorischen Lösungsansätzen, die das Problem der Präferenzoffenbarung in kombinatorischen Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen adressiert. Das zweite Ziel dieser Arbeit ist zu untersuchen, welche Vergabeform für die vorliegende Problemstellung am geeignetsten ist. Hierfür wird zum einen das Entscheidungsproblem von Logistikdienstleistern modelliert, zum anderen werden in einer Simulation die Ergebnisse verschiedener Auktionsverfahren untersucht.

1.3. Struktur der Arbeit

In Kapitel 2 wird das grundlegende Problem der Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen beschrieben. In Kapitel 3 und Kapitel 4 wird der Stand der Forschung für die vorliegende Problemstellung analysiert. Hierbei gibt Kapitel 3 eine Literaturanalyse zur Modellierung von Gebietsspeditionssystemen. In Kapitel 4 hingegen wird ein Überblick über kombinatorische Auktionen gegeben und Arbeiten für die Vergabe von Transportleistungen gesichtet. Anschließend wird in Kapitel 5 die

¹⁰Logistikdienstleister mit mehr als einem Konsolidierungszentrum werden für jedes Konsolidierungszentrum getrennt modelliert.

wesentlichen Erkenntnisse zum Stand der Forschung für die vorliegende Problemstellung zusammengefasst und daraus der Forschungsbedarf ermittelt. In Kapitel 6 werden zwei Lösungsansätze von kombinatorischen Auktionen präsentiert, die auf unterschiedlichen Wegen mit einer geringen Anzahl von Bündelgeboten zu effizienten Allokationen führen sollen. In Kapitel 7 wird ein Bewertungsmodell für die Logistikdienstleister in Gebietsauktionen entwickelt, um die Kosten für verschiedene Gebietsbündel zu bewerten. Das Kapitel 8 beschreibt der Aufbau der Simulationsstudie und diskutiert die Ergebnisse der numerischen Studie. Abschließend werden in Kapitel 9 die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für weitere Forschungen gegeben.

2. Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen

In diesem Kapitel wird das Problemumfeld der Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen herausgearbeitet. Dazu geben wir zunächst einen Überblick über das Marktumfeld, in dem sich Anbieter von Gebietsspeditionsleistungen befinden. Danach werden die betriebswirtschaftlichen Grundlagen für das Gebietsspediteurkonzept dargelegt. Im Anschluss daran erläutern wir die Besonderheiten des Logistiksystems für das Gebietsspediteurkonzept. Für die zentrale Fragestellung dieser Arbeit beschreiben wir darauffolgend die Ausgestaltung des Vergabeprozesses in Gebietsspeditionsnetzen.

2.1. Marktumfeld von Gebietsspeditionen

Das Gesamtvolumen des Logistikmarktes in Deutschland wird auf 223 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt. Logistische Leistungen werden dabei sowohl innerhalb von Industrie- und Handelsunternehmen als auch von Logistikdienstleistern erbracht. Der Großteil der Logistikleistungen von 113 Milliarden Euro wird allerdings nicht von den Logistikdienstleistern selbst, sondern von den Industrie- und Handelsunternehmen unternehmensintern geleistet. Der verbleibende Teil von 110 Milliarden Euro wird von Logistikdienstleistern erbracht.¹

Um das Marktumfeld von Gebietsspeditionen genauer zu bestimmen, legen wir zunächst die Grundformen von Transportleistungen dar, die für das Gebietsspeditionssystem relevant sind. Anschließend charakterisieren wir die Anbieter von Logistikdienstleistungen und skizzieren das Marktsegment der Kontraktlogistik, zu denen die Leistungen von Gebietsspeditionssystemen zählen.

2.1.1. Grundformen von Transportleistungen

Allgemein wird unter einem Transportprozess die räumliche Überwindung eines Transportgutes mithilfe eines Transportmittels verstanden. Der Transportprozess gehört damit neben den Umschlags- und Lagerprozessen zu den Kernprozessen der Logistik.² Für das Gebietsspeditionssystem beschränken wir uns auf Transportleistungen mit dem Transportmittel Lkw. Diese Transportleistungen können nach der anteiligen

¹Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 455.

²Vgl. Pfohl (2010), S. 8.

Nutzung der Transportmittelkapazität in Komplettladungen, Teilladungen, Stückgut oder Expressgut differenziert werden:

- Komplettladung (*engl. full truck load (FTL)*)

Unter einer Komplettladung versteht man eine Transportleistung, die die Kapazität eines Lkw (hinsichtlich des Gewichts oder des verfügbaren Laderaums) komplett ausschöpft oder es zumindest nicht mehr ökonomisch notwendig ist, weitere Ladungen auf das Transportmittel aufzuladen. Nach Müller und Klaus (2009) kann von einer Komplettladung ab einem Gewicht von 18 Tonnen gesprochen werden. Das maximal zulässige Ladegewicht hängt von dem Typ des Lkw ab. Die Gewichtsobergrenze in Deutschland liegt üblicherweise zwischen 24 und 25 Tonnen.³

- Teilladung

Bei Teilladungen lastet das Transportgut nicht das komplette Transportmittel aus. Es ist damit möglich, dass mehrere Partien gemeinsam auf dem Transportmittel zum Transport kombiniert werden. Die untere Grenze für Teilladungen liegt zwischen 2 und 3 Tonnen bzw. 2 und 3 Lademetern. Sendungen unterhalb dieser Grenze werden effizienter über ein Stückgutnetzwerk befördert.⁴

- Stückgut

Bei einer Stückgutladung bzw. Sammelladung werden mehrere Sendungen gesammelt und gemeinsam transportiert. Im Gegensatz zur Teilladung ist es erforderlich, das Transportgut umzuschlagen, sodass es zu einem Wechsel des Transportmittels kommt. Das klassische Stückgutnetzwerk besteht aus einem dreigliedrigen System (siehe Abbildung 2.1.). Im Vorlauf werden Sendungen an den Quelllokationen abgeholt. Anschließend werden diese an die nahegelegenen Depots transportiert und empfängerorientiert auf Hauptlauf-Lkws umgeschlagen. Beim Hauptlauf handelt es sich um Transportbeziehungen zwischen zwei Depots in einem Stückgutnetzwerk, die mit dem Lkw in der Regel voll ausgelastet gefahren werden. An den Empfangsdepots angekommen werden die Sendungen erneut umgeschlagen und von dort aus im sogenannten Nachlauf zu den Empfängern der Sendungen transportiert.

Um die Auslastungen der Hauptläufe eines Stückgutnetzwerkes weiter zu verbessern, werden gelegentlich Hauptlauftransporte über ein zentrales Hub umgeleitet. Durch die Zwischenschaltung eines Hubs zwischen zwei Depots wird die Anzahl der direkten Hauptlaufverbindungen im Stückgutnetzwerk reduziert, wodurch die Auslastung der Hauptläufe weiter gesteigert werden kann.

³Vgl. Müller und Klaus (2009), S. 9.

⁴Vgl. Müller und Klaus (2009), S. 9.

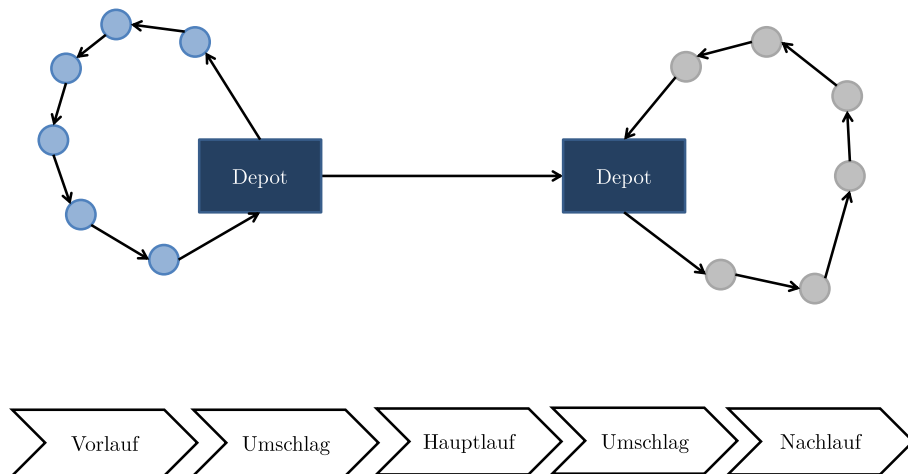


Abbildung 2.1.: Stückgutsystem

- Expressgut

Beim Expressgut handelt es sich um kleine Sendungen bis 31 Kilogramm, die nicht über das Stückgutnetzwerk eines Spediteurs transportiert werden, sondern über das Standardnetz von Kurier-Express-Packet (KEP) Anbietern transportiert werden. Durch die Restriktion der Sendungen bezüglich Gewicht und Maße ist eine hohe Standardisierung in der Abwicklung und Automatisierung im Umschlag möglich.⁵

Zusätzlich zu den dargestellten Grundformen ist hier der Milkrun zu ergänzen:

- Milkrun

Ein Milkrun stellt eine Sonderform von Teilladungen dar, bei dem auf einer Rundtour Sendungen von mehreren Empfängern zu einem Abnehmer transportiert werden. Bei einem Milkrun ist vorgesehen, dass auf der gleichen Rundtour auch die Rückläufe der Leergutbehälter organisiert werden. Wir verstehen unter Milkruns Rahmentouren, die in größeren zeitlichen Abständen (z. B. einmal pro Jahr) festgelegt werden und regelmäßig (z. B. täglich) gefahren werden. Milkruns weisen gegenüber den herkömmlichen Teilladungs- und Stückgutverkehren

⁵Vgl. Kille (2012), S. 263 f.

einen erheblich geringeren organisatorischen Aufwand auf. Allerdings erfordern Milkruns stabile Liefermengen auf allen Stationen.

2.1.2. Charakterisierung von Logistikdienstleistern

Unter dem Begriff des Logistikdienstleisters werden alle Dienstleister subsumiert, die jegliche Art und Umfang von logistischen Dienstleistungen erstellen. Logistikdienstleister erbringen damit logistische Dienstleistungen für andere Logistikdienstleister⁶ und andere Bereiche der Wirtschaft. Zur weiteren Charakterisierung der Logistikdienstleister werden wir drei Kategorisierungen von Logistikdienstleistern vorstellen.

Logistikdienstleister können danach charakterisiert werden, nach welchem Grad sie im Logistikkanal ihrer Kunden involviert sind. Es ergeben sich dadurch folgende Party-Konzepte der Logistikdienstleister:⁷

- **First Party Logistics (1PL)**

Beim First Party Logistikkonzept werden alle Logistikaktivitäten durch die eigenen Kapazitäten des produzierenden Unternehmens selbst ausgeführt. Die Schwerpunkte des Logistikkonzeptes liegen auf den Transport-, Umschlags- und Lagerprozessen.⁸

- **Second Party Logistics (2PL)**

Beim Second Party Logistikkonzept werden die Kernprozesse der Logistik durch externe Dienstleister übernommen, die mit ihren eigenen Kapazitäten diese Leistungen erbringen. Bei den vergebenen Leistungen handelt es sich um standardisierte Leistungen.

- **Third Party Logistics (3PL)**

Beim Third Party Logistikkonzept übernimmt der externe Dienstleister ein zusätzliches Aufgabenspektrum des Verladers. So werden Mehrwertdienste in produktionsnahen Bereichen, wie Montagetätigkeiten, oder das Informationsmanagement des Verladers entlang des Logistikkanals an den Logistikdienstleister übertragen. Dadurch wird die Stellung des Logistikdienstleisters aufgewertet und erhält eine eigenständige Rolle innerhalb des Logistikkanals.

- **Fourth Party Logistics (4PL)**

Beim Fourth Party Konzept organisiert der Logistikdienstleister die gesamte Wertschöpfungskette für seine Kunden. Der Begriff wurde seinerzeit durch die

⁶Die Logistikwirtschaft ist zum Teil kaskadenartig organisiert. Siehe hierzu auch den Begriff der Speditionspyramide bei Pfohl (2010), S. 273.

⁷Vgl. auch Lischke (2008), S. 9 ff.

⁸Vgl. DBResearch (2008), S. 2.

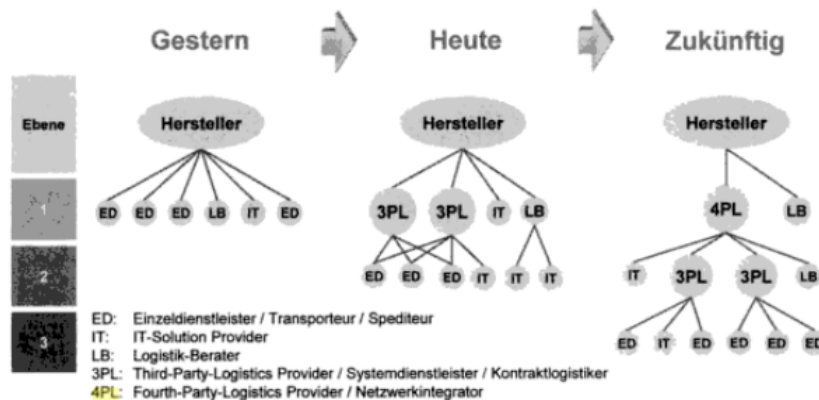


Abbildung 2.2.: Entwicklung der Logistikdienstleisterstruktur (Quelle: Zadek (2003), S. 20.)

ehemalige Unternehmensberatung Andersen Consulting geprägt.⁹ Das Prinzip ist darin begründet, dass die Fähigkeit ganze Logistiknetzwerke zu führen, nicht zwangsläufig nur in einer Organisation liegen muss. In diesem Fall kann eine Organisation (4PL) ein Netzwerk aus spezialisierten Logistikdienstleistern zu einem Logistiknetzwerk zusammenführen. Abbildung 2.2. stellt den Übergang vom heutigen 3PL-Konzept zu einem 4PL-Konzept dar, in dem der 4PL-Anbieter die Führung der Logistikdienstleister übernimmt.

Anders als beim 3PL-Konzept besitzt der Dienstleister keine eigenen Logistikkapazitäten. Anstelle der eigenen Logistikressourcen greift der 4PL-Anbieter auf verschiedene Subunternehmer zurück. Da der 4PL keine eigenen Logistikressourcen hat, kann er auch keine Selbstoptimierung anstreben und wahrt damit seine Unabhängigkeit gegenüber seinen Kunden. Der 4PL-Anbieter verfolgt damit einen „best-of-breed“ Ansatz, um seinen Kunden eine gesamtkostenoptimales Netzwerk von logistischen Dienstleistungen anzubieten.¹⁰

Beispiele von 4PL-Anbietern sind Tochterunternehmen von Verladern, wie z. B. VW Transport des VW Konzerns oder Metro Logistics der Metro Handelskette. Diese Unternehmen bieten innerhalb des Konzerns und auch außerhalb des Konzerns Logistikdienstleistungen an. Andere Anbieter von 4PL-Diensten sind Logistikberatungen, wie z. B. das Unternehmen 4flow. Diese Unternehmen beraten Verlager bei der logistischen Planung (z. B. bei der Netzwerkplanung) und sind auch an der Umsetzung der Lösungen beteiligt.

Das Konzept des 4PL-Anbieters ist allerdings nicht unumstritten. Den 4PL-Anbietern

⁹Vgl. Christopher (2005), S. 295.

¹⁰Damit wäre es möglich, die in dieser Arbeit erarbeitete Ergebnisse auch als 4PL-Anbieter zu realisieren.

wird oft mangelnde Umsetzungskompetenz und eine geringe Vertrauensbasis seitens der Kunden vorgeworfen.¹¹ Aus dieser Kritik des 4PL-Konzepts hat sich das Konzept des Lead Logistic Providers entwickelt.¹² Der Lead Logistic Provider stellt eine Zwischenform von einem echten 4PL-Anbieter ohne Logistikressourcen und einem 3PL-Anbieter mit Logistikressourcen dar. Zwar besitzt nach diesem Konzept der Logistikdienstleister nach wie vor eigene Kapazitäten, jedoch wird die Kompetenz in dem Aufbau von Logistiknetzwerken für seine Kunden gesehen. Für den Aufbau eines kundenindividuellen Logistiknetzwerkes werden die Ressourcen des Lead Logistic Providers durch externe Ressourcen ergänzt. Dadurch ist es dem Lead Logistik Provider möglich, Lösungen für das gesamte Netzwerk seiner Kunden zu entwickeln, ohne die Umsetzungskompetenz zu verlieren.

Zu einer anderen Klassifikation der Logistikdienstleister kommt Gudehus. Nach Gudehus werden Logistikdienstleister nach dem Umfang der angebotenen logistischen Dienstleistungen in Einzeldienstleister, Verbunddienstleister und Systemdienstleister unterschieden, siehe Tabelle 2.1.¹³ Demnach sind Systemdienstleister identisch zu dem vorangegangenen 3PL-Konzept. Einzeldienstleister und Verbunddienstleister bilden zusammen die Gruppe 2PL-Dienstleister.

Gudehus weist außerdem darauf hin, dass Logistikdienstleister sich auf bestimmte Transportgüter (z. B. Frischware), Frachtarten (z. B. Stückgut) oder Branchen (z. B. Automobilindustrie) spezialisieren und in einem abgesteckten Aktionsradius (lokal, regional, national oder international) agieren.

Einzeldienstleister sind Dienstleister, die sich auf die Verrichtung der Kernprozesse der Logistik (Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse) spezialisiert haben. Für die Leistungserbringung setzen sie eigene Logistikkapazitäten ein.¹⁴ Sie bieten ihre Dienstleistungen festen Kunden an oder arbeiten als Subunternehmer für Verbund- und Systemdienstleister. Die Vertragslaufzeit variiert zwischen einem kurzfristigen und langfristigen Zeitraum. Je höher die Spezialisierung ist, desto höher sind die Vertragslaufzeiten. Einzeldienstleister ohne Spezialisierung sind über kurzfristig erteilte Aufträge tätig. Hierfür werden auch zunehmend Frachtbörsen genutzt,¹⁵ worüber Einzeldienstleister direkt mit den Verladern in Kontakt treten können, um Aufträge zu akquirieren. Durch Frachtbörsen können Einzeldienstleister auf diese Weise ihre Abhängigkeiten von den Verbund- und Systemdienstleistern reduzieren. Eine andere Möglichkeit, um im Preiswettbewerb zu bestehen, sind Kooperationen. Durch Kooperationen können Einzeldienstleister nicht nur die eigenen Kapazitäten besser auslasten, sondern können zugleich durch die Bündelung von Kapazitäten und Know-how gemeinsame Leistungen anbieten, wie den Aufbau eines flächendeckenden Netzwerkes,

¹¹Siehe hierzu auch die Kritik bei Pfohl (2003), S. 35, und Bretzke (2004), S. 44.

¹²Vgl. Lischke (2008), S. 13.

¹³Vgl. Gudehus (2010), S. 993 ff.

¹⁴Vgl. Zadek (2003), S. 21.

¹⁵Vgl. BAG (2006), S. 2.

Merkmale	Einzeldienstleister	Verbunddienstleister	Systemdienstleister
PL	2PL	2PL	3PL
Leistungsumfang	Einzelleistungen	Verbundleistungen	Systemleistungen
Leistungsangebot	Transport, Umschlag, Lagern, Spezialleistung	Speditions- und Frachtketten	Betrieb von Lager-, Beschaffungs- und Distributionssystemen
Ressourcen	Transportmittel, Logistikbetriebe	Transportnetzwerke, Umschlagsterminals	Logistiknetzwerke, Logistikzentren
Know-how	Technisches Spezialwissen	Technik, IT, Organisation	Logistik, IT, Planung, Projektmanagement
Ausrichtung	fachspezifisch	leistungsspezifisch	kundenspezifisch
Kundenkreis	klein, temporär, wechselnd	groß, anonym, veränderlich	wenige Großkunden, gleichbleibend
Ausschreibung und Vertrag	Auftrag	Auftrag / Ausschreibung	Ausschreibung
Bindung	kurz	mittel	lang
Vertragslaufzeit	unterschiedlich	bis 1 Jahr	3 bis 10 Jahre

Tabelle 2.1.: Eigenschaften und Merkmale von Logistikdienstleistern (Quelle: Mit geringfügigen Änderungen entnommen aus Gudehus (2010), S. 995.)

um mit den Verbunddienstleistern zu konkurrieren.¹⁶ Zur Gruppe der Einzeldienstleister zählen auch Spezialdienstleister wie Abfüllbetriebe oder IT-Dienstleister, die ergänzende Dienstleistungen anbieten.¹⁷

Verbunddienstleister vereinen mehrere Einzelleistungen zu standardisierten Dienstleistungsprodukten, die von einem wechselnden, anonymen Kundenkreis nachgefragt werden. Sie nutzen zur Leistungserstellung eigene Ressourcen oder greifen auf die Leistung von Einzeldienstleistern zurück. Beispiele für Verbunddienstleister sind KEP-Dienstleister oder (Sammelgut-)Speditionen. Kunden dieser Kategoriegruppe erteilen in der Regel nur kurzfristige Aufträge. Die vereinbarten Vertragslaufzeiten mit den Kunden beschränken sich auf maximal ein Jahr.

Systemdienstleister bieten ihren Kunden maßgeschneiderte Logistiksysteme, von der Entwicklung über die Realisierung bis zum Betrieb, an. Der Kundenkreis der Systemdienstleister besteht aus wenigen festen Kunden.¹⁸ Seitens der Kunden werden logistische Komplettlösungen nachgefragt, die über das standardisierte Angebot der Einzel-

¹⁶Vgl. Bense (2010), S. 44.

¹⁷Vgl. Gudehus (2010), S. 994 ff.

¹⁸In diesem Zusammenhang ist die Verwendung des Begriffs Verlader nicht mehr adequat, da die Funktion der Industrie- und Handelsunternehmen sich ändert.

dienstleister und Verbunddienstleister hinausgehen und spezielle Anforderungen an die logistischen Leistungen haben. Die mit den Kunden vereinbarten Vertragslaufzeiten sind langfristig ausgestaltet. Das Leistungsangebot der Systemdienstleister umfasst beispielsweise den Betrieb von Lager-, Beschaffungs- und Distributionssystemen. Als Unterscheidungsmerkmal von Systemdienstleistern gelten zum einen die angebotene Leistung für ein integriertes Logistiksystem, das dem individuellen Leistungsbedarf der Kunden angepasst wird, und zum anderen die Verantwortlichkeit des Dienstleisters gegenüber seinen Kunden hinsichtlich Leistung, Kosten und Qualität. Das Ziel von Systemdienstleistern ist es, für ihre Kunden Logistikleistungen zu erbringen, die besser und kostengünstiger sind, als es die Kunden selbst organisieren könnten. Das Systemgeschäft der Systemdienstleister wird auch mit dem Begriff der Kontraktlogistik¹⁹ umschrieben.

Diese Einteilung der Logistikdienstleister kategorisiert vornehmlich die Geschäfte, die Logistikdienstleister eingehen. So kann ein Logistikdienstleister gleichwohl Ausprägungen in mehreren dieser Funktionen besitzen. Gerade große Logistikdienstleister treten am Markt multi-funktional auf und können dadurch ihre Logistikressourcen maximal auslasten, um Synergieeffekte zwischen den Geschäftsfeldern zu erzielen. Es ermöglicht ihnen, dadurch den Gestaltungsspielraum für Kostenreduktionen zu erweitern.²⁰ Es ist möglich, dass ein Logistikkonzern sowohl kundenindividuelle Komplettlösungen als Systemdienstleister erbringt, ein eigenes Stückgutnetz als Verbunddienstleister betreibt als auch einfache Transportleistungen für den Komplettladungsverkehr als Einzeldienstleister anbietet. Durch die Vielfalt der angebotenen Dienstleistungen wird stets das Ziel verfolgt, die Auslastung der Ressourcen zu erhöhen, um ihren Kunden auf allen Segmenten gute Konditionen anbieten zu können.

In der Studie des Bundesamtes für Güterverkehr werden Logistikdienstleister nach der Ausrichtung der Dienstleister und nach dem Umfang der angebotenen logistischen Leistungen in acht Gruppen von Logistikdienstleistern unterschieden, siehe Abbildung 2.3.²¹

Nach der Dimension der Ausrichtung der Dienstleister wird danach differenziert, ob Logistikdienstleister transportorientiert sind und damit Transporte vordergründig selbst durchführen (Selbsteintritt) oder ob Transportdienstleister expeditionsorientiert sind und somit vordergründig die Organisation der Transporte im Mittelpunkt der Geschäftstätigkeit steht. Die zweite Dimension der angebotenen logistischen Dienstleistung charakterisiert Dienstleister, inwieweit sie Mehrwertdienstleistungen anbieten, die über die reine Transportleistung hinausgehen.

Die identifizierten Gruppen lassen sich drei Segmenten zuordnen:

- A: Transportorientierte Dienstleister

¹⁹Vgl. hierzu Kapitel 2.1.3.

²⁰Vgl. Gudehus (2010), S. 994.

²¹Vgl. BAG (2005), S. 3 ff.

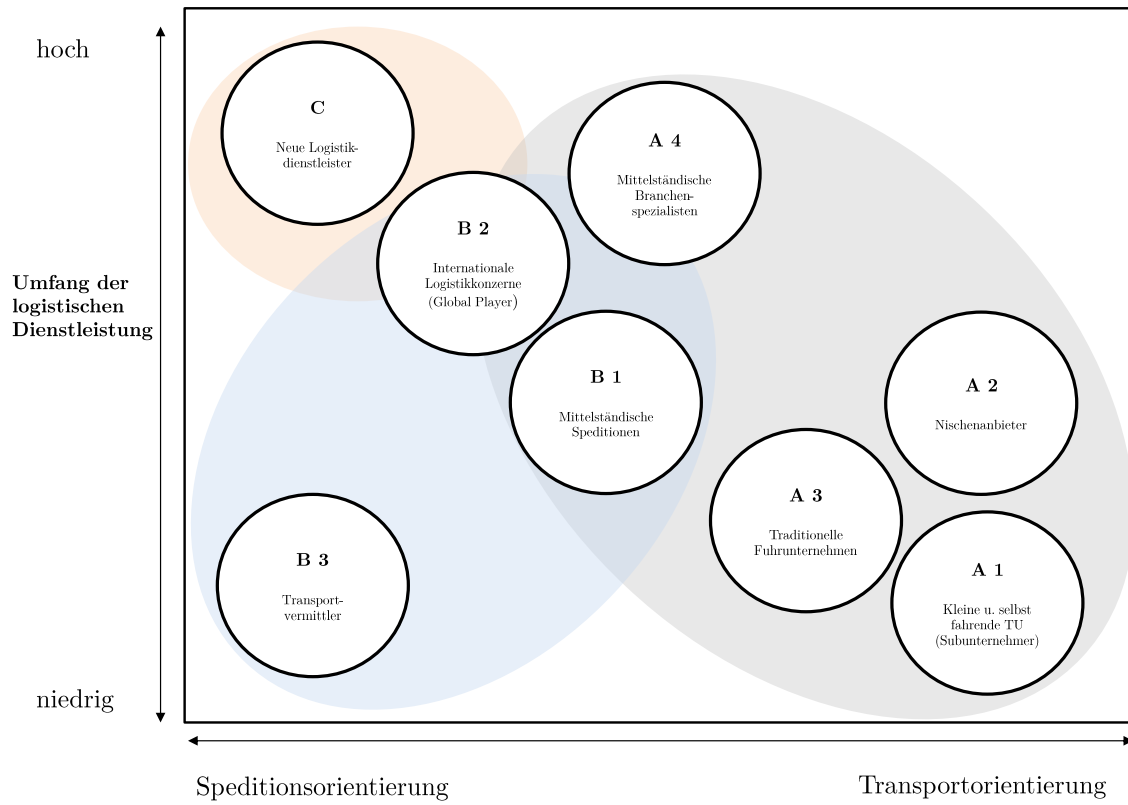


Abbildung 2.3.: Gruppen auf dem deutschen Logistikmarkt (Quelle: Mit geringfügigen Änderungen entnommen aus BAG (2005), S. 4.)

- B: Speditionsorientierte Dienstleister
- C: Logistikdienstleister (i. e. S.)

Das Segment der *transportorientierten* Dienstleister enthält die kleinen und selbst fahrenden Transportunternehmer (Subunternehmer), Nischenanbieter, traditionelle Fuhrunternehmen und mittelständische Branchenspezialisten. Die kleinen und selbst fahrenden Transportunternehmer erbringen den Großteil der Transportleistungen. Tabelle 2.2. zeigt die Unternehmen des gewerblichen Straßengüterverkehrs nach der Anzahl der Lastkraftfahrzeuge. Die Gruppe der kleinen und selbst fahrenden Transportunternehmer mit weniger als 10 Lastkraftfahrzeugen macht mehr als 82% der Unternehmen aus. Es ist davon auszugehen, dass zwischen 75 % und 80 % dieser Unternehmen reine Transportleistungen anbieten. Wegen der hohen Anzahl fast identischer Transportdienstleistungen ist die Wettbewerbsintensität in diesem Bereich hoch. Durch die atomisierte Marktstruktur sind Verhandlungspositionen der Dienstleister schwach und

Unternehmen mit x Lastkraftfahr- zeugen	Anzahl	Anteil in % (kumu- liert)
1	13.410	26,99 %
2 bis 3	12.679	52,52 %
4 bis 10	14.771	82,25 %
11 bis 50	8.099	98,56 %
51 und mehr	717	100,00 %
Insgesamt	49.676	

Tabelle 2.2.: Unternehmen des gewerblichen Straßengüterverkehrs nach der Anzahl der Lastkraftfahrzeuge (Quelle: BAG (2010), S. 8.)

damit auch die Möglichkeit, Einfluss auf die Preise zu nehmen sehr gering.²² Bei Nischenanbietern handelt es sich um Dienstleister, die ihren Fuhrpark auf bestimmte Industrien spezialisiert haben.²³ Die traditionellen Fuhrunternehmer sind regionale Dienstleister und pflegen langjährige Geschäftsbeziehungen zu ihren Kunden. Die Größe des Fuhrparks der traditionellen Fuhrunternehmer bewegt sich zwischen 11 und 50 Fahrzeugen. Darüber hinaus unterhalten sie auch Lagerhallen, um das Kerngeschäft abzuwickeln. Mittelständische Branchenspezialisten haben sich in der Erbringung von Transportleistungen in bestimmten Branchen spezialisiert, die besondere Anforderungen an die Transportleistung haben. Beispiele dafür sind die Automobillogistik, die Möbellogistik, die Baulogistik oder die Tiefkühl-/Kühllogistik. Die Vergabe von Transportleistungen in diesem Teilsegment erfolgt über Ausschreibungen. Der Selbsteintritt der Branchenspezialisten, d. h. die Ausführung der Transporte mit eigenen Fahrzeugen, ist für diesen Bereich in der Regel recht hoch. Zum einen hängt es damit zusammen, dass Spezialfahrzeuge verwendet werden oder Spezialwissen der Fahrer erforderlich ist und dass die Teilnahme an Ausschreibungen mit der Anforderung verknüpft ist, einen vorgeschriebenen Mindestfuhrpark zu vorzuweisen. Die Fuhrparkgröße dieser Gruppe bewegt sich zwischen 50 und 150 Fahrzeugen. Für die Erbringung der Transportleistung kann der eigene Fuhrpark auch durch die Transportkapazitäten der Subunternehmer ergänzt werden.

Das Segment der *speditionorientierten* Dienstleister bilden mittelständische Speditionen, internationale Konzerne und Transportvermittler. Nach einer Statistik des Bundesamtes für Güterverkehr machen für 1.165 Unternehmen das Kerngeschäft die Erbringung von Logistikleistungen mit dem Schwerpunkt Spedition, Logistik, Lagerei, Frachtumschlag aus.²⁴ Das Kerngeschäft von Speditionen ist weniger die Erbringung

²²Vgl. BAG (2005), S. 5.

²³Vgl. auch Einzeldienstleister bei Gudehus, die sich spezialisiert haben

²⁴Vgl. BAG (2010), S. 4. In der Studie des BAG (2005), S. 9, wird darauf hingewiesen, dass die Zahl der Speditionen höher ist, da nicht alle Speditionen dem Güterkraftverkehrsgesetz unterliegen.

von Transportleistungen im Selbsteintritt als vielmehr die Transportorganisation und das Angebot von Mehrwertleistungen. Von den expeditionellen Dienstleistern werden standardisierte Logistikleistungen in dem Bereich Transport und Lagerung angeboten. Ein Großteil der Speditionen in Deutschland gehört zu der Gruppe der mittelständischen Speditionen (B1). Das Leistungsspektrum dieser Dienstleister umfasst üblicherweise Transportleistungen für Teilladungen und Stückgut.²⁵ Im Unterschied zu den transportorientierten Dienstleistern ist der Einsatz von Subunternehmer hoch. Es ist festzustellen, dass im Nahverkehr fast ausschließlich Subunternehmer tätig sind, während im Fernverkehr auch eigene Fahrzeuge auf ausgewählten Transportbeziehungen verwendet werden. Um mit internationalen Logistikkonzernen (B2) mit europa-/weltweiten Netzwerken zu konkurrieren und ihren Kunden ein umfassendes Angebot eines Logistiknetzes anzubieten, versuchen sich mittelständische Dienstleister in Kooperationen zusammenzuschließen. Durch Kooperationen erhöhen mittelständische Dienstleister zudem die Chance, bei Ausschreibungen Gesamtpakete zu erwerben. Die Gruppe der internationalen Logistikkonzerne bilden große Speditionen, Konzernspeditionen und internationale KEP-Dienste mit großen europaweiten oder weltweiten Netzwerken. Die Dienstleister dieser Gruppe treten als Global Player weltweit auf und bieten ihren Kunden ein umfassendes Angebot an standardisierten Logistikdienstleistungen aus einer Hand. Durch das Angebot im Bereich der Kontraktlogistik (siehe auch Abschnitt 2.1.3.) entwickeln Dienstleister dieses Teilsegments ihre Leistungsangebote systematisch weiter und können ihre Logistikressourcen noch effektiver ausnutzen. Transportvermittler (B3) treten als Intermediäre zwischen den Marktteilnehmern des Transportmarktes auf und erbringen selbst keine Transportleistung. Allerdings wird das Geschäftsmodell der Transportvermittler zunehmend durch Frachtbörsen und Ausschreibungsplattformen bedroht.²⁶

Die Gruppe der *Logistikdienstleister i. e. S.* deckt sich mit den Aufgaben der Systemdienstleister, deren Kerngeschäft die Konzeption kundenindividueller Logistiksysteme und die Integration gesamter Logistikketten ist.²⁷

Die Autoren der Studie führen weiter an, dass die Darstellung in Abbildung 2.3. auch die historische Entwicklungen auf dem Logistikmarkt widerspiegeln. Die heutigen mittelständischen Dienstleister (A4 und B1), die einst mit wenigen Fahrzeugen angefangen haben (A1), konnten in den Folgejahren den Aufstieg in die Gruppe A3 erzielen. Aus der Gruppe A3 haben sich die Dienstleister dann zu mittleren und großen Speditionen weiterentwickelt (B1, B4) oder haben sich auf bestimmte Branchen spezialisiert (A4). Allerdings weisen die Autoren der Studie darauf hin, dass diese Entwicklungen schon in den Zeiten des regulierten Marktes vor 1993 begannen. Derartige Entwicklungen werden heute kaum mehr als realistisch erachtet.

²⁵Einfache Komplettladungsleistungen werden in der Regel von transportorientierten Unternehmen angeboten.

²⁶Vgl. auch BAG (2006), S. 4.

²⁷Vgl. vorige Ausführungen zu Einzel-, Verbund- und Systemdienstleistern.

2.1.3. Markt für Kontraktlogistik

Nach Klaus und Kille (2012) werden unter der Kontraktlogistik Geschäfte in der Logistik in einer zwischen Dienstleister und Verlager individuell ausgestalteten Beziehung verstanden, die

1. mehrere logistische Funktionen integrieren,
2. langfristig vertraglich durch einen Kontrakt abgesichert sind und
3. das Geschäftsvolumen einen erheblichen Mindestumsatz überschreiten.²⁸

Unter den ersten Punkt sind Logistikleistungen zu verstehen, die durch das Geschäftsmodell der Systemdienstleister erbracht werden. Dienstleister, die als Einzeldienstleister oder Verbunddienstleister standardisierte Logistikleistungen (z. B. Stückgut- oder KEP-Dienste) erbringen, sind dadurch abzugrenzen. Ferner wird durch den zweiten und dritten Punkt eine enge Zusammenarbeit zwischen einem Dienstleister und einem Verlager begründet. Dadurch werden alle Geschäftsbeziehungen ausgeschlossen, die nicht auf einer langfristigen Basis stehen (wie es zumeist im Ladungsverkehr ist) oder deren Auftragsvolumen klein sind.

Der gesamte Markt für die Kontraktlogistik beträgt 88,2 Mrd. €. ²⁹ Für die Logistikdienstleister gilt die Kontraktlogistik als Wachstumsmarkt, in dem Logistikdienstleister hohe Renditen erwirtschaften können. Das Wachstum der Logistikdienstleister resultiert aus dem Outsourcing von Logistikdienstleistungen, die bisher von den Industrie- und Handelsunternehmen selberbracht wurden und zukünftig an spezialisierte Logistikdienstleister ausgelagert werden. Es werden in diesem Segment Wachstumsraten von 15 bis 20 % p. a. prognostiziert.³⁰

Die Kontraktlogistik tritt in zwei Ausprägungsformen in Erscheinung:³¹ Die Konsumgüterkontraktlogistik und die industrielle Kontraktlogistik. Unter der Konsumgüterkontraktlogistik werden Logistikgeschäfte für integrierte Distributionslogistikdienstleistungen für Konsumgüterhersteller und den Handel verstanden. Die Transportobjekte sind Verbrauchsgüter des täglichen Bedarfs und langlebige Gebrauchsgüter für den privaten Haushalt. Die Logistikleistungen für die Konsumgüterkontraktlogistik werden mit rund 25 Mrd. € beziffert. Unter der industriellen Kontraktlogistik werden logistische Dienstleistungen für die Anlieferung und Bereitstellung industrieller Materialien für die Produktion in individuellen Logistiksystemen verstanden. Beispiele für die industrielle Kontraktlogistik sind die Gebietsspeditionssysteme der Automobilindustrie sowie die geschlossenen Ersatzteilversorgungssysteme der Automobil- und

²⁸Klaus und Kille (2012) führen eine praxisgerechte Schwelle von 0,5 bis 1 Mio. € p. a. an.

²⁹Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 83 ff.

³⁰Vgl. Tripp (2004), S. 14.

³¹Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 82 ff.

Elektroindustrie. Transportobjekte sind Stückgüter und Ladungsgüter im Material-
eingang, unverpackte Erzeugnisse und Ersatzteile. Der Wert der gesamten Logistik-
leistungen für die industrielle Kontraktlogistik wird auf rund 63 Mrd. € geschätzt.
Mit einem relativen Marktanteil von 28 % gilt die industrielle Kontraktlogistik als der
bedeutendste logistische Teilmarkt. Derzeit werden davon allerdings nur 15,8 Mrd. €
von gewerblichen Logistikdienstleistern erbracht.³²

Als Erfolgsfaktoren der Dienstleister für die industrielle Kontraktlogistik gelten
im Wesentlichen eine hohe IT-Kompetenz und ein kunden- und branchenspezifisches
Know-how. Im Unterschied zur Konsumgüterkontraktlogistik, in der von den Dienst-
leistern ein flächendeckendes Distributionsnetz gefordert wird, werden in der indus-
triellen Kontraktlogistik Logistikleistungen überwiegend gebietsweise vergeben.³³ Al-
lerdings ist ein stetiger Wettbewerbsdruck für die konventionelle Kontraktlogistik der
Material-Zulauflogistik, insbesondere für das Gebietsspeditionssystem in der Auto-
mobilindustrie, zu beobachten. Zunehmend übernehmen Logistikdienstleister daher auch
nicht logistische Dienstleistungen, wie Montage- und Aufbauarbeiten, einfache Konfek-
tionierungsaufgaben bis hin zu Service- und Kundenbetreuungsfunktionen. In Zukunft
werden von den Logistikdienstleistern verstärkt erwartet, dass sie innovative Lösun-
gen für die Prozessoptimierung, Umstrukturierung und Neugestaltung ihrer Kunden
erbringen können.

Tabelle 2.3. zeigt die zwanzig größten Anbieter für die industrielle Kontraktlogistik.
Allein die zehn größten Anbieter haben mit 4 Mrd. € einen Marktanteil von 25 % des
Gesamtmarktes. Unter den zwanzig größten Anbietern befinden sich auch Mittelständ-
ler wie die Hans Geis GmbH & Co. oder die Rudolph Logistik Gruppe.³⁴ Damit wird
deutlich, dass in diesem Markt Skaleneffekte (*engl. economies of scale*) nicht alleine
ausschlaggebend sind, wie sie im Stückgut- und KEP-Markt erforderlich sind. Anbieter
in diesem Segment werden mit höheren Margen als auf dem Markt für Stückgut und
KEP-Dienste belohnt, wo die Anbieter durch die Auslastung ihrer Logistiknetze einem
harten Preiskampf für standardisierte Logistikleistungen ausgesetzt sind und nur 1 %
bis 2 % Umsatzrendite oder sogar weniger erzielen. In gut geführten Kontraktlogistik-
geschäften, bei denen es geringere Austauschbarkeiten der Dienstleister gegeben sind,
sind Umsatzrenditen von 4 % bis 5 % möglich.³⁵ Allerdings wird prognostiziert, dass
sich durch die Attraktivität dieses Marktes der Wettbewerbsdruck in Zukunft weiter
erhöhen wird, sodass die Erfolgsmargen auch in diesem Marktsegment fallen dürften.

³²Vgl. Kille und Schwemmer (2012), S. 87.

³³Vgl. Tripp (2004), S. 24.

³⁴Vgl. Tripp (2004), S. 25.

³⁵Vgl. Tripp (2004), S. 28.

2. Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen

Rangplatz	Unternehmen	Industrielle Kontraktlogistik (in Mio. €)
1	Volkswagen Logistics GmbH & Co. OHG	900
2	DB Mobility Logistics AG	500
3	Fiege Logistik Holding Stiftung & Co. KG	500
4	Deutsche Post DHL	500
5	Volkswagen Original Teile Logistik GmbH & Co. KG	361
	DB Schenker Rail	300
6	Arvato Services GmbH	285
7	Schnellecke Group	264
8	LGI Logistics Group International GmbH	242
9	Hans Geis GmbH & Co.	239
10	Internationale Spedition Willi Betz GmbH & Co. KG	235
	Summe Top 10	4.026
11	Deutsche Lufthansa AG	200
	Lufthansa Technik Logistik Services GmbH	200
	DB Schenker Logistics	200
12	BLG Logistics Group AG & Co. KG	170
13	Logwin AG	145
14	CEVA Logistics GmbH	141
15	Imperial Logistics International B.V. & Co. KG	131
16	Deufol AG	130
17	Kühne & Nagel (AG & CO.) KG	120
	Panopa Logistik GmbH	120
18	Stute Logistics GmbH	117
19	DMS Deutsche Möbelspedition GmbH & Co. KG (Kooperation)	108
20	Rudolph Logistik Gruppe	102
	Summe Top 20	5.390

Tabelle 2.3.: Die „Top 20“ Anbieter für industrielle Kontraktlogistik (Quelle: Kille und Schwemmer (2012), S. 89.)

2.2. Gebietsspediteurkonzept

2.2.1. Begriff und Konzept

Der Begriff des Gebietsspediteurs ist im Unterschied zum Begriff des Spediteurs, dessen Aufgaben im Handelsgesetzbuch festgelegt sind,³⁶ kein gesetzlich geregelter Terminus.³⁷ Der Begriff hat sich aus der betrieblichen Praxis heraus entwickelt. Im Allgemeinen wird unter einem Gebietsspediteur ein Spediteur bzw. ein Logistikdienstleister verstanden, dem als Gebietsspediteur eine Gebietsverantwortung zugesprochen wird. In einer *weiteren* Definition des Gebietsspediteurbegriffs können hierunter auch klassische Sammelgutspediteure verstanden werden, die für einen Verlader für ein Gebiet die Verantwortung übernehmen. In einer *engeren* Definition dieses Begriffs handelt es sich beim Gebietsspediteur, um einen Logistikdienstleister der für den Verlader ein kundenindividuelles Logistiksystem konzipiert und umsetzt. In dieser Arbeit werden wir den engeren Begriff des Gebietsspediteurs verwenden.

Die Ursprünge des Gebietsspediteurkonzeptes gehen auf die Herausforderungen der Beschaffungslogistik in der Automobilindustrie Ende der 70er-Jahre zurück.³⁸ Bereits Ende der 70er-Jahre sahen sich die Automobilhersteller mit der Situation konfrontiert, dass sie große Mengen von komplexen Materialien von ihren Zulieferern direkt bezogen. Die Direktbelieferung durch die Lieferanten hatte dazu geführt, dass jeder Lieferant unabhängig voneinander die Transporte organisierte. Die Folge davon war, dass Synergieeffekte zwischen den Transporten verschiedener Lieferanten nicht ausgenutzt werden konnten und damit die eingesetzten Transportmittel nicht immer voll ausgelastet waren. Ein weiterer Effekt, der durch die geringe Auslastung der eingehenden Transportmittel entstand, war, dass im Wareneingang der Automobilhersteller ein hohes Verkehrsaufkommen auftrat. Automobilhersteller sahen durch die Umstellung der Belieferung und den Einsatz von Gebietsspediteuren eine Lösung für das dargestellte Problem:

1. Umstellung der Belieferung

Durch die Umstellung der Belieferungsform von „frei Haus“ auf „ab Werk“ wird die logistische Kontrollspanne für den Hersteller ausgeweitet. Die Transporte zwischen den Lieferanten und den Werken des Herstellers werden von dem Hersteller verantwortet und bezahlt. Damit einhergehend ergibt sich für den Hersteller die Möglichkeit, die Logistikkosten für die Direktbelieferung, die in dem Lieferpreis der Lieferanten einkalkuliert sind, offenzulegen. Hiernach werden von den Lieferanten Lieferpreis A (mit Lieferung) und Lieferpreis B (ohne Lieferung) für Lieferteile verlangt. Auf dieser Grundlage kann der Hersteller entscheiden, ob der Lieferant oder der Hersteller selbst die Lieferung übernehmen soll.

³⁶Vgl. § 453 HGB.

³⁷Vgl. Fuhrmann (1997), S. 328.

³⁸Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 201

2. Einsatz von Gebietsspediteuren

Ein speditioneller Dienstleister, der in einem Gebiet tätig ist, übernimmt für den Verlader zusätzliche Aufgaben. Es kann sich bei dem Dienstleister um einen Sammelgutspediteur oder einen Logistikdienstleister i. e. S. handeln. Neben den rein logistischen Aufgaben wie Verpacken, Transportieren, Lagern werden von dem Gebietsspediteur auch administrative Aufgaben wie die Auftragsbearbeitung übernommen. Dadurch kann der Gebietsspediteur vor Ort für den Verlader agieren. Der Aufgabenumfang richtet sich nach den Bedürfnissen des Auftraggebers.

Außerdem werden an das Logistiksystem des Gebietsspediteurs höhere Anforderungen gestellt, da durch die Fließbandfertigung, wie sie in der Automobilindustrie vorliegt, die Lieferung zeitkritisch ist. Bei dem Gebietsspeditionssystem handelt es sich folglich um eine maßgeschneiderte Dienstleistungslösung der Logistikdienstleister, die an die Bedürfnisse der Kunden angepasst ist.

Als Vorreiter dieses Konzeptes gilt der Automobilhersteller BMW, der zusammen mit der Firma LOCTON das Gebietsspeditionskonzept entwickelt und umgesetzt hat.³⁹ Das Gebietsspeditionskonzept gilt damit auch als einer der ersten Beispiele für die industrielle Kontraktlogistik.⁴⁰

Heute findet das Gebietsspeditionskonzept seine Ausprägung sowohl in der Beschaffungslogistik als auch in der Distributionslogistik.⁴¹ In dieser Arbeit möchten wir uns lediglich auf das Gebietsspeditionskonzept in Beschaffungslogistik beschränken, da es dort seine größte Anwendung findet.

Ein Logistikdienstleister wird in der Beschaffungslogistik als ein *Gebietsspediteur* bezeichnet, der von einem Industrie- oder Handelsunternehmen (Verlader) für ein klar definiertes Gebiet exklusiv beauftragt ist, die die Abholung der Materialien von den Lieferanten aus einem Gebiet und den Weitertransport an die Werke des Verladers durchzuführen.⁴²

Das Prinzip des Gebietsspediteurs ist in Abbildung 2.4. dargestellt. Nach der Abholung der Transportobjekte bei den Lieferanten in einem Gebiet des Gebietsspediteurs gibt es zwei mögliche Transportwege:⁴³ Wenn die Transportobjekte von einem Lieferanten zu einem Werk des Verladers das Transportmittel voll auslasten, dann findet ein Komplettladungstransport von dem Lieferanten zum Werk des Verladers statt (dargestellt durch die grüne Linie in Abbildung 2.4.). Andernfalls nehmen die Transportobjekte den Umweg über das Konsolidierungszentrum⁴⁴ des Logistikdienstleisters

³⁹Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 201.

⁴⁰Vgl. auch Parbel (1981), S. 3.

⁴¹Vgl. Fuhrmann (1997), S. 330.

⁴²Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 201.

⁴³Vgl. Schöneberg (2013), S. 5.

⁴⁴Die Begriffe Konsolidierungszentrum, Cross-dock und Umschlagszentrum werden in dieser Arbeit als Synonyme verwendet.

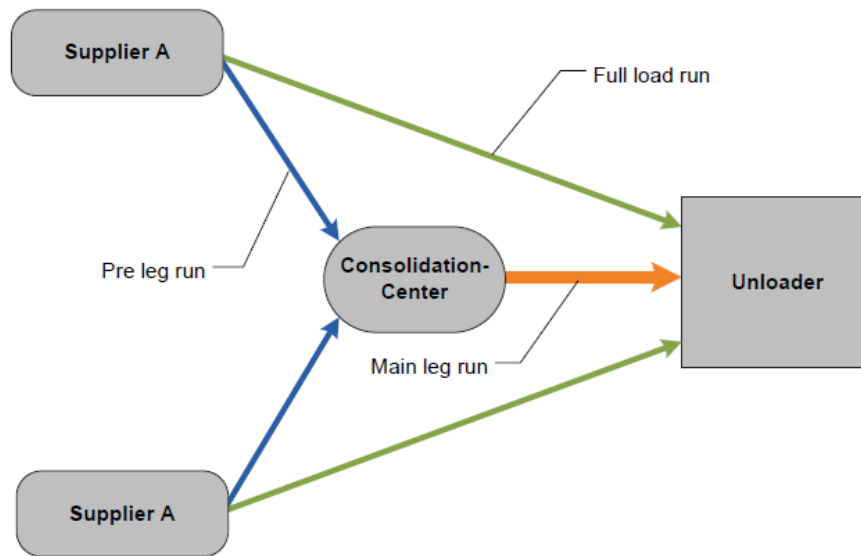


Abbildung 2.4.: Netzwerk eines Gebietsspediteurs in der Beschaffungslogistik (Quelle: Schöneberg u. a. (2013), S. 810.)

in zwei Schritten. Der erste Schritt, der Vorlauf, besteht aus der Abholung der Transportobjekte bei den Lieferanten und aus der Lieferung in das Konsolidierungszentrum (dargestellt durch die blaue Linie in Abbildung 2.4.). Im zweiten Schritt werden die Transportobjekte aller Vorläufe nach den Werken des Verladers gebündelt und in einem Hauptlauf von dem Konsolidierungszentrum zu den Werken des Verladers transportiert (dargestellt durch die gelbe Linie in Abbildung 2.4.). Durch die Bündelung im Konsolidierungszentrum entstehen Hauptläufe mit maximal einem nicht voll ausgelasteten Transportmittel und mehreren voll ausgelasteten Transportmitteln. Der Umweg über das Konsolidierungszentrum führt dazu, dass die durchschnittliche Auslastung der Transportmittel der Transporte erhöht wird. Die Entscheidung über die Wahl des Transportweges wird üblicherweise dem Gebietsspediteur übertragen, der vertraglich dazu angehalten ist, immer die günstigste Transportform zu wählen.

2.2.2. Anforderungen an einen Gebietsspediteur

Die von einem Gebietsspediteur erbrachten Leistungen entsprechen größtenteils dem Leistungsumfang von Sammelgutspediteuren im Stückgut-Bereich. Jedoch werden an einen Gebietsspediteur zusätzliche Anforderungen gestellt:⁴⁵

- Absolute Termintreue

⁴⁵Vgl. Parbel (1981), S. 6.

- Kurze Beförderungszeiten
- Schwankende Transportmengen und wechselnde Lieferstellen

Die Forderung einer absoluten Termintreue resultiert daraus, dass die Lieferungen aufgrund der Produktion des Verladers (in der Regel Fließfertigung) zeitkritisch sind. Damit werden an den Gebietsspediteur hohe Qualitäts- und Leistungsanforderungen seitens des Verladers gestellt. Bei Nichteinhaltung dieser Leistungsanforderung drohen dem Gebietsspediteur hohe Strafkosten, beispielsweise durch die dadurch verursachte Produktionsunterbrechung.

Durch die kurzen Beförderungszeiten wird eine produktionssynchrone Beschaffung gewährleistet, die eine Lagerhaltung beim Hersteller überflüssig macht. Der Zeitpuffer zwischen der Produktion des Lieferanten und der Produktion des Herstellers kann dadurch minimiert werden. Ebenso können die Auswirkungen von Lieferunterbrechungen des Lieferanten durch kurze Beförderungszeiten begrenzt werden.

Die schwankenden Transportmengen und die wechselnden Lieferstellen resultieren aus dem Produktionsprogramm des Herstellers. Praktiker berichten davon, dass die Transportmengen täglich insgesamt 30 % schwanken. Dies erschwert für den Gebietsspediteur eine gleichmäßige Disposition der Fahrzeuge und erfordert das Bereitstellen von Fahrzeugkapazitäten. Zusätzlich zu diesen strukturellen Eigenschaften der täglichen Mengenschwankungen kommen außerdem auch noch saisonale Schwankungen hinzu (siehe Abbildung 2.5.). Das Problem des Gebietsspediteurs ist, dass bereits vor dem Beginn der Vergabe der Transportleistungen feste Transportkapazitäten aufgebaut werden müssen. Schwankende Transportmengen führen dazu, dass Transportkapazitäten nicht ausgelastet werden oder Überhänge an Transportkapazitäten entstehen.⁴⁶ Dies macht die Planung des Gebietsspeditionssystems für einen Gebietsspediteur besonders schwer.

Zusätzlich zu diesen genannten Anforderungen werden von Parbel weitere Vorgaben an die Gebietsspediteure gestellt, die sich in der Praxis bewährt haben.⁴⁷

- Nahtlose innerbetriebliche Organisation;
- Aus- und Weiterbildung des Personals;
- IT-Kompetenz;⁴⁸
- hohe Qualität der Logistikressourcen, insbesondere Umschlags- und Lagereinrichtungen;
- moderner und flexibler Fuhrpark, der den Anforderungen der schwankenden Transportmengen nachkommt;

⁴⁶Vgl. Fohr (2009), S. 44 f.

⁴⁷Vgl. Parbel (1981), S. 7 f.

⁴⁸Vgl. auch Kapitel 2.1.3.

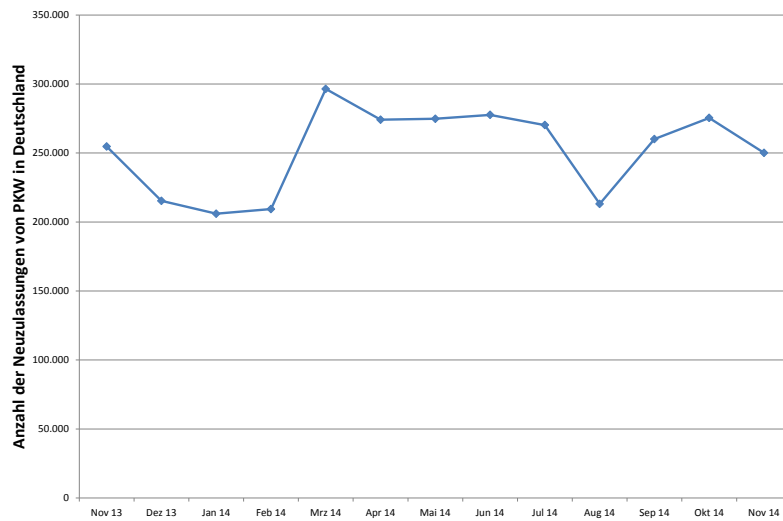


Abbildung 2.5.: Zeitliche Nachfrageschwankungen am Beispiel der Automobilwirtschaft (Quelle: VDA (2014))

- mehrere Standorte, sowohl im Einzugsbereich als auch in der Nähe der Empfangsstelle;
- ausreichende Anzahl von anderen Verladern in gleichen und gegenläufigen Verkehrsrelationen.

Aus diesen Anforderungen kommen als potenzielle Logistikdienstleister für das Gebietsspeditionskonzept folgende Dienstleistergruppen in Betracht:⁴⁹

1. Mittelständische Branchenspezialisten

Die Branchenspezialisten verfügen über einen größeren Fuhrpark, um auf die flexiblen Anforderungen der Verlager zu reagieren, und verfügen über Erfahrung aus Projekten mit anderen Verladern der gleichen Branche.

2. Internationale Logistikkonzerne

Diese Gruppe von Dienstleistern bietet in der Regel genauso wie die Branchenspezialisten Branchenlösungen an. Sie zeichnet sich gerade bei internationalen Projekten dadurch aus, dass sie ihre europaweiten bzw. weltweiten Logistiknetzwerke nutzen können.

⁴⁹Vgl. auch Wiedmann (2006), S. 40.

3. Kontraktdienstleister

Diese Gruppe von Dienstleistern arbeitet nur projektbezogen und verfügt über Erfahrungen in dem Aufbau von individuellen Logistiknetzwerken.

Kennzeichnend für diese Logistikdienstleister ist, dass die Transportleistungen für das Gebietsspeditionssystem für einen kleinen Kundenkreis von Verladern erbracht werden und sie damit ein engeres Verhältnis zu den Verladern haben als z. B. bei reinen Komplettladungsnetzen. Die Anzahl der Logistikdienstleister, die in Deutschland Gebietsspeditionsleistungen anbieten, werden auf etwa 30 Dienstleister geschätzt.⁵⁰

2.2.3. Vorteile des Gebietsspediteurkonzepts

Mit der Umstellung auf das Gebietsspeditionskonzept strebt der Hersteller das Ziel an, die Gesamtkosten zu verringern. Zum einen ergeben sich Kosteneinsparungen durch die Umstellung der Belieferungsform der Lieferungen von „frei Haus“ auf „ab Werk“ im Einkauf der Lieferteile. Zum anderen gibt es Kostensteigerungen beim Hersteller durch die Übernahme der Transportkosten der Lieferungen über das Gebietsspeditionssystem. Nur wenn die Kosten in Summe kleiner werden als vor der Einführung des Gebietsspeditionssystems, ergeben sich Vorteile aus dem Gebietsspeditionskonzept. Die langjährige Praxis zeigt, dass sich das Gebietsspeditionskonzept bewährt hat.⁵¹

Die Kosteneinsparungspotenziale können seitens der Verlager durch folgende Effekte beschrieben werden:⁵²

1. Effekt „Bündelung der Warenströme“

Die Bündelung der Warenströme bewirkt, dass viele Einzelsendungen auf die eingesetzten Transportmittel konzentriert werden⁵³ und die Auslastung der Transportmittel im Logistiksystem erhöht wird. Dieser Effekt wirkt sich letztendlich in den Kosten und den Tarifen der Logistikdienstleister aus. Parbel zeigt anhand eines Zahlenbeispiels, dass die Transportkosten durch die Konsolidierung von Sammelladungen pro Werk verringert werden.⁵⁴ Weiterhin führt die Konzentration der Warenströme dazu, dass die Anzahl der Fahrzeuge an den Wareneingängen der Werke des Verladers abnehmen und die Verkehrsprobleme im Werksbereich reduziert werden.

2. Effekt „Bündelung von Transportleistungen“

⁵⁰Diese Angaben gehen aus Gesprächen mit Praktikern hervor.

⁵¹Das Gebietsspeditionskonzept ist sicherlich nicht für alle Branchen und Unternehmen umsetzbar. Die Beschaffungslogistik der Automobilindustrie ist ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung dieses Konzepts.

⁵²Vgl. auch Fuhrmann (1997), S.328 ff; Parbel (1981), S. 4.

⁵³Vgl. Parbel (1981), S. 4.

⁵⁴Vgl. Parbel (1981), S. 7.

Transportleistungen des Gebietsspeditionssystems können nach Gebieten gebündelt an die Logistikdienstleister vergeben werden. Wenn die Hersteller höhere Transportvolumina als die Lieferanten nachfragen können, sind tendenziell günstigere Transportpreise bei den Dienstleistern zu erzielen. Durch die Zusammenfassung der Ausschreibungspakete können seitens der Logistikdienstleister Skaleneffekte (*economies of scale*) und Verbundeffekte (*economies of scope*) erreicht werden. Gleichzeitig werden damit auch die Anzahl der eingesetzten Logistikdienstleister reduziert.

3. Effekt „Beschleunigung und Vereinfachung von Prozessen“

Durch das Gebietsspediteurskonzept übernimmt der Logistikdienstleister zusätzliche Aufgaben des Verladers. Der Logistikdienstleister wird in den Lieferabrufprozess des Verladers eingebunden und erhält frühzeitig Informationen, um dadurch besser planen zu können.⁵⁵ Durch die Unterhaltung von zentralen Dispositionsstellen der Gebietsspediteure innerhalb der Liefergebiete wird die Terminüberwachung von Sendungen vom Dienstleister wahrgenommen. Der Dienstleister kann dem Verlager jederzeit Auskunft über den Status von Sendungen geben. Für den Verlager werden damit die Prozesse vereinfacht und er erhält zusätzliche Informationen, um schneller auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren.

4. Effekt „Kleine Lose“

Da im Hauptlauf Sendungen über weite Entfernungen gebündelt transportiert werden, wirken sich Transportmengen auf die relativen Transportkosten geringer aus, sodass aus ökonomischer Sicht auch kleine Losgrößen Sinn machen. Kleinere Losgrößen führen dazu, dass weniger Lagerbestände auf der Seite des Herstellers und auf der Seite des Lieferanten⁵⁶ vorzuhalten sind. Insgesamt ergibt sich dadurch auch eine Verringerung der Durchlaufzeiten entlang der Wertschöpfungskette.

5. Effekt „Integration des Rückflusses“

Ein Aspekt, der in unserer bisherigen Ausführung unbeleuchtet blieb, ist die Bereitstellung von leeren Behältern für den eigentlichen Transport. Die leeren Behälter (oder auch Leergut) kommen als Rückflüsse von den Werken an die Lieferanten zurück. Durch die Integration der Rückflüsse der leeren Behälter und Verpackungsmaterialien sinken die Transitzeiten und Umlaufbestände beim Hersteller.⁵⁷

⁵⁵Vgl. Parbel (1981), S. 11.

⁵⁶Für den Lieferanten bedeutet eine Verkleinerung der Bestelllose, dass auch die Produktionslose kleiner werden.

⁵⁷Vgl. Parbel (1981), S. 4.

Neben den Vorteilen aufseiten der Hersteller ergeben sich auch welche für den Gebietsspediteur und den Lieferanten, die in Tabelle 2.4. zusammengetragen sind.

2.2.4. Aufgaben des Verladers

Der Aufgabenumfang eines Verladers für die Implementierung eines Gebietsspeditionssystems kann in die folgenden Schritte unterteilt werden:⁵⁸

1. Umstellung der Lieferkonditionen der Lieferanten auf „ab Werk“
2. Entscheidung über die Gestaltung und Anzahl der Gebiete
3. Vorgaben an potenzielle Gebietsspediteure
4. Auswahl von Dienstleistern
5. Festlegung der Prozesse der Lieferanten an den Schnittstellen zum Gebietsspediteur

Die Voraussetzung für die Implementierung eines Gebietsspeditionssystems ist, dass der Verlager über die notwendige logistische Kontrollspanne verfügt und darüber entscheiden kann, wie Transporte organisiert werden sollen. Dazu ist es erforderlich, dass die Lieferteile „ab Werk“ bezogen werden. Parbel weist darauf hin, dass eine nachträgliche Umstellung der Lieferkonditionen und der damit verbundenen notwendigen Preisanpassung nicht wenige Probleme mit sich bringen. Problematisch ist auch, dass die von den Lieferanten zugrunde gelegten Transportkosten und Ansätze zur Berechnung der Transportkosten nicht einheitlich sind. Nach Parbel müssen dennoch zeitaufwendige Verhandlungen mit den Lieferanten in Kauf genommen werden.⁵⁹

Nach der Ermittlung der Lieferanten, die in das Gebietsspeditionsnetzwerk aufgenommen werden sollen, erfolgt die Entscheidung über die Aufteilung und die Anzahl der Gebiete.

Als die wichtigsten Einflussfaktoren für die Bestimmung der Gebietsaufteilung werden von Parbel Folgende angeführt:⁶⁰

- Lieferantenstandorte, Lieferintervalle, Transportgewichte und -volumen
- Art der Ladeeinheiten und Sendungsstruktur
- Im Einzugsbereich operierende Speditionsfirmen und deren Tätigkeitsfelder
- Topografische Besonderheiten der Gebiete

⁵⁸Vgl. Parbel (1981), S. 8; Gleißner und Femerling (2008), S. 155; Fuhrmann (1997), S. 330.

⁵⁹Vgl. Parbel (1981), S. 8.

⁶⁰Vgl. Parbel (1981), S. 8.

Gebietsspediteur	<ul style="list-style-type: none"> • stabile Pläne hinsichtlich Termine und des Transportvolumens • enger Kontakt zwischen Abnehmern und Zulieferern • Wegoptimierung • langfristige Zusammenarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> • sichere Zahlungseingänge • verringerte Akquisitionsaufwendungen • festgelegte Aufgabenbereiche • Übernahme von zusätzlichen Funktionen • hohe Kapazitätsauslastung
Abnehmer	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Anzahl von Speditoren • geregelte Rückführung von Leergut • geringere Verkehrsprobleme bei Anlieferungen • vereinfachter Wareneingang • automatisierte Datenverarbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> • einfachere Terminsteuerung • schnellere Bereitstellung von Sonderlieferungen • Verlagerung von Routinefunktionen • geringere Transportkosten • abgegrenzte Verantwortungsbereiche • Verringerung des Logistikaufwandes
Zulieferer	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Logistikaufwandes • Nähe zum Spediteur • einfachere Vereinbarung des Bereitstellungszeitpunktes für den Spediteur 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Terminpünktlichkeit • geregelte Rückführung von Leergut • Verlagerung des Transportrisikos • einfache Kostenkalkulation

Tabelle 2.4.: Die Vorteile des Gebietsspediteurkonzepts (Quelle: Wildemann (2001), S. 169.)

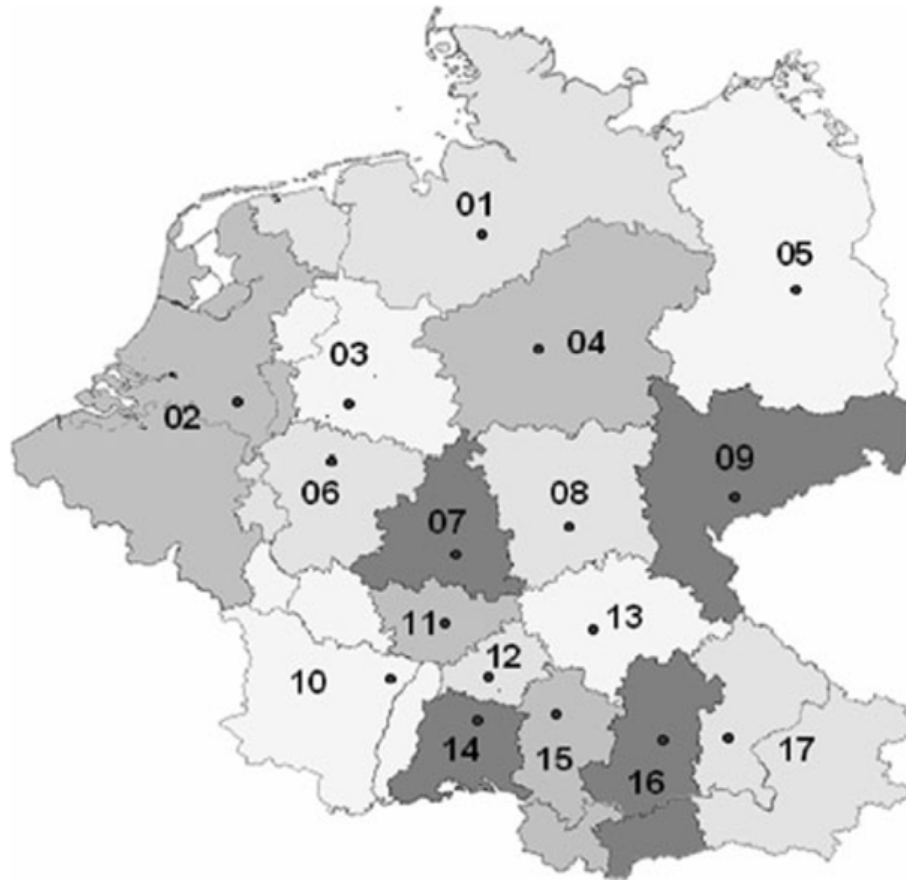


Abbildung 2.6.: Einteilung von Gebieten (Quelle: Schöneberg u. a. (2010), S. 228.)

Die genannten Faktoren liefern der Logistikplanung lediglich Anhaltspunkte, geben aber keine konkrete Hilfestellung, wie die Gebiete aufgeteilt werden sollen. Ein Beispiel für eine Aufteilung eines Gebietes für ein Gebietsspeditionsnetzwerk zeigt Abbildung 2.6. Typischerweise werden die Gebiete durch die Angabe von Postleitzahlen-Bereiche definiert. Zusätzlich werden vom Verlader die einzuhaltenden Servicezeiten für die Postleitzahlengebiete der jeweiligen Empfängerwerke angegeben. In der Regel werden die Angaben für Komplettladung, Teil- und Stückgut sowie Leergut getrennt gemacht.

Als weiterer Aufgabenpunkt sind die Vorgaben für die Logistikdienstleister zu erstellen. Die Vorgaben an potenzielle Gebietsspediteure erfolgen in Form einer Leistungsbeschreibung bzw. eines Pflichtenheftes. Tabelle 2.5. zeigt eine Auflistung von Punkten, die die Leistungsbeschreibung an potenzielle Gebietsspediteure enthält.⁶¹ Die Leistungsbeschreibung bildet die Grundlage für die Ausgestaltung des Logistiksystems. Zusammen mit dem Mengengerüst dient sie für die Preiskalkulation des Logistik-

⁶¹Vgl. Wiedmann (2006), S.48 ff.

• Aufgabenbereich und Vertragsgebiet	• Logistische Abwicklung
• Allgemeine Angaben	• Serviceleistungen
• Betriebsstätten, Administration	• Statistiken
• Kernaufgaben der Gebietsspedition	• Vergütung/Abrechnung
• Fahrzeuge und Fahrpersonal	• Haftung
• Ladungssicherung	• Versicherung
• Zeitfensterregelungen	• Vertragslaufzeit
• Durchlaufzeitenregelungen	• Geheimhaltungsvereinbarungen und Werbung

Tabelle 2.5.: Inhalt der Leistungsbeschreibung (Quelle: Wiedmann (2006), S. 48 ff.)

dienstleisters.⁶² Wenn die Leistungsvorgaben feststehen, ist die Beauftragung eines geeigneten Logistikdienstleisters als Gebietsspediteur über ein Ausschreibungsverfahren durchzuführen. Diese Fragestellung ist der Schwerpunkt dieser Arbeit, der in den weiteren Kapiteln noch ausführlicher diskutiert wird.

Im letzten Schritt erfolgt eine Kommunikation an die Lieferanten, die von einer Umstellung im Gebietsspeditionssystem betroffen sind. Hierfür sind seitens des Verladers die Prozesse an den Schnittstellen zu den Lieferanten festzulegen, um einen reibungslosen Ablauf sicherzustellen. Die Festlegung der Prozesse findet sich in den Versandvorschriften der Hersteller wieder. Die Versandvorschriften enthalten für die Lieferanten Beschreibungen, wie Sendungen bei den entsprechenden Gebietsspediteuren anzumelden sind.

2.3. Logistiksystem des Gebietsspediteurkonzepts

Nachdem im letzten Abschnitt das betriebswirtschaftliche Konzept für das Gebietsspeditionskonzept erörtert wurde, wird nun dessen Logistiksystem sowie dessen Logistiknetzwerk beschrieben. Hierzu sind zunächst die Begriffe des Gebietsspeditionssystems und des Gebietsspeditionsnetzes genauer zu spezifizieren. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird mit dem Begriff des *Gebietsspeditionssystems* das Logistiksystem für das Gebietsspediteurkonzept bezeichnet und unter dem Begriff des *Gebietsspeditionsnetzes* ist die Struktur für das Gebietsspeditionssystem zu verstehen⁶³.

In diesem Abschnitt werden die Besonderheiten des Gebietsspeditionssystems erläutert. Es wird damit begonnen den Leistungsumfang für das Gebietsspeditionssystem abzustecken und danach das Gebietsspeditionssystem gegenüber anderen Logistiksystemen abzugrenzen. Daraufhin werden die Prozesse beschrieben, die in einem Gebietsspeditionssystem ablaufen.

⁶²Vgl. Müller-Daupert (2009), S. 39.

⁶³Vgl. hierzu auch die Begriff Logistiksystem und Logistiknetzwerk bei Fleischmann (2008a), S. 137.

2.3.1. Leistungsumfang eines Gebietsspeditionssystems

Der Umfang an Transportleistungen, die über das Logistiksystem des Gebietsspeditionssystems erstellt werden, ist recht vielfältig und wird in der Praxis oft nicht einheitlich geregelt. Die Auswahl von Transportleistungen, die wirtschaftlich über das Gebietsspeditionssystem abzuwickeln sind, soll im Folgenden näher betrachtet werden.

Generell können drei der vier Grundformen von Transportleistungen vom Gebietsspeditionssystem erbracht werden. Diese sind die Transportleistungen der Komplettladungen, der Teilladungen und der Stückgutladungen. Die Transportleistungen der Expressgutladungen werden nicht als Leistung des Gebietsspeditionssystems gesehen. Diese werden stattdessen durch die standardisierte Leistung der spezialisierten KEP-Dienstleistern erbracht. Gudehus empfiehlt, Expressgutladungen getrennt auszu-schreiben, da nur wenige Logistikdienstleister auf allen Gebieten die gleiche Kompetenz aufweisen.⁶⁴

Nach dem Verband der Automobilindustrie (VDA) werden grundsätzlich drei Transportformen für den Transport in der Beschaffungslogistik unterschieden: Direktrelation, Milkrun, Gebietsspedition.⁶⁵

Die Transportform der Direktrelationen sind Punkt-zu-Punkt-Verkehre, die ohne Umschlag direkt transportiert werden. Die Sendungen dieser Transportform sind regelmäßige Komplettladungen.⁶⁶ Die Voraussetzung dafür ist ein hohes Liefervolumen mit konstanten Lieferfrequenzen, sodass die Transportmittel regelmäßig ausgelastet werden können. Direktrelationen sind für die Belieferungsformen des JIS (Just-in-Sequence) und JIT (Just-in-Time) mit mehrmals täglichen Komplettladungen und einer einstufigen Lagerhaltung geeignet.

Die Transportform des Milkruns bündelt Teilladungen von einer kleinen Anzahl von Lieferanten aus einem geografischen Gebiet zu Komplettladungen zusammen. Entweder können Milkruns ohne Umschlagen (Hauptlauf Milkrun) direkt oder mit Umschlägen (Vorlauf Milkrun) indirekt zu den Werken der Hersteller transportiert werden. Die Voraussetzung für Milkruns ist eine hohe Prozessstabilität, um eine hohe Auslastung der Transportmittel zu gewährleisten. Bei einem Milkrun findet in der Regel, analog zu dem englischen Milchmann-Beispiel, ein Behältertausch im Verhältnis 1:1 der vollen Behälter (Vollgut) gegen die leeren Behälter (Leergut) statt.⁶⁷

Bei der Transportform der Gebietsspedition werden die Sendungen aus einem klar abgegrenzten Gebiet durch einen Gebietsspediteur abgeholt.⁶⁸

Tabelle 2.6. gibt exemplarische Preise für die verschiedenen Transportformen an, um das Verhältnis der Transportkosten der drei Transportformen zu verdeutlichen.

⁶⁴Vgl. Gudehus (2010), S. 1002.

⁶⁵Vgl. VDA (2008), S. 39.

⁶⁶Vgl. VDA (2008), S. 39.

⁶⁷Vgl. Klug (2010), S. 225.

⁶⁸Vgl. VDA (2008), S. 39.

Transportform	Preise
Direktrelation	5 €/m ³
Milkrun	7-10 €/m ³
Gebietsspedition	12-30 €/m ³

Tabelle 2.6.: Beispielhafte Kosten der Transportformen pro m³ bei einer Entfernung von 300 km (Quelle: Schorb (2007))

Es zeigt, dass die Direktrelation und der Milkrun im Vergleich zur Transportform Gebietsspedition erheblich günstiger sind. Die Gründe für die günstigen Preise der Direktrelation und des Milkruns liegen darin, dass die Transportmittelkapazitäten fast immer voll ausgelastet werden und diese einfachen Transportdienstleistungen von einer Großzahl von Anbietern kostengünstig hergestellt werden können.⁶⁹ Daher können durch die optimale Wahl der Transportform die Transportkosten bereits im Vorfeld einer Ausschreibung reduziert werden.

Für jede Transportrelation zwischen einem Lieferanten und einem Werk ist zu entscheiden, welches die optimale Transportform ist. Als Entscheidungskriterien kommen infrage:⁷⁰

- Lieferhäufigkeit: Lieferrhythmus des Lieferanten
- Ladungsstruktur: Platzbedarf, Gewicht auf dem Transportmittel, Sperrigkeit
- Produktionsstandort des Lieferanten: Möglichkeit der Bildung von Rundtouren durch die geografische Lage des Lieferantenstandortes
- Stabilität des Transportvolumens: Schwankungen des Liefervolumens
- Kombinierbarkeit der Transportvolumina: Störungsfreie, kontinuierliche Zusammenfassung von Stück- und Teilladungen

Eine Unterstützung für die Wahl der optimalen Transportform liefert der Entscheidungsbaum in Abbildung 2.7. Er zeigt eine Zuordnungssystematik der Transportleistungen (Komplettladung, Teilladung, Stückgut) zu den Transportformen (Direktrelation, Milkrun, Gebietsspeditionssystem). Das Ergebnis dieser Zuordnung bestimmt, über welche Transportform ein Lieferant bedient werden sollte.

Direktrelationen ergeben sich dann, wenn ein Lieferant regelmäßig Sendungen aus dem Bereich der Komplettladungen besitzt. Hat ein Lieferant zwar Komplettladungen, die nur unregelmäßig sind, wird der Lieferant über das Gebietsspeditionssystem bedient.

⁶⁹Vgl. auch Spree (2009), S. 21.

⁷⁰Vgl. Klug (2010), S. 222.

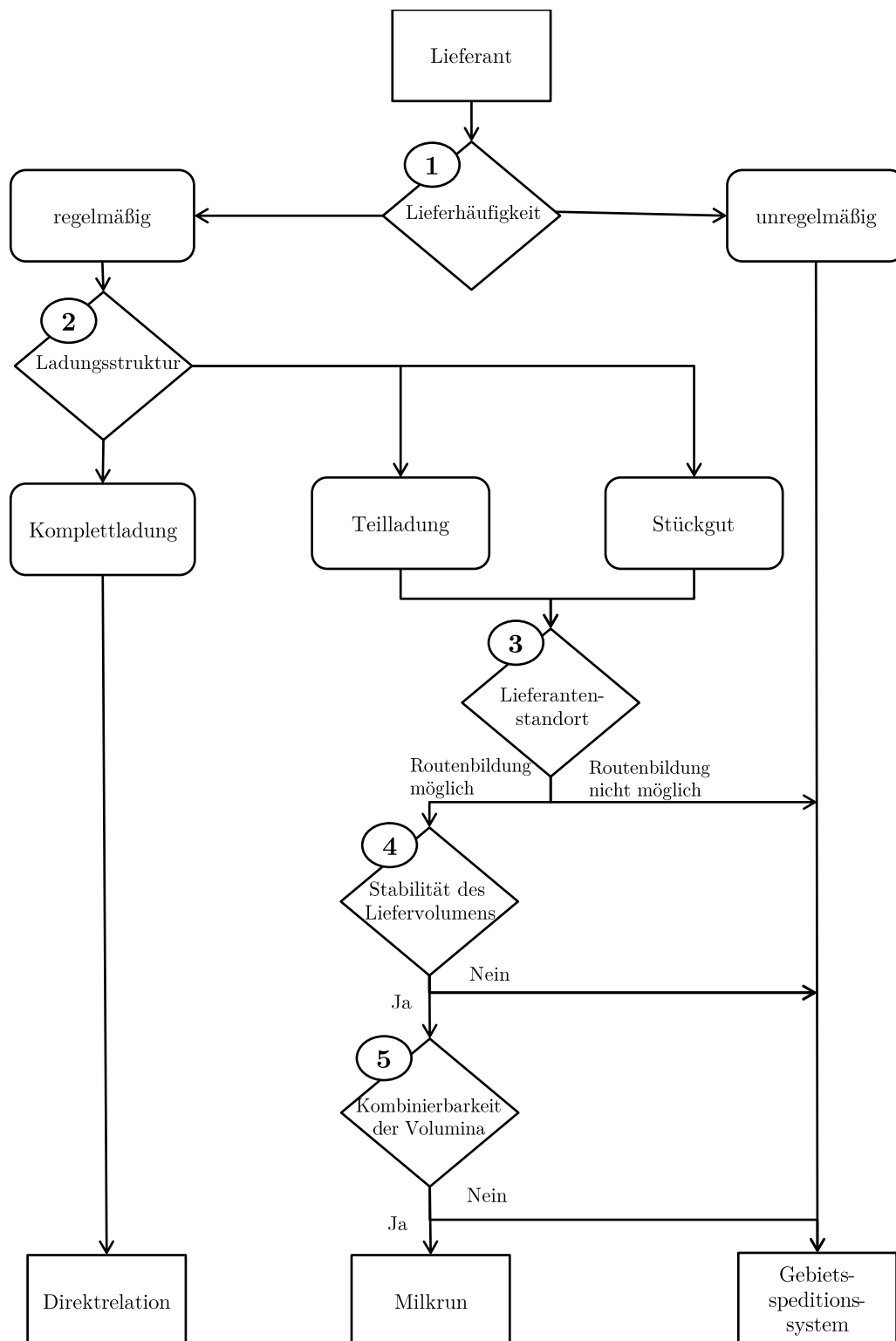
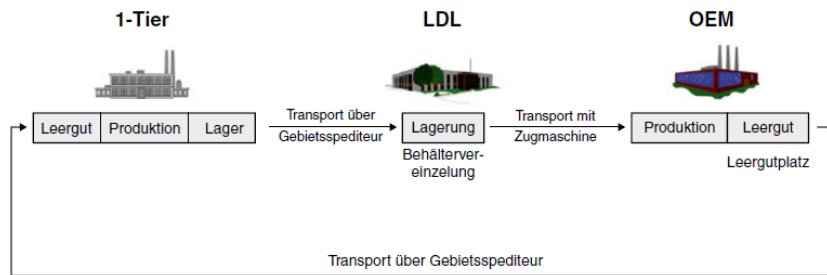


Abbildung 2.7.: Entscheidungsbaum Transportformenzuordnung (Quelle: Mit geringfügigen Änderungen entnommen aus VDA (2008), S. 41.)



Behälterprozesskette

Lieferant	Transport Lieferant -> LDL	Lagerbestand LDL	Montage OEM	Leergutplatz OEM	Transport OEM -> Lieferant	Gesamt
3 Tage	2 Tage	2 Tage	2 Tage	3 Tag	2 Tage	14 Tage

Abbildung 2.8.: Umlauftageberechnung des Behälterkreislaufs (Quelle: Klug (2010), S. 158.)

Milkruns können gebildet werden, wenn ein Lieferant regelmäßig Teilladungs- und Stückgutsendungen hat. Darüber hinaus müssen für Milkruns auch folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Produktionsstandort des Lieferanten: Die geografische Lage des Produktionsstandortes des Lieferanten muss eine Routenbildung zulassen. Abgelegene Standorte begünstigen demnach nicht die Bildung von Rundtouren, da dadurch die Länge der Gesamtroute steigt. Begünstigt sind somit Lieferantenstandorte, die in der Nähe anderer Lieferanten liegen.
- Stabilität des Liefervolumens: Das Liefervolumen des Lieferanten muss eine gewisse Stabilität und Planbarkeit aufweisen.
- Kombinierbarkeit der Volumina: Das Transportvolumen mehrerer Lieferanten darf die Transportkapazität eines Transportmittels nicht überschreiten.

Erst wenn räumlich nahegelegene Lieferanten regelmäßig Sendungen haben, die planbar sind und gemeinsam ein Transportmittel auslasten, kann ein Milkrun gebildet werden.⁷¹ Lieferanten, deren Sendungen aus dem Bereich der Teilladungen und des Stückgut sind und keine Milkruns bilden, werden somit ebenfalls über das Gebietsspeditionssystem bedient. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei dieser Zuordnungssystematik nur um eine Empfehlung des VDA handelt, die dem Verlager eine Entscheidungshilfe beim Einkauf von Transportdienstleistungen liefert.

⁷¹Vgl. Wildemann und Faust (2004), S. 37.

Neben den beschriebenen Grundformen von Transportleistungen werden über das Gebietsspeditionssystem weitere Transportleistungen abgewickelt. Da der Transport der Materialien von den Lieferanten an Werke meist mit Behältern erfolgt, auch als Vollgutladung bezeichnet, müssen nach dem Ende des Transports die leeren Behälter wieder zurück zu den Lieferanten transportiert werden. Der Transport der leeren Behälter wird auch als Leergutladung bezeichnet. Um den Prozess für Leergutladungen zu vereinfachen, werden die Transportleistungen der Leergutladungen üblicherweise auch an die Gebietsspediteure übertragen. Das Transportsystem der vollen und leeren Behälter ergibt einen Kreislauf, dessen zeitlicher Ablauf für ein nationales Gebietsspeditionssystem in Abbildung 2.8. dargestellt ist. Ein Behälterzyklus umfasst dabei eine Dauer von insgesamt 14 Tagen. Der Gebietsspediteur kann die Rückführung der leeren Behälter als Leergutladungen dazu nutzen, die Transportmittel der Rückfahrten mit Leergutladungen auszulasten. Da der Transport des Leerguts im Vergleich zum Vollgut zeitunkritischer ist, hat der Logistikdienstleister mehr Gestaltungsmöglichkeiten, die Rückfahrten zu optimieren.

In Ergänzung zu diesen planmäßig ausgeführten Transporten werden den Gebietsspediteuren auch Sondertransporte übertragen.⁷² Sonderfahrten sind außerplanmäßige und besonders zeitkritische Fahrten, die neben dem skizzierten Regelprozess auszuführen sind. Von den Logistikdienstleistern wird verlangt, dass sie in der Regel innerhalb von 1 bis 2 Stunden nach dem Auftragseingang Transportmittel bei den entsprechenden Lieferanten bereitstellen. Dadurch kann in unvorhergesehenen Fällen (z. B. Maschinenausfall bei dem Lieferanten) per Sonderfahrt die Versorgung der Produktion sichergestellt werden, um einen Bandstillstand möglichst zu vermeiden. Bei extrem kritischen Zulieferteilen, sogenannte „Bandstopper“, werden die Sonderfahrten nicht mehr über das Gebietsspeditionssystem, sondern über Dienstleister mit anderen Transportmitteln, wie Flugzeugen, Hubschrauber oder auch mit dem Motorrad, direkt transportiert.

Somit werden über das Gebietsspeditionssystem folgende Transportleistungen erbracht:

- unregelmäßige Komplettladungen,
- unregelmäßige Teilladungen,
- Stückgutladungen,
- Leergutladungen,
- besonders zeitkritische Sonderfahrten.

⁷²Vgl. Iskan (2009), S. 23.

2.3.2. Charakterisierung und Abgrenzung des Logistiksystems

Logistikdienstleister sind dazu angehalten ihr Leistungsangebot zu systematisieren, um dadurch den Verladern standardisierte und individuell gestaltbare Logistikleistungen anzubieten, die die Bedürfnisse der Verlager abdecken. Das Leistungsangebot eines Logistiksystems kann durch zwei Merkmalsgruppen charakterisiert werden: Diese sind die Merkmale „Modul- und Netzsysteme“ sowie „offene und dedizierte Systeme“.⁷³ Das Logistiksystem eines Logistikdienstleisters wird einerseits durch die Gestaltungsoptionen des Verladers („Modul- und Netzsysteme“) und andererseits durch die Möglichkeit des Logistikdienstleisters, dieses System für mehrere Verlager anzubieten („offene und dedizierte Systeme“), determiniert.

Modulsysteme sind klar abgegrenzte Leistungsmodule, die jedoch für sich alleine kein eigenständiges Logistiksystem darstellen, sondern nach den Wünschen der Kunden zusammengesetzt werden. Die Einbindung und Steuerung dieser Module werden vom Verlager vorgenommen, der als „Dirigent“ des eigenen Logistiksystems verstanden werden kann. Die Besonderheit von Modulsystemen ist, dass eine Dominanz des Verladers vorliegt, der einzelne Module nachfragt und zu einem verladerorientierten System verknüpft. Dem Logistikdienstleister bleibt eine „passive Mitgestaltung“.⁷⁴ Netzsysteme werden dadurch charakterisiert, dass der Logistikdienstleister alle Leistungen konsequent selbst plant, steuert und kontrolliert.⁷⁵ Die Gestaltung der Abläufe und Strukturen ist standardisiert. Verlager haben in Netzsystemen keine Möglichkeit, das Logistiksystem zu beeinflussen, und müssen sich stattdessen auf das gegebene Logistiksystem einrichten.

Ein offenes System (oder Multi-User-System⁷⁶) bedeutet, dass das Leistungsangebot von mehreren Verladern genutzt wird. Die Offenheit beschreibt damit die Eigenschaft der freien Zugänglichkeit bzw. Partizipation von mehreren Verladern an dem Logistiksystem. Der Vorteil von offenen Systemen ist, dass Größen- und Verbundeffekte realisiert werden können. Im Unterschied dazu stehen die dedizierten Systeme oder auch Single-User-Systeme. Diese Form von Logistiksystemen ist auf die ganz speziellen Bedürfnisse eines Verladers ausgerichtet.

Tabelle 2.7. zeigt Beispiele von Ausprägungen der vier Kombinationen der Merkmalsgruppen.

Charakteristisch für das Gebietsspeditionssystem in der industriellen Beschaffungslogistik ist, dass es ein offenes und modulares Logistiksystem darstellt. Verlager haben die Gestaltungsoption, die Warenflüsse über verschiedene Gebietsspediteure zu steuern. Ein Modul stellt in diesem Zusammenhang die Transportleistung eines Gebietsspediteurs für ein klar abgegrenztes Gebiet dar. Gleichzeitig kann der Gebietsspediteur die Leistungen des Logistiksystems für mehrere Verlager anbieten und dadurch Syn-

⁷³Vgl. Fuhrmann (1997), S. 39.

⁷⁴Vgl. Fuhrmann (1997), S. 41.

⁷⁵Vgl. Fuhrmann (1997), S. 41.

⁷⁶Vgl. Klaus und Kille (2012), S. 286.

Systemausprägung	Modulsysteme	Netzsysteme
Offene / Multi-User-Systeme	Gebietsspeditionssystem in der industriellen Beschaffungslogistik	Stückgutssysteme
Dedizierte/Single-User-Systeme	Transshipmentterminal Handelslogistik	Externes Distributionslager

Tabelle 2.7.: Ausprägungsbeispiele für Modul-/Netzsysteme (In Anlehnung an Fuhrmann (1997), S. 43.)

ergiepotenziale zwischen mehreren Verladern generieren.

Das Gebietsspeditionssystem ist ein offenes Modulsystem, das sich von dem dedizierten Modulsystem für genau einen Verlader, wie z. B. dem Transshipmentterminalkonzept für Handelsketten, und dem Netzsystem ohne Gestaltungsoptionen der Verlader, wie z. B. dem Stückgutnetz der Verbunddienstleister sowie dem externen Distributionslager der Konsumgüterkontraktlogistik, abgrenzt. Der Logistikdienstleister hat damit die Herausforderung, den Verladern ein individuell gestaltbares Logistiksystem anzubieten, das trotzdem Synergieeffekte über mehrere Verlader hinweg realisieren kann. Abbildung 2.9. zeigt in diesem Zusammenhang drei Stufen der Konsolidierung, um Synergieeffekte in einem Gebietsspeditionssystem zu erzielen.

In der Grundform des Gebietsspeditionskonzeptes werden Transporte zu einem Werk quellgebietsweise konsolidiert (Konsolidierungsstufe 1). Das Gebietsspeditionssystem besitzt nur geringe Möglichkeiten für Synergiepotenziale. In einer erweiterten Form werden Hauptläufe mehrerer Werke in einer gemeinsamen Tour bzw. in einem gemeinsamen Hauptlauf bis in Werksnähe zusammengefasst (Konsolidierungsstufe 2).⁷⁷ Weiteres Einsparpotenzial ist in einer herstellerübergreifenden Bündelung der Materialströme zu sehen (Konsolidierungsstufe 3).⁷⁸ Bei dieser Stufe sind die größten Synergiepotenziale für das Gebietsspeditionssystem möglich.

In empirischen Studien wurde gezeigt, dass in der Automobilindustrie Hersteller ihre Lieferteile oft von den gleichen Lieferanten beziehen.⁷⁹ Für den Logistikdienstleister ergeben sich dadurch Synergieeffekte im Vorlauf, da der Logistikdienstleister die Lieferanten in einer gemeinsamen Tour für mehrere Verlader anfahren kann. Zudem können sich auch Synergiepotenziale im Hauptlauf ergeben, sodass Werke unterschiedlicher Hersteller durch eine Hauptlauftour bedient werden können. Folglich können Logistikdienstleister ihre Synergiepotenziale in dem Gebietsspeditionssystem mit zunehmender Anzahl an Verladern der gleichen Branche steigern. Es ist zu beobachten, dass Gebietsspediteure in einigen Gebieten für mehrere Verlader beauftragt

⁷⁷Vgl. hierzu auch die Anforderung von Parbel (1981), S. 8.

⁷⁸Vgl. Klug (2010), S. 345.

⁷⁹Vgl. Miemczyk und Holweg (2004), S. 190.

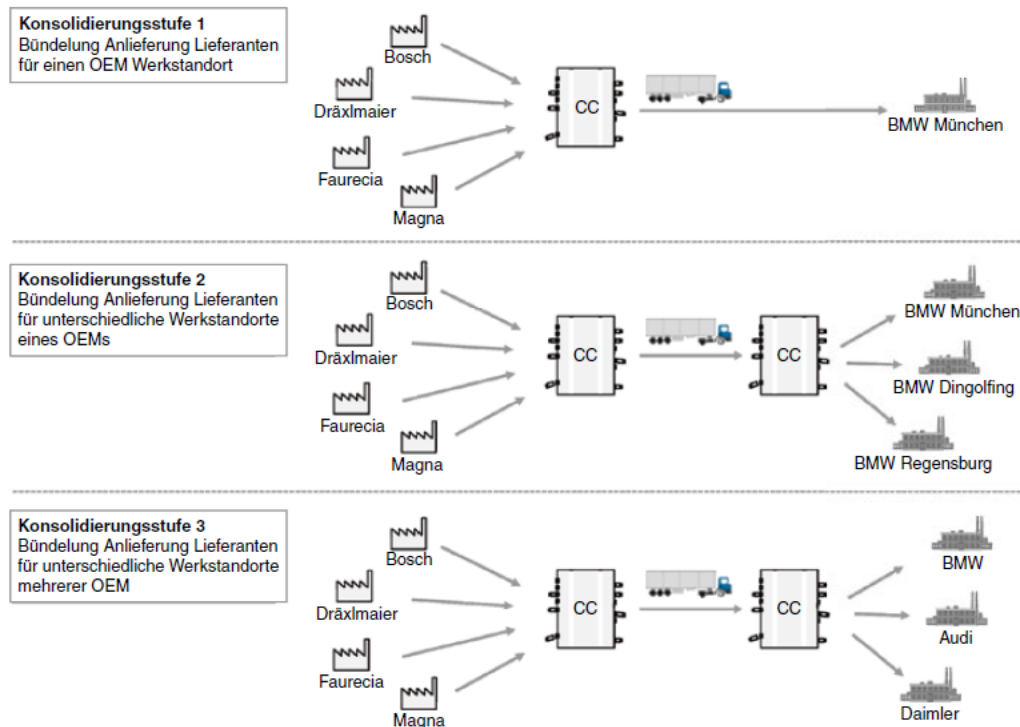


Abbildung 2.9.: Konsolidierungsstufen Inbound-Transporte (Quelle: Klug (2010), S. 346.)

sind. Damit können diese Logistikdienstleister ihren Kunden quasi eine Branchenlösung anbieten.⁸⁰

2.3.3. Prozesse im Gebietsspeditionssystem

Beim Regelprozess im Gebietsspeditionssystem werden durch den Logistikdienstleister Stückgutladungen und Teilladungen im Vorlauf von den Lieferanten abgeholt, im Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters umgeschlagen und anschließend im Hauptlauf gebündelt an die Werke des Verladers transportiert. Der Informationsfluss zu diesem Regellauf ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Für den Regellauf werden die Transportlaufzeiten für das Gebietsspeditionssystem innerhalb von Deutschland in der Regel durch das A-B-C-Raster vorgegeben,⁸¹ siehe Tabelle 2.8.

Der Lieferant erhält dazu vom Hersteller bereits mehrere Tage im Voraus einen Lieferabruf für die Materialien, die für die Produktion der Werke benötigt werden. Eine Transportanmeldung (Avisierung) der Sendungen erfolgt durch den Lieferanten

⁸⁰Vgl. Fuhrmann (1997), S. 51.

⁸¹Vgl. Iskan (2009), S. 23; Für andere europäische Länder werden längere Transportlaufzeiten vorgegeben.

2. Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen

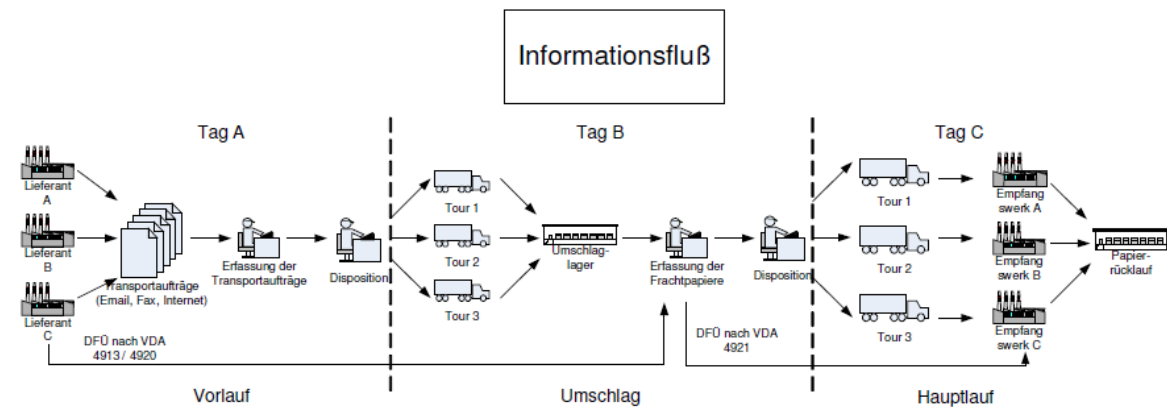


Abbildung 2.10.: Informationsfluss Regellauf (Quelle: Wiedmann (2006), S. 83.)

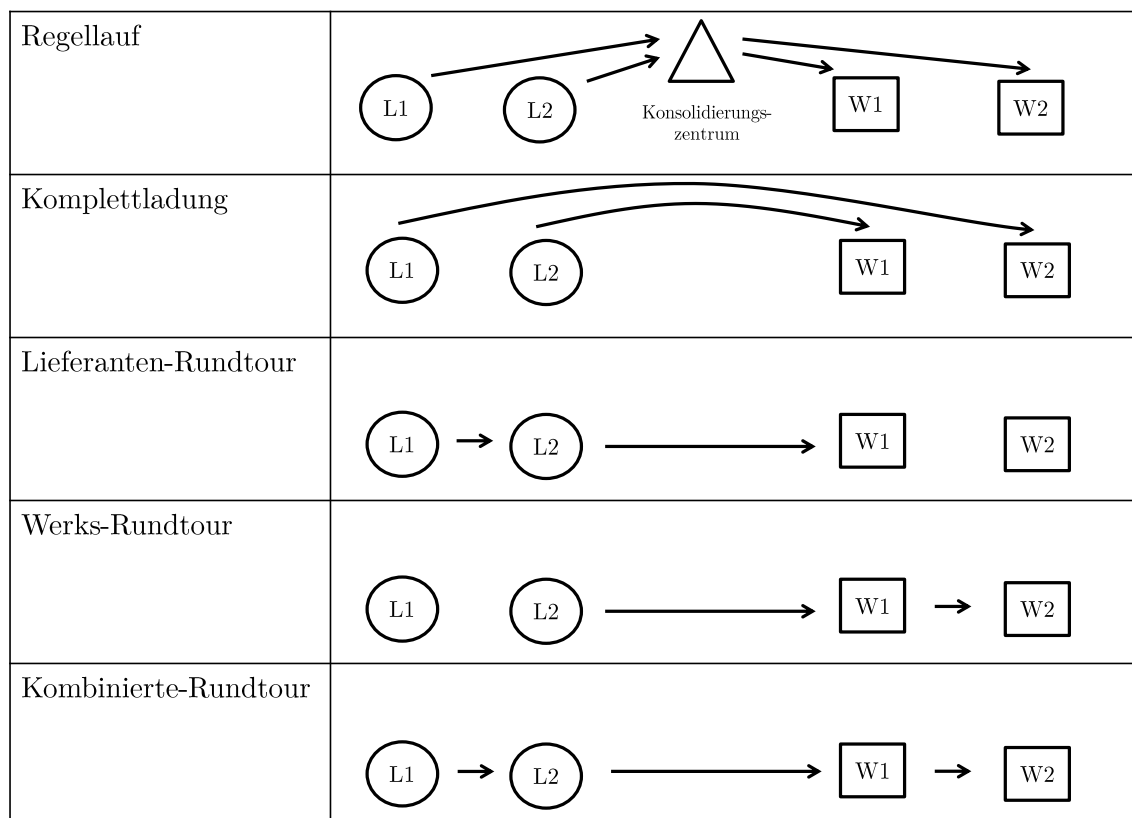


Abbildung 2.11.: Die häufigsten Transportwege (Quelle: Mit geringfügigen Änderungen übernommen aus Flender u. a. (2008), S. 10.)

Tag A	Avisierung der Sendungen durch den Lieferanten (z. B. bis 16 Uhr)
Tag B	Übernahme der Sendungen durch den Gebietsspediteur
Tag C	Anlieferung der Sendungen im Empfangswerk mit Zeitfenstersteuerung

Tabelle 2.8.: Transportlaufzeiten für eine Gebietsspeditionsabwicklung in Deutschland: A-B-C-Raster für Vollgut (Quelle: Iskan (2009), S. 23.)

erst am Tag A, wodurch der Prozess für den Regelablauf beginnt. Mit dem Transportauftrag erhält der Logistikdienstleister relevante Informationen zum Abholdatum, Abholzeitfenster, Art sowie Anzahl und Gewicht der Ladungsträger, Anliefertermin, Anlieferwerk, Abladestelle sowie Information über mögliche Gefahrgutstoffe.⁸² Der Logistikdienstleister registriert am Tag A alle Transportaufträge, die über verschiedenen Kanäle wie E-Mail, Fax oder per EDI gesendet werden. Nur alle Aufträge, die bis zu einem Zeitpunkt (z. B. bis 16 Uhr) eingehen, werden in die Planung des Logistikdienstleisters für den Folgetag aufgenommen. Der Logistikdienstleister führt noch am gleichen Tag in der Disposition die Planung der Vorlauftouren für den darauffolgenden Tag durch, womit der Tag A beendet wird.

Am Tag B werden die Waren beim Lieferanten durch die Vorlauftouren abgeholt und in das Konsolidierungszentrum des Gebietsspediteurs gebracht. Die Abholung der Sendungen kann bei den Lieferanten nur innerhalb der vorgegebenen Abholfenster erfolgen.⁸³ Zum Zeitpunkt der Warenabholung führt der Logistikdienstleister beim Lieferanten gleichzeitig eine Wareneingangskontrolle durch, die auch als Wareneingangskontrolle für den Verloader dient. Der vorgezogene Wareneingang hat den Vorteil, dass doppelte Arbeiten in der Lieferkette vermieden werden, die eigentlich der Hersteller noch mal beim Wareneingang im Werk durchführen müsste. Auf diese Weise können Abweichungen frühzeitig identifiziert werden, wodurch mehr Zeit bleibt, um auf Störungen im logistischen Ablauf zu reagieren.⁸⁴ Die Planung der Hauptläufe beginnt erst mit der Beendigung der Vorlauftouren und dem Eintreffen der Sendungen im Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters. Für die Hauptlaufplanung werden in der Disposition die Sendungen in Touren eingeteilt und weitere Begleitpapiere erstellt⁸⁵. In dem Konsolidierungszentrum werden dann die Sendungen nach den Werken sortiert und auf die Transportmittel der Hauptläufe geladen.⁸⁶

Am Tag C erfolgt dann die Zustellung bei den Empfangswerken durch die Hauptläufe. Die Transportkette wird mit der Quittierung der Frachtbriefe abgeschlossen.⁸⁷

Abweichend von dem dargestellten Regellauf können Logistikdienstleister Sendun-

⁸²Vgl. Wiedmann (2006), S. 82.

⁸³Vgl. Klug (2010), S. 333.

⁸⁴Vgl. Klug (2010), S. 334.

⁸⁵Vgl. Wiedmann (2006), S.83

⁸⁶Vgl. Klug (2010), S. 231.

⁸⁷Vgl. Wiedmann (2006), S. 84.

gen auch ohne den Umweg über das Konsolidierungszentrum transportieren, siehe Abbildung 2.11. Durch den direkten Transport ergeben sich drei Vorteile. Erstens, es fallen keine Umschlagskosten für den Umschlag an dem Konsolidierungszentrum an. Zweitens, die Gesamtdistanz von den Lieferanten zu den Werken wird verkürzt. Drittens, die gesamte Transportzeit verkürzt sich ebenfalls, sodass Sendungen noch am gleichen Tag in das Werk des Verladers geliefert werden können.⁸⁸

Als direkte Transporte kommen vier unterschiedliche Transportwege in Betracht. Unabhängig von der Definition einer Komplettladung nach dem Transporttarif⁸⁹ ergeben sich für einen Logistikdienstleister Komplettladungen auch dann, wenn kleinere Transportmittel voll ausgelastet direkt von einem Lieferanten ($L1$) zu einem Werk ($W1$) gefahren werden können. Eine Lieferanten-Rundtour ist eine Sammeltour, die Sendungen von mehreren, räumlich zusammengelegenen Lieferanten (z. B. $L1$ und $L2$) zu einer Komplettladung zu einem Werk ($W1$) bündelt. Analog zur Lieferanten-Rundtour werden bei einer Werks-Rundtour die Transport von einem Lieferanten zu mehreren Werken (z. B. $W1$ und $W2$) zusammengelegt. Die Kombinierte-Rundtour vereinigt eine Lieferanten-Rundtour und eine Werks-Rundtour in einer gemeinsamen Sammeltour.

Entscheidend für die Abweichung vom Regellauf ist, dass die Sendungen ein Transportmittel auslasten können, sodass die Transportkosten des direkten Transportes geringer sind als im Regellauf. Weiterhin hat der Logistikdienstleister bei der Erstellung der Touren mehrere Besonderheiten zu beachten. Einige Kriterien davon sind :⁹⁰

- Lenkzeiten
- Einsatztermin der Fahrzeuge
- Zeitfenster bei den Lieferanten und bei den Empfangswerken
- Puffer in den Transportzeiten
- Kundenrestriktionen
- Geschultes Personal
- Equipment

Insbesondere die Einhaltung von Zeitfenstern stellt die Logistikdienstleister vor großen Herausforderungen, sodass die Tourenplanung nicht immer im Interesse des Logistikdienstleisters erfolgen kann. Logistikdienstleister beklagen zudem, dass sich Lieferanten oft nicht an die vereinbarten Termine halten und die Logistikdienstleister in dieser Beziehung benachteiligt werden.

⁸⁸Vgl. hierzu auch Wiedmann (2006), S. 86.

⁸⁹Vgl. hierzu Kapitel 2.2.1

⁹⁰Vgl. Wiedmann (2006), S. 86 f.

2.4. Ausgestaltung des Vergabeprozesse in Gebietsspeditionsnetzen

Zu den fortlaufenden Aufgaben eines Verladers gehört die Ausschreibung von Transportleistungen für das Gebietsspeditionssystem, die in regelmäßigen Abständen (z. B. jährlich) wiederholt wird. Damit erhält der Verloader die Chance, von Marktveränderungen zu profitieren (z. B. wenn die Preise der Anbieter zurückgehen oder neue Anbieter auf den Markt treten). Der Verloader unterzieht mit jeder neuen Ausschreibung die bestehenden Logistikdienstleister einem Marktcheck und kann ggf. die Vergabeentscheidung zugunsten anderer Logistikdienstleistern treffen. Damit sind Logistikdienstleister dazu angehalten, fortwährend an ihrer Kosteneffizienz zu arbeiten, um den Zuschlag für zukünftige Ausschreibungen des Verladers weiterhin zu erhalten.

Der Vergabeprozess von Transportleistungen zwischen einem Verloader und den Logistikdienstleistern kann als eine Auktion aufgefasst werden. Unter einer Auktion ist ein Allokationsverfahren mit einem expliziten Regelwerk zu verstehen, um auf Basis von Geboten der Marktteilnehmer Ressourcenallokationen und Preise zu bestimmen.⁹¹ Dabei werden Ausschreibungen als eine Sonderform von Auktionen (*Reverse Auction*) gesehen,⁹² in denen Güter oder Dienstleistungen vergeben werden. Für den Kontext der Vergabe von Transportleistungen verwenden wir in dieser Arbeit die Begriffe Auktion und Ausschreibung synonym.

In diesem Abschnitt wird auf die Ausgestaltung der Vergabeprozesse in Gebietsspeditionssystemen eingegangen. Wir beginnen damit, den Ablauf einer Gebietsauktion aufzuzeigen (Abschnitt 2.4.1.). Das Ergebnis der Gebietsauktion sind die Tarife für das Gebietsspeditionssystem des Verladers (Abschnitt 2.4.2.). Eine Besonderheit von Gebietsauktionen des Gebietsspeditionssystems ist, dass in der Gebietsauktion keine Gebotspreise, sondern Frachtmatrizen abgegeben werden. Daher werden dazu die Berechnungen von Gebotspreisen dargestellt (Abschnitt 2.4.3.). Danach werden die möglichen Ziele von Verladern in Gebietsauktionen beschrieben. Dieser Abschnitt schließt mit der Vorstellung der Grundformen von Bündelauktionen, die für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen eingesetzt werden können.

2.4.1. Ablauf einer Gebietsauktion

Der Umfang und Ablauf einer Ausschreibung für Transportleistungen wird in der Literatur recht unterschiedlich beschrieben.⁹³ Wir folgen für unsere Ausführungen im Wesentlichen der Darstellung von Caplice und Sheffi (2006). Nach Caplice und Sheffi

⁹¹Vgl. McAfee und McMillan (1987), S. 701. Anstelle des Begriffs „Allokationsverfahren“ verwenden die Autoren den Begriff der „Marktinstitution“.

⁹²Vgl. Säger (2004), S. 47.

⁹³Vgl. Andersson und Norrman (2002), S. 7 ff; Klaus u. a. (2012), S. 35 ff; Precht (2007), S. 263 ff; Gudehus (2010), S. 1004 ff; Wrobel und Klaus (2009), S. 39 ff; Iskan (2009), S. 59 ff.

	Vorbereitungsphase	Ausschreibungsphase	Nachbereitungsphase
Verlader	<ul style="list-style-type: none"> - Prognose von Transportbedarfen - Vorauswahl von Logistikdienstleistern - Erstellen von Ausschreibungsunterlagen - Festlegung von Gebotsstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> - Zwischeninformationen der Anbieter 	<ul style="list-style-type: none"> - Gewinnerermittlung und Analyse der Ergebnisse - Preisverhandlungen - Vertragsabschluss
LDL	<ul style="list-style-type: none"> - RFI-Bearbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> - RFQ-Bearbeitung - Kalkulation - Angebotsabgabe 	<ul style="list-style-type: none"> - Verhandlung

Tabelle 2.9.: Aufgaben in einer Transportausschreibung

wird der Vergabeprozess von Transportleistungen in drei Phasen unterteilt :⁹⁴

Die erste Phase, die Vorbereitungsphase, dient dem Verlader dazu, die Auktion vorzubereiten. Der Verlader prognostiziert zunächst auf Basis der vergangenen Daten die Transportbedarfe für den Vergabezeitraum. Eine gängige Praxis für die Vergabe im Gebietsspeditionssystem ist die Bereitstellung von historischen Auftragsdaten (z. B. Lieferscheine oder Transportaufträge aus dem ERP-System des Verladers) aus einem repräsentativen Zeitraum (Analysezeitraum). Prognostizierte Veränderungen aus der Geschäftstätigkeit des Verladers werden durch einen Anpassungsfaktor (z. B. plus 5 %) für den zukünftigen Zeitraum angegeben. Diese Daten haben zwei Funktionen: Zum einen können Logistikdienstleister ihre Kalkulation auf diesen Daten fundieren und zum anderen wertet der Verlader mit diesen Daten auch die abgegebenen Tarife der Logistikdienstleister aus, sodass der Verlader und der Logistikdienstleister die gleiche Grundlage für ihre Entscheidungen haben.

In der Vorbereitungsphase trifft der Verlader auch eine Vorauswahl an potenziellen Logistikdienstleistern, die die Leistungen für das Gebietsspeditionssystem erbringen können. Hierzu werden zu den bestehenden Logistikdienstleistern auch neue Logistikdienstleister in Betracht gezogen, mit denen der Verlader die erste Kommunikation aufnimmt. Der Verlader fragt hierzu erste bzw. aktualisierte Informationen der Logistikdienstleister ab (beispielsweise Angaben zur Flottengröße), das als *request for infor-*

⁹⁴Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 542.

ation (RFI) bezeichnet wird. Durch den RFI vermittelt der Verlader die Hintergründe und die Ernsthaftigkeit der Auktion, um die Teilnahme der Logistikdienstleister an der Auktion zu motivieren. Dies ist aus Sicht der Logistikdienstleister notwendig, da für die Bearbeitung der Auktion nur dann interne Ressourcen gebunden werden, wenn Erfolgsaussichten des Logistikdienstleisters gegeben sind.⁹⁵ Aus allen Rückantworten der Logistikdienstleister zu dem RFI grenzt der Verlader die Menge der potenziellen Logistikdienstleister weiter ein.⁹⁶

Zu den weiteren Aufgaben des Verladers gehören in dieser Phase die Ausarbeitung von Ausschreibungsunterlagen und die Festlegung der Information,⁹⁷ die von den Logistikdienstleistern abgefragt wird. Der Verlader bereitet dazu entsprechende Preisschemata für die Frachttarife vor,⁹⁸ die in der Auktion von Logistikdienstleistern zu befüllen sind. Weiterhin hat der Verlader die Form der Gebote zu bestimmen.⁹⁹ Entweder gibt der Verlader die Gebietsstruktur fest vor oder der Verlader gibt eine sehr feine Gebietsstruktur vor, aus denen die Logistikdienstleister selbst bestimmen können, auf welche Gebiete sie Gebote abgeben wollen. Auf diesen Punkt wird später ausführlicher eingegangen.¹⁰⁰

In der zweiten Phase, der Ausschreibungsphase, wird die eigentliche Auktion durchgeführt. Hierzu fordert der Verlader die vorausgewählten Logistikdienstleister auf, Gebote für die Gebiete des Gebietsspeditionssystems abzugeben. Die Gebotsanfrage wird auch als *request for quotation* (RFQ)¹⁰¹ bezeichnet. Für die Durchführung der Auktion werden heutzutage typischerweise private oder öffentliche internetbasierte Ausschreibungsplattformen benutzt. Die Aufgaben des Verladers begrenzen sich in dieser Phase auf die reibungslose Durchführung der Auktion. Gelegentlich beantwortet der Verlader Nachfragen der Logistikdienstleister, die während dieser Phase auftreten können.¹⁰²

Für den Logistikdienstleister beginnt in dieser Phase die eigentliche Bearbeitung der Auktion. Aufgrund der Größe der Gebietsauktion für das Gebietsspeditionsnetz wird zur Bearbeitung ein Projektteam seitens des Logistikdienstleisters gebildet, das die interne Bearbeitung der Gebietsauktion koordiniert, bei der eine Vielzahl an Fachabteilungen beteiligt ist.¹⁰³ Auf Basis des vom Verlader bereitgestellten Mengengerüsts werden dann Kalkulationen durchgeführt und von den verschiedenen Fachabteilungen intern überprüft. Erst wenn alle Kalkulationen und Preise vollständig intern abge-

⁹⁵Vgl. Iskan (2009), S. 67.

⁹⁶Vgl. Buer (2011), S. 17.

⁹⁷Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 35.

⁹⁸Vgl. auch Müller-Daupert (2009), S. 48.

⁹⁹Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 542.

¹⁰⁰Vgl. Kapitel 2.4.5.

¹⁰¹Der RFQ ist vom *request for proposal* (RFP) abzugrenzen, das Anfragen für komplexe Logistikprojekte bezeichnet, bei den Logistikdienstleister innovative Konzeptentwicklungen zu leisten haben.

¹⁰²Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 36.

¹⁰³Vgl. Iskan (2009), S. 68.

stimmt sind, werden die Gebote abgegeben.¹⁰⁴ Bei mehrrundigen Auktionen erhält der Logistikdienstleister in dieser Phase zusätzlich Rückmeldung zu seinen Geboten und wird meist auch zu weiteren Gebotsinformationen aufgefordert.¹⁰⁵

Die dritte Phase, die Nachbereitungsphase, beginnt damit, dass der Verlader das Gewinnerermittlungsproblem für die angegebenen Gebote löst. Typischerweise werden beim Lösen des Gewinnerermittlungsproblems zahlreiche „What-if“-Szenarien durchgespielt, um verschiedene Vergabeszenarien des Verladers zu durchleuchten. Bei einer mehrrundigen Auktion wird im Anschluss an die Gewinnerermittlung den Logistikdienstleistern eine Rückmeldung über ihre Gebote gegeben. Die Art der Rückmeldung kann unterschiedliche Informationen wie die Rangfolge der Gebote, den besten Preis oder die führenden Bündelgebote¹⁰⁶ beinhalten.

Stehen aussichtsreiche Angebote der Logistikdienstleister fest, werden bilaterale Preisverhandlungen mit den Logistikdienstleistern aufgenommen. Bei einer einvernehmlichen Übereinkunft der Parteien kommt es dann zu einem Vertragsabschluss. Als Ergebnis dieser Preisverhandlungen werden die neuen Frachttarife in das Transportmanagementsystem des Verladers übernommen¹⁰⁷. Der zeitliche Umfang für derart größere Auktionen, wie bei Gebietsspeditionsnetzen, wird mit einer Dauer von 20 bis 30 Wochen geschätzt.¹⁰⁸

Tabelle 2.9. fasst die Aufgaben für den Verlader und die Logistikdienstleister in den unterschiedlichen Phasen einer Gebietsauktion zusammen.

2.4.2. Tarife im Gebietsspeditionssystem

Bis in das Jahr 1994 war in Deutschland der Transportmarkt reguliert und unterlag gesonderten Regeln. Diese Regulierung beinhaltete die Vorgabe von Transportpreisen durch Tarife, die Beschränkung des Güterfernverkehrs durch Genehmigungen (Konzession) und die Marktzugangsbeschränkung in andere Mitgliedstaaten der EU für den Binnenverkehr (Kabotage).¹⁰⁹ Durch diese Maßnahmen sollten Transportunternehmen vor ruinösen Preiskämpfen geschützt werden. 1994 wurden diese Maßnahmen außer Kraft gesetzt, sodass seitdem keine Preisbindung mehr für Transportleistungen existiert. Aus dieser Zeit stammen noch das Tarifwerk des *Güterfernverkehrs* (GF), dessen Vorgänger bis 1990 der Reichskraftwagentarif war,¹¹⁰ und das Tarifwerk des

¹⁰⁴Vgl. Iskan (2009), S. 68.

¹⁰⁵Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 542.

¹⁰⁶Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 543.

¹⁰⁷Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 542.

¹⁰⁸Vgl. Gudehus (2010), S. 1006; zu ähnlichen Feststellungen kommen auch Caplice und Sheffi (2006), S. 542.

¹⁰⁹Vgl. Jünemann und Schmidt (2000), S. 336.

¹¹⁰Vgl. Weddewer (2007), S. 135; Paraschis (1989), S. 19.

Güterverkehrs (GN).¹¹¹ Bis zur Deregulierung durch das Tarifaufhebungsgesetz von 1994 waren die Preise beider Tarifwerke gültig. Preisabschläge auf den GF-Tarif waren in den Vereinbarungen nur in begrenztem Umfang zugelassen.¹¹²

Auch wenn dieses Rahmenwerk nach der Regulierung nicht mehr geltend ist, wurde es gerade in der Zeit nach der Regulierung als Referenzpreis für Tarifvereinbarungen im Ladungsverkehr benutzt.¹¹³ Heutige Tarifvereinbarungen zwischen Logistikdienstleistern und Verladern haben viele Merkmale dieser Tarife immer noch aufgenommen.¹¹⁴ Der GF-Tarif, der für die weiten Entfernungen des Gebietsspeditionssystems maßgeblich ist,¹¹⁵ liefert somit für die heutigen Tarifvereinbarungen zumindest Einsichten in die Strukturen und die Kostenverläufe.¹¹⁶

Entfernung / Gewicht	...	551 – 600 kg	601 – 650 kg	651 – 700 kg	...
181 – 200 km		63,3	68,41	73,52	
201 – 220 km		67,8	73,27	78,74	
221 – 240 km		71,79	77,56	83,39	

Tabelle 2.10.: Auszug aus dem GF-Frachttarif

Der GF-Tarif ist ein zweidimensionaler Frachttarif, der von der Entfernung und dem Gewicht abhängig ist.¹¹⁷ Für die Bestimmung der Fracht ist der Preis aus dem Frachttarif zu entnehmen, siehe Tabelle 2.10. Um z. B. die Fracht für eine Sendung von 630 kg für eine Distanz von 220 km zu ermitteln, ist dessen Entfernungsintervall (z. B. 201-220 km) und Gewichtintervall (z. B. 601-650 kg) zu finden. Der dadurch ermittelte gültige Preis ist dann die Fracht der Sendung.¹¹⁸ Für Gewichte unter 1.000 kg verstehen sich die Preise als Festpreis der Sendungen. Für Gewichte über 1.000 kg sind die Preise als Preis je 100 Kilogramm definiert, sodass das Sendungsgewicht auf volle 100 kg aufgerundet mit dem Preis zu multiplizieren ist. Die maximale Gewichtsgrenze im GF-Tarif liegt bei 26 Tonnen. Alle Gewichte über dieser Grenze sind auf mehrere Transporte aufzuteilen.

In Abbildung 2.12. sind die typischen Verläufe der Transportpreise einer Transportbeziehung im Gebietsspeditionssystem in Abhängigkeit von der vereinbarten Maßein-

¹¹¹Die Unterscheidung in Fernverkehr und Nahverkehr bezieht sich auf die Entfernung der Verkehre. Verkehre bis zu einer Entfernung von 50 km gelten als Nahverkehre. Darüber hinaus gehende Verkehre werden als Fernverkehre bezeichnet.

¹¹²Vgl. Weddewer (2007), S. 135.

¹¹³Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 209.

¹¹⁴Vgl. Seiler (2012), S. 46.

¹¹⁵Der GF-Tarif wurde für Transporte mit einer Entfernung über 50 km angewendet.

¹¹⁶Vgl. Wagner (2006), S. 48.

¹¹⁷Vgl. o. V. (2005), S. 8 ff.

¹¹⁸In Tabelle 2.10. ist dieser Preis hervorgehoben.

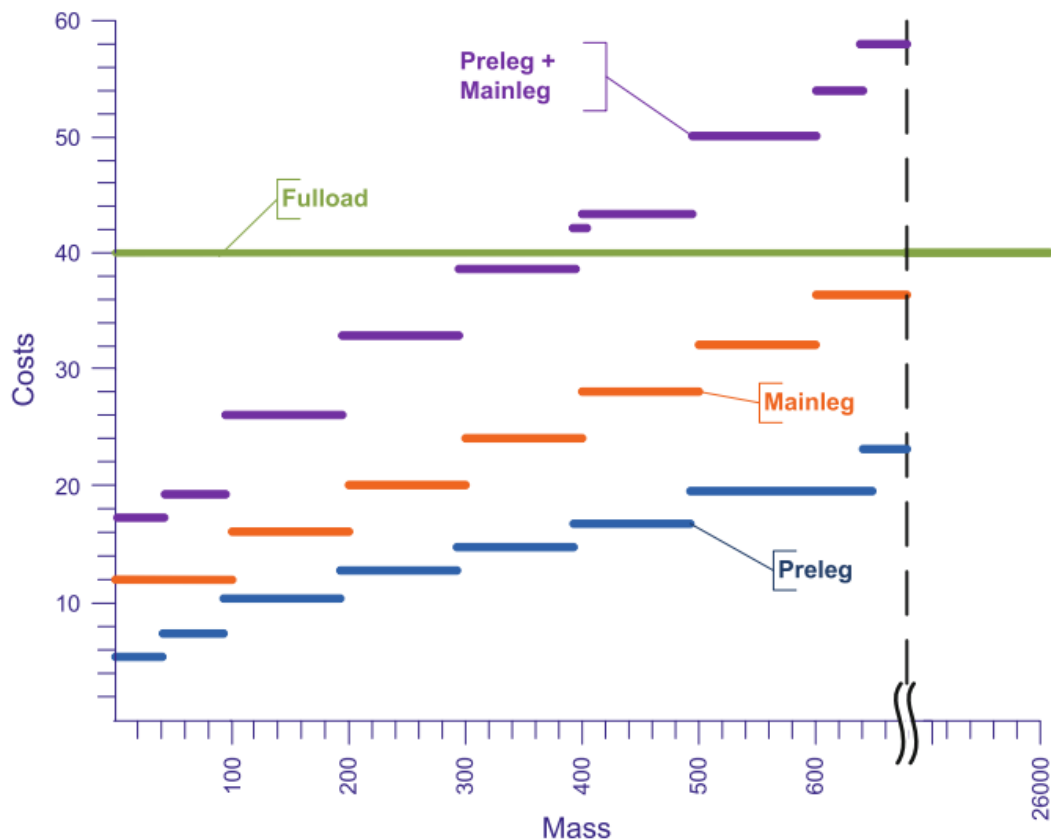


Abbildung 2.12.: Preistarif (Quelle: Schöneberg u. a. (2013), S.811)

heit dargestellt. Es zeigt die stückweise-linearen Preise für den Vorlauf und den Hauptlauf. Anstelle der Vorlauf-/Hauptlaufpreise können die Preise auch als Summenpreise (*Preleg+Mainleg*) angegeben werden. Der Preis einer Komplettladung (*Fullload*) stellt einen Festpreis dar, sodass Sendung ab einer bestimmten Grenze wirtschaftlicher als Komplettladung transportiert werden sollten. Obwohl das Gewicht als Maßeinheit eine naheliegende Größe darstellt, auf der die Tarifvereinbarungen basieren, können davon abweichend auch andere Maßeinheiten wie Lademeter, Volumen oder die Anzahl der Packstücke verwendet werden.¹¹⁹

Für die Anwendung der Frachttarife in einem Gebietsspeditionssystem unterscheiden wir zwei Arten von Berechnungsschemata:

- **Vorlauf-Hauptlauf-Tarif**

Bei Vorlauf-Hauptlauftarifen existieren für den Vorlauf und für den Hauptlauf getrennte Tarife. Für jede Transportbeziehung im Vorlauf und im Hauptlauf

¹¹⁹Vgl. Schöneberg (2013), S. 7.

wird die Berechnung der Transportkosten separat durchgeführt. Diese Art von Tarif geht zum Teil noch auf die Tarifberechnung in den Zeiten des regulierten Marktes zurück, als für den Vorlauf und den Hauptlauf das Tarifwerk getrennt einzuhalten war.

- **Haus-zu-Haus-Tarif**

Beim Haus-zu-Haus-Tarif wird nur ein Tarif für jede Transportbeziehung zwischen einem Lieferanten und einem Werk angewendet, um die Fracht zu bestimmen. Die Transportkosten berechnen sich dann aus dem Tarif für die direkte Entfernung zwischen dem Lieferanten und dem Werk der Sendung. Diese Tarifstruktur ist typisch für den Stückgutbereich.

Der Vorteil des Vorlauf-Hauptlauf-Tarifs ist, dass die Preiskalkulation der Logistikdienstleister während der Vergabeverhandlungen besser nachvollzogen werden kann, da die Preise für die Einzeltransporte aufgegliedert werden. Außerdem trägt der Verlager bei diesem Berechnungsschema das Risiko für die Auslastung der Hauptläufe mit und kann durch seine Disposition die Auslastung der Hauptläufe explizit berücksichtigen.¹²⁰ Damit ist der Vorlauf-Hauptlauf-Tarif im Vergleich zum Haus-zu-Haus-Tarif verursachungsgerechter.

Der Vorteil des Haus-zu-Haus-Tarifs liegt darin begründet, dass die Preise der Logistikdienstleister in einer Gebietsauktion besser miteinander verglichen werden können, da für jedes Gebiet die Preise der Logistikdienstleister nach dem gleichen Maßstab bewertet werden. Zudem ist der Haus-zu-Haus-Tarif auch einfacher in seiner Berechnung. Es lassen sich dadurch die Kosten einer Sendung von einem Lieferanten zu einem Werk direkt berechnen. Die Transportkosten einer Sendung lassen sich im Vorlauf-Hauptlauf-Tarif nur mittelbar bestimmen.

Unabhängig davon, welcher der beiden Tarife angewendet wird, können für jedes Gebiet gesonderte Tarife angegeben werden, um die Besonderheiten der jeweiligen Gebiete in den Preisen genauer zu berücksichtigen. So besitzen beispielsweise Gebiete mit städtischen Ballungsräumen mehr Verkehrsaufkommen oder bergische Gebiete mehr Auf- und Abfahrten, die zum höheren Treibstoffverbrauch führen.¹²¹

Weiterhin werden in den Tarifvereinbarungen zwischen dem Verlader und den Logistikdienstleister Preisgleitklauseln festgelegt. Preisgleitklauseln, wie Dieselpreisgleitklausel, erhöhen insbesondere bei langfristigen Verträgen die Nachvollziehbarkeit von Berechnungsmodalitäten. Dadurch können ständige Neuverhandlungen bei Preisveränderungen durch externe Einflüsse weitgehend vermieden werden.¹²²

¹²⁰Das Dispositionsproblem der Verlader wurde für einen Vorlauf-Hauptlauf-Tarif bei Schöneberg (2013) und Kempkes (2009) untersucht.

¹²¹Vgl. Schöneberg (2013), S. 7.

¹²²Vgl. Wannenwetsch (2009), S. 82.

2.4.3. Berechnung von Gebotspreisen

In Gebietsauktionen werden anstelle von Gebotspreisen für jedes Gebot Frachttarife abgegeben. Der Grund dafür ist, dass die Frachttarife für die interne Kostenberechnung des Verladers und die Kostenabrechnung des Verladers mit dem Logistikdienstleister verwendet werden. Um den Gebotspreis eines Gebotes zu ermitteln, ist eine Frachtkostenberechnung für die bereitgestellten Transportbedarfe durchzuführen.

Die dafür nötigen Schritte können folgendermaßen systematisiert werden:

1. Selektion der relevanten Transportbedarfe
2. Auswertung der Frachttarife für die Transportbedarfe
3. Kostenverteilung auf Transportbedarfe
4. Ermittlung der Gebotspreise

Im ersten Schritt sind die relevanten Transportbedarfe für die Gebiete eines Gebotes zu ermitteln. Da in einer Gebietsauktion Gebote für einen Teil des gesamten Gebietes abgegeben werden, sind aus der Menge aller Transportbedarfe nur die für die Gebiete des Gebotes betreffenden Transportbedarfe auszuwählen.

Der zweite Schritt besteht darin, die Frachttarife für die relevanten Transportbedarfe auszuwerten. Die Auswertung der Frachttarife ist abhängig von dem zugrunde liegenden Berechnungsschema der Frachttarife (Vorlauf-Hauptlauf-Tarif oder Haus-zu-Haus-Tarif). Bei einem Haus-zu-Haus-Tarif können für jeden Transportbedarf einer Transportbeziehung zwischen einem Lieferanten und einem Werk die Frachten getrennt ermittelt werden. Etwas komplizierter ist die Frachtberechnung im Vorlauf-Hauptlauf-Tarif. Hierzu ist für den Vorlauf und für den Hauptlauf die Fracht separat zu bestimmen. Die Fracht für den Vorlauf kalkuliert sich für jeden Transportbedarf für die Transportbeziehung zwischen einem Lieferanten und dem Konsolidierungszentrum eines Logistikdienstleisters. Für die Berechnung der Frachtkosten des Hauptlaufes sind die Transportbedarfe eines Tages zu einem Werk zu bündeln und die dafür anfallende Fracht zwischen dem Konsolidierungszentrum eines Logistikdienstleisters und dem Werk des Verladers zu kalkulieren.

Unabhängig von dem verwendeten Berechnungsschema werden im Anschluss die Frachtkosten auf jeden Transportbedarf zurückverteilt.¹²³ Bei einem Haus-zu-Haus-Tarif ist keine explizite Kostenverteilung notwendig, da die Frachtkosten nur für genau einen Transportbedarf berechnet wurden. In diesem Fall entsprechen die Kosten eines Transportbedarfes der ermittelten Fracht. Bei einem Vorlauf-Hauptlauf-Tarif ist die eindeutige Zuordnung zu einem Transportbedarf nicht zwangsläufig gegeben, da die Transportbedarfe für den Hauptlauf gebündelt berechnet werden. Hierfür ist die

¹²³Vgl. Kostenverteilung in Transportmanagementsystemen exemplarisch bei Lauterbach u. a. (2014), S. 792 ff.

Fracht auf die einzelnen Transportbedarfe entsprechend von festgelegten Regeln zurückzuverteilen. Ein Beispiel von derartigen Regeln ist die Verteilung der Frachtkosten nach dem anteiligen Gewicht des Transportbedarfes der Gesamtgewichte.

Schließlich kann nach der Ermittlung der Kosten für jeden Transportbedarf der Gebotspreis durch die Summierung aller Kosten der relevanten Transportbedarfe berechnet werden.

2.4.4. Ziele von Verladern

Durch den Einsatz eines Auktionsverfahrens wird von den Verladern als Hauptziel die Minimierung der Summe der *Transportkosten* verfolgt. Verlader sind daher bestrebt, die Allokation von Gebieten zu Logistikdienstleistern zu finden, die insgesamt die Transportkosten minimieren.

Neben den Transportkosten als wichtigste Zielsetzung werden von Verladern eine Reihe von weiteren Zielkriterien für das Auktionsverfahren angestrebt:¹²⁴

- *Einfachheit und Anzahl der Runden*

Verlader von Gebietsspeditionssystemen führen größere Gebietsauktionen in regelmäßigen zeitlichen Abständen durch. Wie bereits dargestellt, ist der Aufwand des Verladers für die Vorbereitung einer Auktion relativ hoch. In dem gleichen Maß ist die Bearbeitung einer Gebietsauktion für den Logistikdienstleister aufwendig. Caplice und Sheffi berichten von einem Aufwand eines Logistikdienstleisters von einer Woche zur Analyse des Netzwerkes des Verladers bei einer Transportauktion.¹²⁵ Um die Teilnahme der Logistikdienstleister an der Gebietsauktion zu erhöhen, ist der Auktionsprozess so einfach wie möglich zu halten. Da bereits einrundige Auktionen einen großen zeitlichen Umfang von mehreren Monaten besitzen, ist ebenfalls die Anzahl der Runden des Auktionsverfahrens so weit wie möglich gering zu halten.

- *Effizienz*

Das Zielkriterium der Effizienz wird in der ökonomischen Literatur zur Beurteilung von Auktionsverfahren herangezogen. Im Kern dieses Kriteriums geht es darum, dass die Allokationen zu bevorzugen sind, die insgesamt auch die geringsten Kosten haben.

- *Robustheit*

Die Ergebnisse eines Auktionsverfahrens werden als robust erachtet, wenn Veränderungen der Transportbedarfe in dem Transportnetzwerk nicht zu größeren

¹²⁴Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 552 f.

¹²⁵Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 554. Der Wert dürfte in einer Gebietsauktion wesentlich höher sein. In unseren Gesprächen mit Praktikern haben wir Erfahrungswerte von 6 Wochen zur Bearbeitung einer Gebietsauktion herausgefunden.

Steigerungen der Transportkosten führen.¹²⁶ Damit muss das Auktionsverfahren auch bei größeren Schwankungen der Transportbedarfe gute Allokationsergebnisse liefern.

- *Versorgungssicherheit*

Die Versorgungssicherheit erfordert aufgrund der Komplexität des Netzwerkes und der Produktion des Verladers (Fließfertigung) gesonderte Betrachtung in Gebietsspeditionsnetzwerken. Dieser Punkt ist eng verbunden mit dem Kriterium der Robustheit. Durch die Einhaltung der Versorgungssicherheit der Werke sollen die Risiken der Versorgung durch den Logistikdienstleister begrenzt werden (z. B. durch Staus), die zu einer Produktionsunterbrechung der Werke des Verladers durch eine Nichtlieferung führen können. Daher wirken sich lange Lieferwege und -zeiten negativ auf die Versorgungssicherheit des Verladers aus. Das Kriterium der Versorgungssicherheit und das Kriterium der Transportkosten sind konkurrierend, da die Forderungen nach einer hohen Versorgungssicherheit tendenziell zu kleineren Gebieten führen, wodurch weniger Synergieeffekte zwischen den Gebieten erzielt werden können.

Angesichts dieser Situation wird der Zielkonflikt in der Praxis mit der Analogie eines Wellentals beschrieben, je nachdem welche Zielgröße größere Bedeutung bei der aktuellen Vergabesituation besitzt. Wenn die wirtschaftliche Situation der Verlader gut ist, dann ist der Kostendruck im Logistikeinkauf geringer. Bei einer wirtschaftlichen guten Lage wird dann in der Regel eine hohe Versorgungssicherheit gefordert, die dann zu tendenziell kleineren Gebieten führt. Steigt der Druck, die Transportkosten zu reduzieren (z. B. durch wirtschaftliche Krisen), werden die Gebiete wieder größer und die Forderungen nach einer hohen Versorgungssicherheit werden dezimiert. Dieser Ablauf wiederholt sich dann fortwährend.

2.4.5. Grundformen von Bündelauktionen

In vielen Vergabeproblemen, bei denen mehrere Objekte gemeinsam ausgeschrieben werden, können sich Abhängigkeiten zwischen der Bündelungsentscheidung und der Vergabeentscheidung ergeben. Das gilt auch für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen, wo die Einteilung der Gebiete nicht losgelöst von der Vergabe durch den Verlader betrachtet werden kann. Eine wichtige Fragestellung bei einer Gebietsauktion ist daher, zu welchem Zeitpunkt die Einteilung der Gebiete durch den Verlader entschieden werden soll.

Im Folgenden stellen wir drei Grundformen von Bündelauktionen vor, die die Einteilung der Gebiete auf unterschiedliche Weise bestimmen, siehe Abbildung 2.13.:

¹²⁶Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 553 f.

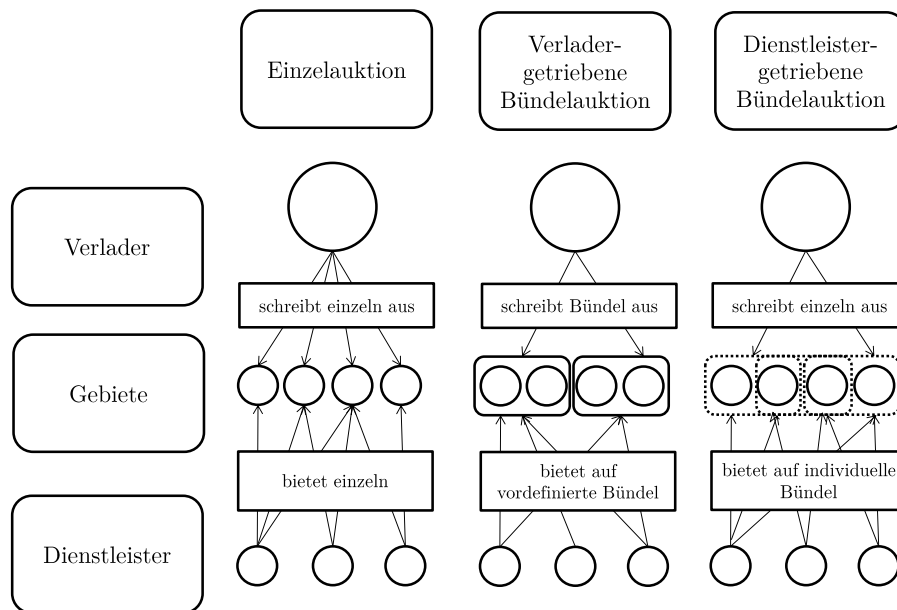


Abbildung 2.13.: Formen von Bündelauktionen (Quelle: In Anlehnung an Astradi (2014))

- **Einzelauktion**

Die simpelste Auktionsform ist die einfache Auktion, die auch als Einzelauktion bezeichnet wird. Bei dieser Auktionsform werden die Gebiete eines Gebietsspeditionsnetzwerkes einzeln ausgeschrieben, auf die die Logistikdienstleister Gebote für einzelne Gebiete abgeben. Die Größe eines Gebietes ist vom Verlager so zu definieren, dass sich sinnvolle Lose ergeben, damit es für Logistikdienstleister attraktiv bleibt, darauf zu bieten. Durch die Anzahl der Gebiete muss der Aufwand der Auktion sowohl für den Verlager als auch für die Logistikdienstleister immer noch gering bleiben. Bei dieser Auktionsform wird die Aufteilung der Gebiete nicht im Vorfeld durch den Verlager vorgegeben. Es wird lediglich eine feine Vorbündelung der Gebiete in sinnvolle Lose durch den Verlager vorgenommen.

Der Nachteil dieser Auktionsform ist, dass Synergieeffekte zwischen den Gebieten nicht berücksichtigt werden können und der Aufwand für die Durchführung der Auktion hoch ist. Diese Auktionsform kommt in der Regel für die Vergabe im Gebietsspeditionssystem nicht zum Einsatz.

- **Verlagergetriebene Bündelauktion**

Bei dieser Auktionsform werden die Gebiete bereits im Vorfeld einer Gebietsauktion durch den Verlager aufgeteilt. Zur Aufteilung der Gebiete wird das Logis-

tiksystem des Gebietsspeditionssystems durch ein Netzwerkmodell abgebildet, um auf dessen Grundlage eine kostenoptimale Einteilung abzuleiten. Der Aufwand für den Aufbau und die Kalibrierung eines solchen Netzwerkmodells wird als hoch erachtet.¹²⁷ Die Einteilung der Gebiete wird als Gebotsstruktur in der Auktion fest vorgegeben. Die Logistikdienstleister können dann nur auf die vordefinierten Bündel der Auktion Gebote abgeben.

Durch dieses Vorgehen kann im Gegensatz zur Einzelauktion der Verlader Verbundeffekte im Vorfeld ableiten. Jedoch ist damit für den Verlader auch das Risiko gegeben, die Synergieeffekte der Logistikdienstleister falsch zu antizipieren. Gerade im Gebietsspeditionssystem ergeben sich durch das Drittgeschäft eines Dienstleisters Kosteneffekte, die dem Verlader nicht bekannt sind. Eine weitere Kritik an dieser Auktionsform ist darin zu sehen, dass der Logistikdienstleister zwar das Risiko für die Auslastung seiner Logistikressourcen trägt (insbesondere der Hauptlaufressourcen), aber durch diese Auktionsform wenig Möglichkeiten hat, Einfluss auf die Auslastung zu nehmen.¹²⁸ Dennoch ist die verladergetriebene Bündelauktion die typische Vergabeform in der Praxis.

- **Dienstleistergetriebene Bündelauktion**

Bei der dienstleistergetriebenen Bündelauktion schreibt der Verlader die Gebiete genauso wie in der Einzelauktion aus. Anders als zu der Einzelauktion können Logistikdienstleister ihre Bündel selbst definieren und dafür Preise abgeben. Logistikdienstleister können auf diese Weise dem Verlader mehrere alternative Vorschläge unterbreiten.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass der Logistikdienstleister seine Kosten am besten kennt und dementsprechend dem Verlader selbst verschiedene Vorschläge für eine Optimierung machen kann. Es ermöglicht dem Logistikdienstleister, durch die Zusammenstellung der Gebiete die Auslastung seines Netzwerkes zu beeinflussen und damit seine zukünftigen Kosten mitzubestimmen. Dadurch bleibt auch dem Verlader die aufwendige Netzwerkmodellierung erspart. Die Einteilung der Gebiete ergibt sich dann unmittelbar aus der Ermittlung der Gewinnergebote für das Gebietsspeditionsnetzwerk. Der Nachteil der dienstleistergetriebenen Bündelauktion ist, dass der Logistikdienstleister mehr Aufwand in die Auswahl der Bündelgebote stecken muss als bei der verladergetriebenen Bündelauktion.

Auf die Problematik der dienstleistergetriebenen Bündelauktionen werden wir detailliert in Kapitel 4 eingehen.

Als eine Zwischenform der Einzelauktion und der dienstleistergetriebenen Bündelauktion kann die Cherry Picking Auktion aufgeführt werden:

¹²⁷Vgl. Bretzke (2010), S. 110.

¹²⁸Vgl. Kritik bei Schmitz (2005), S. 14.

• Cherry Picking Auktion

Die Cherry Picking (Rosinenpickerei) Auktion ist eine in der Praxis vorzufindende Auktion, bei der Logistikdienstleister Bündelgebote auf individuell bestimmte Gebiete abgeben können.¹²⁹ Allerdings wird bei dieser Auktionsform die Einheit des Bündels nicht garantiert. Zur Bestimmung der günstigsten Angebote vergleicht der Verlader die Teilpreise aller Einzelgebiete. Die Gewinnergebote werden wie bei der Einzelauktion für jedes Gebiet separat ermittelt.¹³⁰ Tabelle 2.11. zeigt ein Beispiel für das Prinzip der Gewinnerermittlung der Cherry Picking Methode, bei der 6 Bieter Bündelgebote auf 5 Gebiete abgegeben haben. Die Gewinner für jedes Gebiet sind in Tabelle 2.11. gekennzeichnet. Wie an diesem Beispiel zu sehen ist, kann das Ergebnis der Cherry Picking Auktion zu einer Zerstückelung der Bündelgebote führen.

Gebiet \ Bieter	A	B	C	D	E	F	Bester-Preis
Gebiet 1	100	90	110	115	125	95	90
Gebiet 2	255	210	225	205	200	225	200
Gebiet 3	174	220	195	185	190	190	174
Gebiet 4	100	108	112	110	125	110	100
Gebiet 5	215	195	185	195	215	220	185
Angebotspreis	844	823	827	810	855	840	749

Tabelle 2.11.: Gewinnerermittlung der Cherry Picking Auktion (In Anlehnung an Bräklings und Oidtmanns (2012), S. 272.)

Bei der Cherry Picking Auktion riskieren Logistikdienstleister, nur einen Teil der Gebiete zu bekommen, obwohl der Preis des Bündels für das gesamte Gebiet gültig ist. Dieses Problem ist auch als Bloßstellungsproblem in simultanen Einzelauktionen bekannt.¹³¹ Gleichzeitig riskiert auch der Verlader teurere Gebietsbündel auszuwählen, da der eigentliche Preis der ermittelten Gebiete erst später bekannt wird. Folglich sind bei dieser Auktionsform beide Parteien einem Preisrisiko unterworfen. Meist verwendet der Verlader die Ergebnisse der Cherry Picking Auktion, um mit den Logistikdienstleistern in Verhandlung zu treten. Das Cherry Picking Verfahren stellt damit vielmehr eine Verhandlungstechnik für den Verlader dar, um die Preise zu drücken, als eine echte Bündelauktion.

¹²⁹Vgl. auch Krampf 2014, S. 88.

¹³⁰Vgl. auch partielle Preisstrukturanalyse bei Bräklings und Oidtmanns (2012), S. 272.

¹³¹Vgl. Bloßstellungsproblem bei Bichler u. a. (2005), S. 131.

3. Modellierung von Gebietsspeditionssystemen

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht der relevanten Literatur zur Modellierung von Gebietsspeditionssystemen im Rahmen einer Gebietsauktion. In dem ersten Abschnitt werden Modelle des Netzwerkdesigns dargestellt, die die Aspekte der optimalen Gebietsaufteilung des Verladers in einer verladerorientierten Bündelauktion behandeln. Ferner werden die Modelle auf die Anwendbarkeit für die vorliegende Problemstellung untersucht. Der zweite Abschnitt widmet sich der Bewertung von Gebieten in einer Gebietsauktion durch die Logistikdienstleister. Für das Bewertungsproblem der Logistikdienstleister werden bestehende Ansätze der Transportplanung herangezogen.

3.1. Modelle des Netzwerkdesigns

Das Problem der optimalen Gebietsaufteilung kann als ein Netzwerkdesignproblem verstanden werden, bei dem die Auswahlentscheidung der Lokationen in dem Netzwerk zu treffen ist. Die Lokationen sind bei der vorliegenden Problemstellung die Konsolidierungszentren der Logistikdienstleister. Die Gebietsstruktur für das Gebietsspeditionssystem ergibt sich implizit durch die Lokationsentscheidung in den Netzwerkdesignmodellen. Aufgrund der beschränkten Anzahl an potentiellen Logistikdienstleistern werden im Folgenden nur diskrete Netzwerkdesignmodelle betrachtet.¹

Zu den ersten Publikationen zur diskreten Lokationsauswahl in Netzwerken zählen die Arbeiten von Hakimi.² Das von Hakimi betrachtete Entscheidungsproblem besteht darin, in einem Kommunikationsnetzwerk zentrale Knoten mit minimalen Gesamtdistanzen zu ermitteln, um das gesamte Netzwerk über die zentralen Knoten zu versorgen. Die Menge der infrage kommenden Versorgerknoten (J) sind eine Teilmenge der gesamten Knotenmenge (I), d. h. es gilt $J \subseteq I$. Die Anzahl der auszuwählenden Knoten ist genau auf p zu reduzieren.

Das p-Median-Modell von Hakimi lässt sich mit Daten und Variablen in Tabelle 3.1. folgendermaßen formal darstellen:³

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (w_i \cdot d_{ij}) \cdot x_{ij} \quad (3.1)$$

¹Hiervon zu unterscheiden sind kontinuierliche Netzwerkdesignmodelle, die von einer unendlichen Zahl Lokationen ausgehen.

²Vgl. Hakimi (1964), S. 450 ff; Hakimi (1965), S. 462 ff.

³Vgl. zur Modellformulierung auch Current u. a. (2001), S. 93.

<u>Daten:</u>	
w_i	Gewichtung des Knotens i
d_{ij}	Distanz zwischen Knoten i und Knoten j
<u>Variablen:</u>	
x_{ij}	Versorgung des Nachfrageknoten i durch den Versorgerknoten j
y_j	Entscheidungsvariable zur Auswahl von Knoten j

Tabelle 3.1.: Daten und Variablen des p-Median-Modells

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j \in J} y_j = p \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.3)$$

$$y_i - x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \in 0, 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.5)$$

$$y_j \in 0, 1 \quad \forall j \in J \quad (3.6)$$

Die Zielfunktion minimiert die Summe der gewichteten Gesamtdistanzen zur Versorgung aller Nachfrageknoten im gesamten Netzwerk (3.1). Nebenbedingung 3.2 begrenzt die Menge der Versorgerknoten genau auf p . Durch Nebenbedingung 3.3 wird die Versorgung aller Nachfrageknoten genau durch einen Versorgungsknoten sichergestellt. Nebenbedingung 3.4 verhindert eine Zuordnung von einem Nachfrageknoten zu einem nicht ausgewählten Versorgerknoten. Nebenbedingung 3.5 und 3.6 definieren die binären Entscheidungsvariablen für die Zuordnung der Nachfrageknoten zu den Versorgerknoten und für die Auswahl der Versorgerknoten.

Aufgrund der allgemeinen Struktur des Entscheidungsproblems lässt sich das Lokationsproblem auch für allgemeine Netzwerkstrukturen, wie dem Gebietsspeditionsnetz, anwenden. Eine Einschränkung des Modells ist, dass die Menge der auszuwählenden Knoten in dem Modell exogen ist und vorher durch den Entscheider vorgegeben werden muss. Damit ist die Qualität der Modellierung von der richtigen Wahl des Parameters p abhängig.

Beim Warehouse Location Problem wird die optimale Auswahl von Lagerorten gesucht. Es ist von seiner Problemstruktur dem p-Median-Problem ähnlich. Die Model-

<u>Daten:</u>	
f_j	Fixkosten für Auswahl von Lager j
c_{ij}	Variable Kosten von Knoten i nach Knoten j
<u>Variablen:</u>	
x_{ij}	Anteil des durch Knoten j abzudeckenden Bedarfs in Nachfrageknoten i
y_j	Entscheidungsvariable zur Auswahl von Knoten j

Tabelle 3.2.: Daten und Variablen des Warehouse Location Modells

lierung des Warehouse Location Problems geht auf die Arbeit von Baumol zurück.⁴ Anders als zu dem p-Median-Problem wird die Anzahl der Versorgerknoten nicht exogen vorgegeben, sondern von dem Entscheidungsmodell bestimmt. Beim Warehouse Location Problem liegt eine Trade-off-Entscheidung zwischen den fixen Kosten, einen Lagerort zu nutzen, und den variablen Kosten der Lieferung, um die Nachfrage zu bedienen, vor.

Das Warehouse Location Problem kann mit den Daten und Variablen aus Tabelle 3.2. folgendermaßen formuliert werden:⁵

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{j \in J} f_j \cdot y_j \quad (3.7)$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

$$y_i - x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.9)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.10)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad (3.11)$$

Die Zielfunktion minimiert die Summe der variablen Lieferkosten und die Fixkosten für die Auswahl eines Lagerortes (3.7). Nebenbedingung 3.8 gewährleistet, dass alle Nachfrageknoten durch mindestens einen Lagerort versorgt werden. Die Entschei-

⁴Vgl. Baumol und Wolfe (1958), S. 252 ff.

⁵Vgl. auch Klose (2001), S. 19. Das Warehouse Location Problem wird in der Literatur auch als Uncapacitated Facility Location Problem oder als Simple Plant Location Problem bezeichnet, siehe auch Paraschis (1989), S. 81 und Klose (2001), S. 19.

dungsvariable für die Zuordnung von Nachfrageknoten zu den Lagern ist in dieser Modellierung kontinuierlich (3.10). Es ist damit möglich, dass die Nachfrageknoten auch durch mehrere Lager bedient werden können. Nebenbedingung 3.9 garantiert, dass ein Lager eingerichtet wird, wenn darüber auch Transporte realisiert werden sollen. Durch die Formel 3.11 wird die binäre Entscheidungsvariable der Auswahl von Lagerorten definiert.

In der ursprünglichen Problemstellung von Baumol wurde die Nutzung von externen Lagerorten betrachtet,⁶ die nicht dem Hersteller selbst gehören und wodurch die Auswahl der Lagerorte relativ leicht geändert werden kann. Nach Baumol werden unter den fixen Kosten die Kosten für die Verhandlungen, die Buchführung und die Administration angeführt. Die variablen Lieferkosten umfassen die Transportkosten von den Quellknoten zu den externen Lagerorten und die Transportkosten von den externen Lagerorten zu den Nachfrageknoten. Bei Baumol sind in den variablen Lieferkosten zusätzlich die Kosten der Lagerhaltung enthalten.

Seit der Arbeit von Baumol wurden zahlreiche Erweiterungen des Warehouse Location Problems für komplexere Logistikkonzepte untersucht. Durch den Erfolg des Cross-Docking-Konzeptes⁷ entstanden in der jüngsten Zeit neuere Arbeiten, die das Warehouse Location Problem für die spezifische Problemstellung in einem Cross-Docking-Szenario erweiterten. Das Cross-Docking-Konzept ist das Logistikkonzept für die Beschaffungslogistik des Einzelhandels und weist Ähnlichkeiten zum Gebietsspediteurkonzept auf.

In Sung und Song (2003) wird ein Netzwerkdesignproblem für die Auswahl von Cross-Docks modelliert. In ihrem Modell wird zusätzlich für alle eingehenden und ausgehenden Transportbeziehungen zu den Cross-Docks die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte bestimmt. Es werden Transportmittel mit zwei unterschiedlichen Kapazitäten unterschieden, die unterschiedliche Kosten für den Einsatz besitzen. Für alle Lieferungen müssen maximale Servicezeiten eingehalten werden, die sich aus den Transportzeiten und den Umschlagszeiten zusammensetzen. Zur Lösung ihres Modells verwenden die Autoren als Meta-Heuristik eine Tabusuche.

In Jayaraman und Ross (2003) wird ein komplexeres Szenario betrachtet, bei dem Lagerhäuser, zum Lagern der Produkte, und Cross-Dock-Zentren gleichzeitig auszuwählen sind. Die Zielfunktion umfasst die Fixkosten der Auswahl der Lagerhäuser und der Cross-Dock-Zentren sowie variable Transportkosten des Netzwerkes. In dem vorgeschlagenen Modell werden Kapazitäten der Lagerhäuser und Cross-Dock-Zentren, Budgetbeschränkungen des Betreibers und die maximale Anzahl der Lagerhäuser beachtet. Die Autoren implementieren einen Simulated Annealing Ansatz, um ihr Modell zu lösen.

Der Nachteil bei der Übertragung unserer Problemstellung auf das Warehouse Location Probleme ist, dass für jeden Lagerort bzw. jedes Konsolidierungszentrum kalku-

⁶Vgl. Baumol und Wolfe (1958), S. 252.

⁷ Ein Cross-Dock ist identisch zu einem Konsolidierungszentrum.

latorische Fixkosten anzusetzen sind, die jedoch nur schwer ermittelt werden können, da keine fixen Lagerkosten für die Gebietsspediteure zu zahlen sind.

Bei den p-Median-Modellen und den Warehouse Location Modellen werden die Transportkosten durch eine einfache Kostenstruktur antizipiert. Diese Art der Modellierung stellt eine Annäherung der Transportkosten dar, die in vielen Fällen die Modellierungsaspekte ausreichend abbildet. Bei den Location-Routing-Problemen werden Lokationsprobleme um Tourenplanungsaspekte erweitert, wodurch die Transportkosten der Lokationsentscheidungen genauer abgebildet werden können. Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Problemen handelt es sich bei den Location-Routing Problemen um eine Klasse von Problemen, die Lokationsentscheidungen und Aspekte der Tourenplanung simultan betrachten. Eine gute Übersicht dieser Problemklasse und den verschiedenen Lösungsverfahren wird bei Nagy und Salhi (2007) gegeben. In Schittekat und Sörensen (2009) wird die Problemstellung der Auswahl von Logistikdienstleister in einer Ausschreibung analysiert. In ihrem Szenario werden Transportleistungen für das Distributionssystem von Ersatzteilen bei Toyota ausgeschrieben. Die Logistikdienstleister haben die Möglichkeit, in der Ausschreibung Gebote für verschiedene Gebiete abzugeben. Das Auswahlproblem des Verladers besteht darin, aus den teilweise sich überschneidenden Geboten die besten Logistikdienstleiterangebote auszuwählen. Damit ist das von Schittekat und Sörensen (2009) betrachtete Szenario mit unserer Problemstellung sehr ähnlich. Das Entscheidungsproblem wurde als Location-Routing-Problem modelliert, bei dem die Auswahl der Logistikdienstleister als ein Lokationsproblem aufgefasst wird. Die Gebiete der Logistikdienstleister ergeben sich dann aus den Tourenplänen des Location-Routing-Problems. Als Lösungsverfahren wurde eine Tabusuche entwickelt, die strukturell verschiedene Ergebnisse zurückliefert, um den Planer mehrere Vergabeszenarien vorzuschlagen.

Die große Herausforderung für die Anwendung von Location-Routing-Modellen ist, dass deren Lösung erheblich aufwendiger sind und detaillierte Kosteninformationen der Logistikdienstleister benötigt werden.

Eine zweite Möglichkeit, um die Transportkosten genauer abzubilden, sind nicht lineare Netzwerkflussprobleme. In Paraschis (1989) wird die Gestaltung eines Distributionsnetzes bei degressiven Transport- und Lagerkosten untersucht,⁸ bei dem die logistischen Leistungen fremdvergeben werden.⁹ Für das Distributionsnetzwerk werden die kostenoptimalen Lagerorte und deren Transportwege ermittelt. Paraschis modelliert das Struktur- und Zuordnungsproblem als ein nicht lineares, kapazitiertes Mehrgüternetzwerkflussproblem.

Das betrachtete Distributionsnetz lässt sich als ein gerichteter Graph $G = (N, A, P, \kappa)$ darstellen, vgl. Tabelle 3.3. Das Entscheidungsproblem kann damit nach Paraschis (1989) als ein nicht lineares, kapazitiertes Mehrgüternetzwerkflussproblem wie folgt an-

⁸Vgl. Paraschis (1989), S. 37.

⁹Vgl. Paraschis (1989), S. 15.

<u>Menge:</u>	
$N = \{1, \dots, n\}$	Menge der Knoten
$A = \{a_1, \dots, a_m\}$	Menge der Kanten (i, j) von Knoten i zu Knoten j
$P = \{1, \dots, r\}$	Menge der Produkte, die im Netzwerk transportiert werden
κ	Menge der Kapazitätsbeschränkungen
Q	Menge der Quelle-Knoten
D	Menge der Senke-Knoten
U	Menge der Umlade-Knoten
 <u>Daten:</u>	
a_{ip}	Angebot von Quelle i
b_{ip}	Bedarf von Senke i
κ_{ijp}	Kapazität auf der Kante (i, j) des Produktes $p \in P$
$f_{ij}(\cdot)$	Stückweise lineare Kostenfunktion auf der Kante (i, j)
 <u>Variablen:</u>	
x_{ijp}	fließende Menge auf der Kante (i, j) des Produktes $p \in P$

Tabelle 3.3.: Mengen, Daten und Variablen des nicht-linearen Netzwerkwerkmodells

gegeben werden.¹⁰

$$\text{Minimiere } \sum_{(i,j) \in A} f_{ij} \left(\sum_{p \in P} x_{ijp} \right) \quad (3.12)$$

$$(3.13)$$

unter den Nebenbedingungen

¹⁰Vgl. Paraschis (1989), S. 40 ff.

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = -a_{ip} \quad \forall i \in Q, p \in P \quad (3.14)$$

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = 0 \quad \forall i \in U, p \in P \quad (3.15)$$

$$\sum_{h \in V(i)} x_{hip} - \sum_{j \in N(i)} x_{ijp} = b_{ip} \quad \forall i \in D, p \in P \quad (3.16)$$

$$0 \leq x_{ijp} \leq \kappa_{ijp} \quad \forall (i, j) \in A, p \in P \quad (3.17)$$

Wobei $V(i)$ und $N(i)$ die Menge der Vorgänger- und Nachfolgerknoten von Knoten i repräsentieren. Tabelle 3.3. gibt eine Beschreibung der Daten und Variablen des Modells an.

Die Zielfunktion minimiert die Summe der stückweise linearen Kostenfunktion über alle Kanten des Netzwerkes. Die Nebenbedingungen 3.14 bis 3.16 beschreiben die Flusserhaltungsbedingungen für alle Produkte in den Quellknoten, Umladeknoten und Senkeknoten. Durch die Nebenbedingung 3.17 werden die Kapazitäten des Flusses eingehalten, um kapazitative Restriktionen in dem Logistiknetzwerk zu berücksichtigen. Zur Lösung dieses Modells wurden von Paraschis zwei Heuristiken mit lokalen Linearisierungstechniken entwickelt.¹¹ Der Einsatz des entwickelten Modells wurde in Fleischmann (1993) anhand von drei Fallbeispielen für die Gestaltung von Distributionssystemen exemplarisch dargestellt.

Für unsere Problemstellung kann das Gebietsspeditionsnetzwerk als ein nicht lineares Netzwerkflussproblem modelliert werden, bei dem die komplexen Transportkosten eines Transporttarifes (z. B. des GF-Tarifwerkes¹²) durch die stückweise lineare Kostenfunktion f_{ij} abgebildet werden. Die Lösung dieses Modells liefert damit das frachtkostenoptimale Speditionsnetzwerk nach einem Modelltarif. Damit lassen sich zumindest annähernd gute Lösungen berechnen. Problematisch bei dieser Modellierung ist, dass die Kosten der Logistikdienstleister nicht komplett durch einen Modelltarif abgebildet werden können. Abhängig von dem Mengengerüst können sich unterschiedliche Frachttarife der Logistikdienstleister ergeben.

Nicht in allen Planungsszenarien sind die Kosten des Netzwerkes das wichtigste Zielkriterium.¹³ In der Arbeit von Toregas u. a. (1971) wird das Lokationsproblem von Standorten der Notfallhilfe modelliert. Hierbei ist relevant, dass jeder Knoten in dem Netzwerk innerhalb einer maximalen Servicezeit oder Distanz von einem Versorgerknoten zu erreichen ist. Die fixen Kosten für die Auswahl eines Versorgerknotens werden für alle Lokationen als gleich angenommen. Das Lokationsproblem wird als Überdeckungsproblem modelliert.

¹¹Vgl. auch Anmerkungen zum Lösungsverfahren bei Fleischmann (2008b), S. 140.

¹²Vgl. Kapitel 2.4.

¹³Vgl. Kapitel 2.4.4.

<u>Daten:</u>	
S	maximaler Servicerradius
N_i	$= \{j d_{ij} < S\}$. Es enthält alle Knoten j , die von dem Knoten i innerhalb eines maximalen Servicerradius abgedeckt werden.
<u>Variablen:</u>	
y_j	Entscheidungsvariable zur Auswahl von Knoten j

Tabelle 3.4.: Daten und Variablen des Überdeckungsmodells

Das Überdeckungsproblem (*set covering problem*) kann mit der Notation aus Tabelle 3.4 folgendermaßen formuliert werden:¹⁴

$$\text{Minimiere } \sum_{j \in J} y_j \quad (3.18)$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j \in N_i} y_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.19)$$

$$y_j \in 0, 1 \quad \forall j \in J \quad (3.20)$$

Die Zielfunktion minimiert die Anzahl der einzusetzenden Versorgerstandorte (3.18). Nebenbedingung 3.19 stellt sicher, dass jeder Standort mindestens von einem Versorgerstandort bedient wird. Nebenbedingung 3.20 definiert die binäre Entscheidungsvariable für die Auswahlentscheidung der Versorgerstandorte. Das Überdeckungsproblem lässt sich zu einem gewichteten Überdeckungsproblem generalisieren, wenn in die Zielfunktion (3.18) standortspezifische Kosten als Kostenkoeffizienten eingesetzt werden. Dadurch werden die Fixkosten anstelle der Anzahl der Standorte minimiert.¹⁵

Feige gibt eine Modellierung für die Auswahl von Gebietsspediteuren als ein Überdeckungsproblem an.¹⁶ Für alle Gebietsspediteure werden die Liefergebiete als Versorgungsgebiete dargestellt. Das Ziel ist, die Anzahl der Gebietsspediteure zu minimieren, sodass jedes Gebiet mindestens von einem Gebietsspediteur bedient werden kann. Da hiermit ein Gebiet auch durch mehr als einen Gebietsspediteur abdeckt werden kann,

¹⁴Vgl. auch Klose (2001), S. 17.

¹⁵Vgl. Current u. a. (2001), S. 87.

¹⁶Vgl. Feige (2008), S. 129 ff.

können sich die Gebiete der Gebietsspediteure überschneiden.

Diese Modellierung für das Gebietsspeditionssystem eignet sich insbesondere dann, wenn die Einhaltung einer Versorgungssicherheit der Werke zu gewährleisten ist und die Transportkosten von untergeordneter Bedeutung sind.

Wenn für Fragestellungen des Netzwerkdesigns die Zusammenhänge innerhalb des Systems für eine analytische Betrachtung zu komplex sind,¹⁷ sind Simulationen eine alternative Modellierungsmethodik zu den Optimierungsmodellen. Nach Shannon ist die Methode der Simulation ein Prozess, um ein reales System durch ein Modell abzubilden. Mit dem Modell können Experimente durchgeführt werden, um das Systemverhalten zu lernen und verschiedene Handlungsstrategien für den Betrieb des Systems zu evaluieren.¹⁸ Dieses Vorgehen wird in der betrieblichen Praxis oft besser akzeptiert, da während des Entscheidungsprozesses das entscheidungsrelevante Wissen der Planer durch zusätzliche Restriktionen in dem Modell mitberücksichtigt werden kann. In der Arbeit von Werr und Scheuerer (2007) wird die Simulation für die Neuorganisation eines europäischen Distributions- und Beschaffungsnetzwerkes für einen Elektronikkonzern präsentiert. Aufgrund des hohen Abstraktionsgrades der Optimierungsmodelle wurde für die Problemstellung die Methode der Simulation angewendet. Die Autoren heben hervor, dass die Modellierung der Transportkosten besondere Schwierigkeiten verursacht haben. Obwohl die Ist-Kosten des bestehenden Netzwerkes bekannt sind, liegt die Schwierigkeit darin, für neue Planungsszenarien die Transportkosten zu prognostizieren. Werr und Scheuerer haben zur Abbildung der Transportkosten Modelltarife auf Basis des GF-Tarifs aufgebaut. Durch die regional unterschiedlichen Transportpreise wurde zusätzlich ein Abweichungsfaktor pro Region verwendet. Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Entscheidungsalternativen für die Gestaltung des zukünftigen Logistiknetzwerkes ganzheitlich analysiert.

In diesem Abschnitt wurden Arbeiten gesichtet, die relevante Aspekte der Optimierung der Struktur von Gebietsspeditionssystemen behandelt haben. Der nächste Abschnitt widmet sich der Optimierung eines Teilnetzes eines Gebietsspeditionssystems innerhalb von vorgegebenen Gebietsstrukturen.

3.2. Modelle der Transportplanung

Das Bewertungsproblem eines Logistikdienstleisters besteht darin, die Kosten für das potenzielle Gebietsspeditionssystem zu bestimmen. Für eine fundierte Bestimmung der Kosten des Logistikdienstleisters ist eine Transportplanung für das Gebiet des Gebietsspeditionssystems notwendig.

Obwohl bereits eine Vielzahl von Teilaspekten zur Modellierung eines Gebietsspeditionssystems in gesonderten Arbeiten untersucht wurde, wurde in der Literatur das Transportplanungsproblem bisher nicht integrativ betrachtet. Aus diesem Grund wer-

¹⁷Vgl. Klein und Scholl (2011), S. 285.

¹⁸Vgl. Shannon (1998), S. 7.

den wir im Folgenden kurz auf Arbeiten zu verwandten Planungsproblemen eingehen. Die verwandte Literatur kann in drei Gruppen eingeteilt werden.

Die erste Gruppe von Arbeiten ist der Linienverkehrsplanung (*service network design*) in speditionellen Sammelgutnetzen zuzuordnen. Diese Arbeiten beschäftigen sich mit der Gestaltung von klassischen Sammelgutnetzwerken auf taktischer Ebene (vgl. Wieberneit (2008), Crainic (2000)). Zu den wesentlichen Aufgaben gehört die Gestaltung und Dimensionierung von Hauptläufen sowie die Planung der Tourgebiete.¹⁹ Als wesentlicher Unterschied zu der von uns betrachteten Problemstellung ist, dass Hauptläufe regelmäßig getaktet ausgeführt werden (z. B. tägliche Lkw-Verbindungen von einem Depot zum zentralen Hub) und mittelfristig kaum verändert werden.²⁰ Der Aspekt der Tourenplanung für die Flächenverkehre der Vorläufe oder Nachläufe wird in der Linienplanung nicht betrachtet. Stattdessen wird für die Planung der Tourgebiete die Flächenkosten durch einfache Kostenstrukturen approximiert.

Zu der zweiten Gruppe gehören Arbeiten der Tourenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen, das sogenannte Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP). Kennzeichnend für diese Tourenplanungsprobleme ist, dass Fahrzeuge mit beschränkten, homogenen Ladekapazitäten von einem zentralen Depot aus geplant werden. Das zentrale Depot bildet den Start- und Endpunkt der geplanten Touren.²¹ Das Ziel ist es, einen Tourenplan zu ermitteln, so dass alle Transportbedarfe kostenminimal bedient werden. Einen guten Überblick über das CVRP gibt die Arbeit von Toth und Daniele Vigo (2002).

Als eine Erweiterung des kapazitierten Tourenplanungsproblems wird die Tourenplanung mit Umschlagsmöglichkeiten an Konsolidierungszentren bzw. Cross-Docking-Zentren diskutiert. In Lee u. a. (2006) wird ein Tourenplanungsproblem für ein Cross-Docking-Szenario betrachtet. In ihrem Modell können auf einer Tour Sendungen gleichzeitig abgeholt und geliefert werden. Das Ziel des Modells ist, die variablen Kosten der Touren und die fixen Kosten für die Fahrzeuge zu minimieren. Zur Lösung des Modells wird eine Tabusuch-Heuristik angewendet. Wen u. a. (2009) erweitern die Tourenplanung mit Umlademöglichkeiten an den Cross-Docks. Es besteht die Möglichkeit, Sendungen von mehreren Touren an den Cross-Docks umzuladen, um die gesamten variablen Kosten zu minimieren. Eine Tabusuche wurde als Lösungsheuristik implementiert.

Die Fragestellung der Flottengröße findet auf der operativen Ebene der Tourenplanung keine Beachtung. CVRP-Modelle gehen davon aus, dass bereits eine feste, homogene Flotte der Größe M für die Tourenplanung zur Verfügung steht. Lediglich bei der Tourenplanung mit heterogenen Fahrzeugen ist die Bestimmung der Flottenzu-

¹⁹Vgl. Wieberneit (2008), S. 32.

²⁰Vgl. Heinrichmeyer (1998), S. 185 ff. Ausnahmen sind dynamische Modelle der Linienverkehrsplanung, siehe Wieberneit (2008), S. 42.

²¹Zu unterscheiden sind diese Tourenplanungsprobleme von den Tourenplanungsproblem ohne Depotbezug, dem Pick Up and Delivery Problem, und den Tourenplanungsproblemen ohne kapazitative Beschränkungen, dem klassischen Traveling Salesman Problem

sammensetzung relevant, da die Fahrzeuge unterschiedliche Kosten und Kapazitäten besitzen. Für die Tourenplanung mit einem heterogenem Fuhrpark ist deshalb die Bestimmung der Flottengröße mit der Tourenplanung simultan zu planen.²²

Die dritte Gruppe von Arbeiten ist der Flottenbestandsplanung zuzuordnen.²³ Das Problem der Flottenbestandsplanung wurde bereits in den Arbeiten von Kirby (1959) und Wyatt (1961) adressiert. Beim Flottenbestandsplanungsproblem soll die benötigte Anzahl von Fahrzeugen zur Deckung des Bedarfs an Fahrzeugen bestimmt werden. Dafür stehen zur Deckung der Fahrzeugnachfrage unternehmenseigene und unternehmensfremde Fahrzeugressourcen zur Auswahl. Die unternehmenseigene Fahrzeugflotte wird als fixe Ressourcen gesehen, die für den gesamten Planungshorizont dem Unternehmen zur Verfügung steht. Es fallen dafür einmalige Fixkosten sowie variable Kosten für deren Einsatz an. Die unternehmensfremden Fahrzeuge sind flexible Ressourcen und können jederzeit abgerufen werden, wobei für deren Einsatz nur variable Kosten entstehen. Das Optimierungsproblem besteht darin, den optimalen Mix aus unternehmenseigenen und unternehmensfremden Fahrzeugen zu finden, sodass die Nachfrage nach Fahrzeugen in jeder Periode gedeckt wird und die Gesamtkosten der Flottensammensetzung minimal sind. In einer späteren Arbeit wurde von Gould (1969) für das Optimierungsproblem eine Modellierung als Lineare Programmierung angegeben.

Das dynamische Flottenbestandsproblem wurde in der Arbeit von Mole (1975) untersucht. Bei dem dynamischen Flottenbestandsproblem wird das statische Flottenbestandsproblem erweitert, sodass die unternehmenseigene Flotte nicht nur zu Beginn des Planungszeitraums, sondern zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden kann. Mole gibt eine Modellierung der dynamischen Programmierung für das Problem an.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Arbeit von Zhang und Li (2007). Es wird ein mehrperiodisches Flottenbestands- und Fahrzeugeinsatzplanungsproblem (*multi-periodic vehicle fleet size and routing problem*) analysiert, bei dem die Flottenbestandsplanung von Mole (1975) mit der kapazitierten Tourenplanung integriert wird. Die Zielsetzung des Modells ist, die fixen Kosten der fixen Fahrzeugflotte und die variablen Kosten des Fahrzeugeinsatzes zu minimieren. Zur Lösung des Problems wurde eine Dantzig-Wolf Dekompositionsmethode vorgeschlagen.

²²Vgl. hierzu das Fleet Size and Mix VRP with Fixed Costs (FSMF) bei Golden u. a. (1984). Einen guten Überblick über Tourenplanungsprobleme mit heterogenen Fuhrpark geben Baldacci u. a. (2008)

²³In der Literatur wird anstelle des Flottenbestandes der Begriff der Flottengröße (*fleet size*) benutzt.

4. Kombinatorische Auktionen

In diesem Kapitel wird das Konzept von kombinatorischen Auktionen und deren Entwurfsprobleme präsentiert. Wir beginnen unsere Ausführung mit einer kurzen Darstellung des Konzepts der kombinatorischen Auktionen (Abschnitt 4.1.). Danach wird auf die beiden Entwurfsprobleme von kombinatorischen Auktionen eingegangen: In Abschnitt 4.2. wird das Problem der Gewinnerermittlung und in Abschnitt 4.3. das Problem der Präferenzoffenbarung erläutert. Anschließend werden Arbeiten gesichtet, die kombinatorische Auktionen als Lösungsansatz für Allokationsprobleme in der Transportlogistik untersuchen (Abschnitt 4.4.).

4.1. Einführung

In einer Beschaffungsauktion stehen sich zwei Parteien gegenüber: zum einen eine Menge von Bieter und zum anderen der Auktionator. Bezogen auf unsere Problemstellung entsprechen die Bieter den Logistikdienstleistern, die ihre Transportleistungen anbieten. Der Auktionator kann entweder eine einkaufende Organisation oder eine eigenständige Instanz (z. B. ein Auktionshaus oder eine Software) sein, die im Namen des Auftraggebers eine Auktion eigenständig durchführt. In unserer Problemstellung gehen wir davon aus, dass der Verloader die Rolle des Auktionators selbst übernimmt.

Die traditionelle Auktionsform ist die der einfachen Auktionen, die auch als Einzelauktionen bezeichnet wird. In einfachen Auktionen werden Güter (oder Dienstleistungen) immer einzeln ausgeschrieben. Die Bieter können dann Gebote jeweils für ein Gut abgeben (Einzelgebot). Am Ende einer Auktion werden die Güter anschließend einzeln vergeben.

Ist mehr als ein Gut zu vergeben, können mehrere Auktionen entweder simultan oder sequenziell durchgeführt werden. Eine Unterscheidung ist dann notwendig, wenn zwischen den Gütern Abhängigkeiten bestehen, von der wir im Weiteren ausgehen. Bei einer *simultanen Einzelauktion* werden die Güter parallel ausgeschrieben. Da die Bieter nicht wissen, wie die anderen Bieter in der Auktion Gebote abgeben, erhöht sich die Komplexität der Bieter. Die Bieter müssen entscheiden, auf welche Güter Gebote abgegeben werden sollen und auf welche nicht.¹ Wenn ein Bieter Gebote auf mehrere Güter abgibt, aber den Zuschlag nicht nur für einen Teil, sondern für alle Güter bekommen möchte, dann riskiert der Bieter, die Güter unter seinen Kosten zu verkaufen. Eine Konsequenz dieses Auktionsdesigns ist folglich, dass sich Bieter

¹Vgl. Eichstädt (2008), S. 73.

zurückhaltend verhalten.²

In *sequenziellen Einzelauktionen* werden die Güter nacheinander vergeben. Das Auswahlproblem des Bieters tritt dadurch nicht mehr auf.³ Wenn ein Bieter den Zuschlag für mehrere Güter bekommen möchte, dann ist der Bieter in sequenziellen Auktionen mit dem Risiko konfrontiert, Gebote in frühen Auktionen abgeben zu müssen, ohne die Preise der späteren Auktionen zu kennen. Zum Beispiel mag ein Bieter in einer frühen Auktion einen niedrigen Preis für ein Gut ansetzen mit der Hoffnung, ein damit abhängiges Gut in einer späteren Auktion zu einem höheren Preis zu verkaufen, obwohl tatsächlich in der späteren Auktion nur ein niedriger Preis realisiert wird.⁴ Die Folge davon ist, dass sich die Bieter auch in dieser Auktion zurückhalten.

Derartige Probleme der einfachen Auktionen für die Vergabe von mehreren Gütern treten bei *kombinatorischen Auktionen* nicht auf.⁵ Kombinatorische Auktionen sind Auktionsformen mit einem Einkäufer und mehreren Bietern, bei denen mehrere unterschiedliche Güter gleichzeitig beschafft werden.⁶ In kombinatorischen Auktionen geben Bieter auf eine beliebige Kombination von Gütern Bewertungen ab. So kann ein Bieter für die Kombination von Gut A und Gut B einen Preis von 10 bieten. Der Preis bezieht sich dann auf die Kombination beider Güter. Diese Form der Gebote wird als Bündelgebote bezeichnet. Der Gebotspreis eines Bündelgebotes ist dabei immer nur auf das gesamte Bündel gültig, ohne dass ein Gut aus dem Bündel entfernt werden darf. Für die Bündelgebote gilt damit das Alles-oder-nichts-Prinzip, das besagt, dass das Angebot für ein Bündel entweder ganz gilt oder gar nicht.

Durch die Definition von Bündelgeboten bekommen Bieter eine Kalkulationssicherheit bei der Bewertung des gesamten Bündels, ohne dass Bieter darauf spekulieren müssen, den Zuschlag für ein anderes abhängiges Gut zu bekommen.⁷ Dadurch wird den Bietern ermöglicht, Synergieeffekte zwischen Gütern in den Geboten besser auszudrücken. Wir unterscheiden zwei Arten von Synergieeffekten: zum einen die Komplementarität (positive Synergie) und zum anderen die Substitutionalität (negative Synergie).⁸ Der Effekt der Komplementarität tritt beispielsweise bei Gebietsauktionen auf, wenn die Kosten für zwei nebeneinanderliegende Gebiete geringer sind als jedes Gebiet für sich alleine. Der Effekt der Substitutionalität kommt dann zum Vorschein, wenn Beschränkungen der Bieter vorliegen. Das kann zum Beispiel dann passieren, wenn ein Logistikdienstleister jeweils auf ein Gebiet, aber nicht auf zwei Gebiete gleichzeitig bieten kann, weil seine Kapazitäten für beide Gebiete nicht ausreichen.⁹

²Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 131. Diese Art von Problem wird als Bloßstellungsproblem bezeichnet.

³Vgl. Eichstädt (2008), S. 73.

⁴Vgl. McAfee (1998), S. 3.

⁵Vgl. auch Sandholm (2002), S. 4.

⁶Da in dieser Arbeit nur Beschaffungsauktionen betrachtet werden, wird von der Beschaffung von Gütern bzw. Dienstleistungen ausgegangen. Der Fall von Verkaufsauktionen ist ganz analog dazu zu verstehen.

⁷Vgl. auch Sandholm (2002), S. 4.

⁸Vgl. Schwind (2007), S. 138 f.

⁹Von besonderem Interesse in dieser Arbeit ist der erste Fall der Komplementarität, der es ermög-

Ein weiterer Vorteil von kombinatorischen Auktionen gegenüber anderen Bündelauktionen ist, dass die Bieter ihre Bündel selbst zusammenstellen können und nicht auf vordefinierte Bündel bieten müssen. Auf diese Weise können Bieter ihre Bewertungen in einer Auktion viel präziser formulieren als bei einfachen Auktionen.

Der Einsatz von kombinatorischen Auktionen ist vor allem bei allen Allokationsproblemen geeignet, die große Komplementarität zwischen den Gütern und Dienstleistungen besitzen. Das populärste Beispiel für den Einsatz von kombinatorischen Auktionen ist die Versteigerung von Mobilfunklizenzen in den USA durch die Federal Communications Commission (FCC).¹⁰ Daneben finden sich auch viele Beispiele in der betrieblichen Beschaffung und in der Transportlogistik.¹¹ In einer Studie von Eichstädt wird der Verbreitungsgrad von kombinatorischen Auktionen in der Praxis auf 14 % beziffert.¹² Die geringe Nutzung von kombinatorischen Auktionen wird damit begründet, dass das Verfahren als komplex wahrgenommen wird. Einige Unternehmen würden daher bereits vorab versuchen, die Pakete so zu bündeln, dass mögliche Synergieeffekte berücksichtigt werden.

Als betriebswirtschaftliche Ziele, die durch den Einsatz von kombinatorischen Auktionen in der Beschaffung verfolgt werden, sind zu nennen:¹³

- Kosteneinsparung

Kosteneinsparungen werden als die Hauptmotivation für den Einsatz von kombinatorischen Auktionen in der Praxis gesehen. Durch Bündelgebote können Synergieeffekte durch Einsparungen der Produktions- und Transportkosten als Kosteneinsparungen weitergegeben werden.

- Zeitersparnis

Durch kombinatorische Auktionen können komplexe Verhandlungen über mehrere Güter durchgeführt werden. Durch den Einsatz von Software können große Mengen von Gebotsinformationen abgegeben und effektiv verarbeitet werden.

- Einfluss auf die Märkte

In einfachen, nur preisgetriebenen Auktionen werden tendenziell größere Verträge über umfangreiche Pakete vergeben, bei denen sich der Wettbewerb nur auf die großen Anbieter beschränkt. Aufgrund der Größe der Pakete haben kleine Wettbewerber keine Chance, mit den größeren Anbietern zu konkurrieren. Kombinatorische Auktionen vereinfachen es, umfangreiche Pakete in kleine Pakete zu unterteilen, damit auch kleinere Anbieter konkurrieren können. Dieser Aspekt ist

licht, positive Synergien auszudrücken.

¹⁰Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 127.

¹¹Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 127; Caplice und Sheffi (2006), S. 539 ff.

¹²Vgl. Eichstädt (2008), S. 128.

¹³Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 132 f; Bichler u. a. (2006), S. 604.

insbesondere bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand und bei Unternehmen interessant, die ihre Lieferantenbasis weiterentwickeln wollen.

- Allokative Effizienz

Studien zeigen, dass kombinatorische gegenüber bilateralen Verhandlungen zu hohen allokativen Effizienzen führen.

Um die verfolgten Ziele bei einer kombinatorischen Auktion zu realisieren, sind bereits beim Entwurf der Auktion die spezifischen Anforderungen bei der Allokationsentscheidung zu berücksichtigen. Ein Auktionsdesign kann als eine Menge von Regeln beschrieben werden, um die Bieter zu motivieren, ihre wahre Bewertungen zu offenbaren, dass kostenminimale Allokationen bestimmt werden können. Nach Bichler et al. können die Regeln folgendermaßen unterteilt werden:¹⁴

- Auktionsprotokoll
- Gewinnerermittlungsregeln
- Auszahlungsregeln

Das Auktionsprotokoll betrifft die Gebotssprache und Sequenz von Nachrichten, die über die gesamten Auktionen zwischen den Teilnehmern ausgetauscht werden. Die Gewinnerermittlungsregeln umfassen die Zielsetzung, die durch die Allokation angestrebt wird. Die Auszahlungsregeln bestimmen, wie am Ende der Auktionen die endgültigen Preise mit den Bietern festgelegt werden. Bei Erstpreis-Auktionen sind die Auszahlungen mit den abgegebenen Gebotspreisen der Bieter identisch. Bei Zweitpreis-Auktionen wird nicht der Gebotspreis selbst ausgezahlt, sondern der Gebotspreis des zweitniedrigsten Gebotes. Obwohl in der Literatur für kombinatorische Auktionen auch Zweitpreis-Auktionen, wie verallgemeinerte Vickrey-Auktionen,¹⁵ diskutiert werden, gehen wir in dieser Arbeit nur von Erstpreis-Auktionen aus.

In den nächsten beiden Abschnitten werden Entwurfsprobleme von kombinatorischen Auktionen diskutiert, die die Gewinnerermittlungsregeln und das Auktionsprotokoll des Auktionsdesigns betreffen.

4.2. Das Gewinnerermittlungsproblem

Die Bestimmung der kostenoptimalen Allokation in kombinatorischen Auktionen erweist sich gegenüber der Bestimmung von Gewinnern in einfachen Auktionen als wesentlich komplexer. Bei einfachen Auktionen ist für jedes Gut das Gewinnergebot

¹⁴Vgl. Bichler u. a. (2006), S. 599.

¹⁵Die verallgemeinerte Vickrey-Auktion weist theoretische wichtige Eigenschaften auf. Für den praktischen Einsatz wird diese Auktion nicht empfohlen, vgl. Bichler u. a. (2005), S. 130.

durch einfache Sortierung zu bestimmen. In kombinatorischen Auktionen bestehen zwischen den Geboten und Gütern Abhängigkeiten, die nicht mehr durch Sortierung gelöst werden können.

Zur Veranschaulichung des Problems betrachten wir ein Beispiel einer kombinatorischen Auktion mit drei Gütern.¹⁶ Hierbei sind unterschiedliche Mengen an Zucker an unterschiedlichen Standorten zu beschaffen. Bei der Vergabe mittels kombinatorischer Auktion können Lieferanten Bündelgebote definieren und dadurch ihre Einsparungen der Produktions- und Transportkosten durch die Gebotspreise weitergeben. Jeder Bieter darf nur Gebote abgeben, die mindestens den Gesamtbedarf an einem Standort befriedigen. Tabelle 4.1. zeigt die abgegebenen Gebote der kombinatorischen Auktion.

Güter \ Gebote	B1	B2	B3	B4
1000 t Zucker in München	1	0	1	1
800 t Zucker in Bonn	0	1	1	1
800 t Zucker in Berlin	1	1	1	0
Gebotspreis	150 €	125 €	300 €	125 €
Entscheidungsvariable	x_1	x_2	x_3	x_4

Tabelle 4.1.: Beispiel mit Bündelgeboten (Quelle: Mit geringfügigen Änderungen entnommen aus Bichler u. a. (2005), S. 128.)

Durch die Einführung von Entscheidungsvariablen (x_1, x_2, x_3 und x_4) für die einzelnen Bündelgebote kann das Entscheidungsproblem des Auktionators als ein Optimierungsproblem begriffen werden. Das Ziel des Optimierungsproblems ist es, die gesamten Beschaffungskosten zu minimieren, sodass die Nachfrage aller Güter gedeckt wird.

Zur Verallgemeinerung dieses Beispiels führen wir folgende Notation ein:

Es sei $G = \{1, \dots, m\}$ die Menge der Güter indiziert mit g und es sei $I = \{1, \dots, n\}$ die Menge der Bieter indiziert durch i . Es sei B_{ij} das j -te Bündelgebot von Bieter $i \in I$ mit dem Gebotspreis p_{ij} für das Güterbündel $G_j \subseteq G$. Die Menge aller Gebote von Bieter $i \in I$ sei M^i . Falls durch das Gebot B_{ij} der Bedarf für das Gut g gedeckt werden kann, gilt $A_{ijg} = 1$, andernfalls gilt $A_{ijg} = 0$.

Das *Gewinnerermittlungsproblem* in einer Beschaffungsauktion lässt sich als ein ganzzahliges Optimierungsmodell mit der binären Entscheidungsvariable x_{ij} , die den Wert 1 annimmt, falls der Zuschlag für das Gebot B_{ij} erteilt wird, und ansonsten 0 ist, wie folgt formulieren:¹⁷

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} p_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4.1)$$

¹⁶Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 128.

¹⁷Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 128.

unter der Nebenbedingung

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} A_{ijg} \cdot x_{ij} \geq 1 \quad \forall g \in G \quad (4.2)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M^i \quad (4.3)$$

Die Zielfunktion in 4.1 minimiert die Summe der Gebotspreise aller Gewinnergebote. Nebenbedingung 4.2 legt fest, dass jedes Gut durch mindestens ein Gewinnergebot abgedeckt werden muss. Nebenbedingung 4.3 definiert den Wertebereich der binären Entscheidungsvariable x_{ij} . Es ist zu beachten, dass durch diese Formulierung Gebotskombinationen zulässig sind, die den Gesamtbedarf übererfüllen. In unserem obigen Beispiel gehört damit die Gebotskombination $(B2, B4)$ ebenfalls zu den zulässigen Allokationen.

Bei der Modellierung des Gewinnerermittlungsproblems handelt es sich um das gewichtete Mengenüberdeckungsproblem (*weighted set covering problem*). Es gehört damit zu der Klasse der NP-harten Probleme mit exponentieller Berechnungskomplexität.¹⁸ In der Literatur wurden zur Lösung des Gewinnerermittlungsproblems drei unterschiedliche Ansätze entwickelt.¹⁹ Der erste Ansatz besteht darin, schnelle approximative Lösungsverfahren für das Gewinnerermittlungsproblem zu entwickeln,²⁰ zu denen auch exakte Lösungsverfahren mit speziellen Problemstrukturen und Metaheuristiken zu zählen sind.²¹ Da allerdings bereits die zweit- und drittbeste Lösung des Gewinnerermittlungsproblems völlig andere Allokationen der Güter ergeben, wird der Einsatz von heuristischen Verfahren als problematisch gesehen.²² Beim zweiten Ansatz werden Einschränkungen der Gebote oder der Gebotspreise analysiert, um dafür schnelle, exakte Verfahren anzuwenden. Pekec und Rothkopf (2003) schlagen hierzu verschiedene Ansätze vor, um den Gebotsraum einzuschränken und die Berechnung der Gewinnerermittlung zu verkürzen. Die Autoren von Lehmann u. a. (2006) kritisieren, dass diese Ansätze zu dem gleichen Problem von nicht kombinatorischen Auktionen führen, da Bieter nicht vollständig ihre Präferenzen abbilden können.²³ Zu der dritten Gruppe gehören exakte Baumsuchalgorithmen.²⁴ Verbesserte Branch-and-Bound-Verfahren werden in der Arbeit von Sandholm (2002) ausführlich diskutiert.

In den Anfängen der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit kombinatorischen

¹⁸Vgl. Komplexität von Gewinnerermittlungsproblemen in Lehmann u. a. (2006), S. 302.

¹⁹Vgl. Lehmann u. a. (2006), S. 314.

²⁰Vgl. Lehmann u. a. (2006), S. 309 ff.

²¹Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 128.

²²Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 128.

²³Vgl. Lehmann u. a. (2006), S. 314.

²⁴Vgl. Sandholm (2006), S. 337 ff.

Auktionen wurden diese Auktionen aufgrund der Berechnungskomplexität des Gewinnerermittlungsproblems als impraktikabel erachtet.²⁵ Durch die Verbesserungen der Rechnersysteme und der Algorithmen zur Lösung von (gemischt-/) ganzzahligen Problemen haben sich die Laufzeiten für das Lösen des Gewinnerermittlungsproblems erheblich verkürzt. Heutzutage können größere Probleminstanzen in wenigen Minuten optimal gelöst werden.²⁶ Somit stellt das Gewinnerermittlungsproblem heute kein Hindernis mehr für den Einsatz von kombinatorischen Auktionen dar. Seit dem letzten Jahrzehnt wurde eingesehen, dass für den praktischen Einsatz das Präferenzoffenbarungsproblem (*engl. preference elicitation problem*) als fundamentales Problem von kombinatorischen Auktionen gilt.²⁷

4.3. Das Präferenzoffenbarungsproblem

Das Bündelkonzept von kombinatorischen Auktionen ermöglicht es, Bietern komplexe Preisstrukturen auszudrücken, um dadurch Synergieeffekte genauer in den Preisen zu berücksichtigen. Die Präferenzoffenbarung (*preference elicitation*) der Bieter, wie Bewertungen von Güterbündeln abgegeben werden, wird damit zugleich anspruchsvoller, wenn Bieter ihre Gebote vollständig offenbaren wollen. Unter vollständigen Geboten verstehen wir, dass bei einer Anzahl von Gütern m die Bieter in einer kombinatorischen Auktion alle möglichen Gebote der $2^m - 1$ Güterbündel abzugeben haben.²⁸ Das Präferenzoffenbarungsproblem besteht darin, dass die Menge an Geboten exponentiell groß werden kann, damit effiziente Allokationen ermittelt werden können.

Mit dem Präferenzoffenbarungsproblem ergeben sich drei weitere Probleme:²⁹

- Das Problem der Bewertungskomplexität (*valuation complexity*)

Bieter haben die Bewertung von $2^m - 1$ Bündeln zu berechnen. Bereits die Bestimmung von einem spezifischen Bündel kann ziemlich rechenintensiv und aufwendig sein, da viele entscheidungsrelevante Informationen erst beschafft und ausgewertet werden müssen.³⁰ Die Berechnung von allen möglichen Bündeln erscheint fast unmöglich.³¹

- Das Problem der strategischen Bieterkomplexität (*strategic complexity*)

Selbst wenn Bieter ihre vollständigen Kosten aller Bündelgebote wüssten, müssen die Bieter ihre Gebotspreise optimal festlegen. Dieser Aspekt ist im Zusammen-

²⁵Vgl. Pikovsky (2008), S. 19; McMillan (1994), S. 16.

²⁶Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 128.

²⁷Vgl. Parkes (2006), S. 41.

²⁸Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 233.

²⁹Vgl. Bichler (2010), S. 3.

³⁰Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 233; Parkes führt das Beispiel der Vergabe von Abflug- und Langerechten an Flughäfen, siehe Parkes (2006), S. 41.

³¹Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 233.

hang von iterativen Auktionen noch schwieriger,³² da ein Bieter wissen muss, wie er auf die Rückmeldung der Auktion zu antworten hat. Der Bieter kann hierzu entscheiden, wann er im Auktionsprozess welche Gebotsinformationen offenbaren möchte.

- Das Problem der Kommunikationskomplexität (*communication complexity*)

Es betrifft die Anzahl der Informationen, die zwischen den Bietern und dem Auktionator ausgetauscht werden müssen, um die optimale Allokation zu finden. In Nisan (2006) wurde gezeigt, dass die Menge an Informationen in kombinatorischen Auktionen exponentiell groß ist.

Aufgrund der genannten Probleme ist davon auszugehen, dass Bieter in kombinatorischen Auktionen nicht vollständige Gebote abgeben werden.³³ Um dennoch optimale bzw. nahezu optimale Allokationen zu erzielen, wurden in der Literatur zur Lösung der genannten Probleme drei verschiedene Lösungsansätze entwickelt, auf die wir im Folgenden eingehen werden.³⁴

- **Iterative kombinatorische Auktionen**

Iterative kombinatorische Auktionen stellen einen Ansatz dar, bei dem der Auktionator nach der Gebotsabgabe den Bietern relevante Informationen bereitstellt, z. B. aktuelle Marktpreise oder Informationen zu den Allokationen,³⁵ damit Bieter nicht alle Gebotsinformationen auf einmal sondern schrittweise offenbaren. Somit kann der Bedarf an Gebotsinformationen auf ein Minimum begrenzt werden. Wir unterscheiden preisbasierte Ansätze und nicht preisbasierte Ansätze, um die Bieter bei den Verhandlungen zu unterstützen.³⁶

Preisbasierte Ansätze liefern den Bietern nach der Gebotsabgabe Preisinformationen über den aktuellen Stand der Auktion, die von den Bietern genutzt werden können, um neue Gebote zu formulieren. Hervorzuheben sind das Resource Allocation Design (RAD) von Kwasnica u. a. (2005) und die Combinatorial Clock (CC) Auktionen von Porter u. a. (2003).

Beim Resource Allocation Design werden approximative Marktpreise geschätzt, die den Bietern nach jeder Runde mitgeteilt werden. Marktpreise für einzelne Güter sollen den Bietern helfen, ihre Gebote zu verbessern.³⁷ Während bei einfachen Auktionen der aktuelle Marktpreis klar ist, existieren bei kombinatorischen Auktionen keine Marktpreise für einzelne Güter. Die Ermittlung der

³²Vgl. Pikovsky (2008), S. 19.

³³Vgl. auch Sandholm und Boutilier (2006), S. 233 ff.

³⁴Vgl. Pikovsky (2008), S. 19 ff; Sandholm und Boutilier (2006), S. 233 ff.

³⁵Vgl. Pikovsky (2008), S. 20.

³⁶Vgl. Parkes (2006), S. 43.

³⁷Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 131.

Marktpreise erfolgt für die einzelnen Güter approximativ. Wenn Marktpreise die Anforderungen erfüllen, dass bei Verlierergeboten die Marktpreise der Güterbündel kleiner sind als die Gebotspreise und bei Gewinnergeboten die Marktpreise für die Güterbündel mindestens den Gebotspreisen der Gewinnergebote entsprechen, spricht man auch von Gleichgewichtspreisen.³⁸ Kwasnica u. a. (2005) verwenden für das RAD lineare Gleichgewichtspreise, d. h. der Gleichgewichtspreis eines Güterbündels entspricht der Summe der Einzelpreise des Güterbündels.³⁹ In diesem Auktionsdesign können neue Gebote nur dann abgegeben werden, wenn der Gebotspreis unterhalb des Gleichgewichtspreises für das Bündel liegt.

Die CC-Auktion bildet eine kombinatorische Version der japanischen Einzelauktionen nach, bei denen es eine Auktionsuhr für jedes Gut gibt, die den aktuellen Preis angibt.⁴⁰ Die Güterpreise starten bei einem hohen Preis und werden in jeder Runde allmählich gesenkt. In jeder Runde geben die Bieter die Güterbündel an, die sie zu den aktuellen Preisen verkaufen würden. Der Bündelpreis der aktuellen Runde ergibt sich aus der Summe der Einzelpreise. Solange für jedes Gut die Nachfrage das Angebot übersteigt, werden die Preise schrittweise reduziert. Wenn der Auktionsprozess einen Punkt erreicht, bei dem für jedes Gut nur ein Gebot übrig bleibt, erhalten die verbleibenden Gebote den Zuschlag zum aktuellen Preis, und die Auktion ist beendet. Die Besonderheit dieser Auktion ist, dass es ganz ohne die Abgabe von konkreten Gebotspreisen auskommt und das Gewinnerermittlungsproblem nicht gelöst werden muss.⁴¹

Bei den nicht preisbasierten Ansätzen werden Entscheidungen in kombinatorischen Auktionen delegiert.⁴² Der Adaptive User Selection Mechanism (AUSM) übergibt die Rolle des Auktionators an die Bieter. Die Bieter erhalten die Gebote der anderen Bieter und können damit neue Gebote generieren. Wenn sie eine bessere Lösung als die aktuell beste Lösung gefunden haben, hat der Auktionator die Aufgabe, diese Lösung zu verifizieren und an die anderen Teilnehmer zu verteilen. Bei Proxy Auktionen offenbaren die Bieter ihre Gebotsinformationen an einen Proxy-Agenten, der das Bieten für den Bieter in Auktion automatisiert übernimmt. Bieter können dann schrittweise an den Proxy-Agenten neue Gebotsinformationen abgeben, die durch die Proxy-Agenten nachgefragt werden. Beim Lösungsansatz mit Proxy-Agenten bleibt jedoch das Problem bestehen, wie Bieter durch ihr Preismodell am besten ihre Präferenzen abbilden.

³⁸Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 131.

³⁹Vgl. Bichler u. a. (2005), S. 131.

⁴⁰Vgl. auch Bichler u. a. (2005), S. 132.

⁴¹Porter et al. beschreiben Situationen, wann dennoch ein Gewinnerermittlungsproblem zu lösen ist, siehe Porter u. a. (2003), S.11155.

⁴²Vgl. Parkes (2006), S. 66 ff.

- **Entwicklung von Gebotssprachen**

Der zweite Lösungsansatz für das Preference Elicitation Problem ist die Entwicklung von Gebotssprachen, die vor allem auf das Problem der Kommunikationskomplexität abzielt.⁴³ Hier geht es um die Frage, wie Gebotsinformationen sinnvoll repräsentiert werden sollten. Einerseits geht es um die Ausdrucksstärke einer Sprache, sodass durch eine Gebotssprache alle Gebotsinformationen voll abgebildet werden können. Andererseits geht es darum, dass die Sprache für die Formulierung von Geboten verständlich ist und das Gewinnerermittlungsproblem einfach lösbar bleibt. Eine gut entwickelte Gebotssprache soll demnach eine Balance zwischen der Ausdrucksstärke und der Einfachheit erreichen.⁴⁴ Zu diesem Zweck werden in Nisan (2006) Ausdrucksstärke und Komplexität des Gewinnerermittlungsproblems von logischen Gebotssprachen untersucht. In Rothkopf u. a. (1998) wird die Komplexität des Gewinnerermittlungsproblems für verschachtelte Gebotsstrukturen, anzahlabhängige Gebotsstrukturen und geometrische Gebotsstrukturen analysiert. Unter anderem wird gezeigt, dass bei einer vordefinierten hierarchischen Anordnung von Güterbündeln das Gewinnerermittlungsproblem einfach zu lösen ist. Hierauf basierend wurde in einer späteren Arbeit von Goeree und Holt (2010) für diese hierarchische Auktion eine iterative Preisberechnungslogik entwickelt, die für die Vergabe von Mobilfunklizenzen in den USA verwendet wurde.

- **Direkte Offenbarungsansätze**

Der dritte Lösungsansatz ist der direkte Offenbarungsansatz.⁴⁵ Das Problem der Bieter ist, dass durch das Präferenzoffenbarungsproblem sehr viele Gebote zu generieren sind. Wenn Gebote abgegeben werden, die nicht gewinnend sind, ist der Aufwand für die Bewertung der Gebote verschwendet worden. Für die Bieter wäre es von großer Bedeutung, selektiv nur die wettbewerbsfähigen Gebote zu generieren, um den Aufwand für die Bieter zu begrenzen. Allerdings gestaltet sich die Bestimmung von wettbewerbsfähigen Geboten im Vorfeld einer Auktionen als sehr schwierig.⁴⁶

Direkte Offenbarungsansätze versuchen einen anderen Weg als herkömmlich kombinatorische Auktionen zu gehen. Bei direkten Offenbarungsansätzen dürfen Bieter nicht mehr auf alle möglichen Bündel bieten. Stattdessen fragt der Auktionator schrittweise nur eine sehr beschränkte Menge an Güterbündeln an. Idealerweise lernt der Auktionator aus den vorherigen Informationen der Bieter und gestaltet dadurch seine Anfragen an die Bieter, sodass nur die relevanten Informationen abgefragt werden. Mit jeder neuen Anfrage gewinnt der Auktionator

⁴³Vgl. Parkes (2006), S. 41.

⁴⁴Vgl. Nisan (2006), S. 217.

⁴⁵Parkes bezeichnet es als *direct-elicitation approach*, vgl. Parkes (2006), S. 67.

⁴⁶Vgl. Conen und Sandholm (2001), S. 259.

neue Informationen über das Bewertungsmodell der Bieter, das sich mit der zunehmenden Anzahl an Anfragen verfeinert, bis die optimale Allokation bestimmt werden kann.⁴⁷ Das Ziel ist es, die minimale Anzahl an Anfragen zu stellen, um eine effiziente Allokation zu bestimmen.⁴⁸ Für spezielle Gebotsstrukturen konnte gezeigt werden, dass Konzepte des algorithmischen Lernens für die Bestimmung von optimalen Anfragen übertragbar sind.⁴⁹

Conen und Sandholm (2001) haben einen ersten direkten Offenbarungsmechanismus entwickelt, bei dem die Bieter iterativ nach relevanten Gebotsinformationen angefragt werden. Es können Anfragen nach den am stärksten präferierten Geboten (Vergleichsanfragen), nach dem Wert eines Gebotes (Wertanfragen) und dem Rang von Geboten (Ranganfragen) gestellt werden. Die Autoren bilden die Präferenzinformationen der Bieter durch eine Verbundstruktur ab, um dadurch optimale Allokationen abzuleiten. Sandholm und Boutilier führen an, dass für generelle Strukturen die direkte Offenbarung nur mit einer Baumsuche gelöst werden kann, wofür im ungünstigsten Fall die gesamte Menge an exponentiellen Güterbündeln anzufragen ist.⁵⁰ Aus diesem Grund wurden heuristische Lösungsansätze entwickelt, die nicht systematisch alle Güterbündel anfragen. In der Arbeit von Hudson und Sandholm (2004) wurden experimentelle Analysen zu verschiedenen direkten Offenbarungsansätzen durchgeführt. Die Autoren konnten zeigen, dass randomisierte Anfragen eine garantierte obere Schranke bezüglich der maximalen Anzahl an Güterbündeln besitzen.⁵¹ Die zweite Erkenntnis aus ihrer Studie ist, dass es kein deterministisches Verfahren gibt, das eine beweisbare schnellere Lösung findet als die vollständige direkte Offenbarung. Ferner konnte gezeigt werden, dass randomisierte Anfragen den deterministischen Verfahren überlegen sind.⁵²

4.4. Vergabe von Transportleistungen durch kombinatorische Auktionen

In der Literatur wird die Vergabe von Transportleistungen durch kombinatorische Auktionen für Komplettnetzwerke diskutiert, bei denen in der Regel Transportleistungen als Kontrakte vergeben werden. Hierzu werden die Transportleistungen des Transportnetzwerkes als Transportbeziehungen (*engl. transportation lane*) ausgeschrieben. Bei einer Transportbeziehung handelt es sich um Verbindungen zwischen

⁴⁷Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 233.

⁴⁸Vgl. Parkes (2006), S. 69.

⁴⁹Vgl. Arbeiten von Zinkevich u. a. (2003) und Lahaie und Parkes (2004).

⁵⁰Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 244.

⁵¹Vgl. Hudson und Sandholm (2004), S. 389.

⁵²Vgl. Hudson und Sandholm (2004), S. 391.

Lokationen oder Transportzonen eines Transportnetzwerkes.⁵³

Der erste Einsatz von Optimierungsmethoden für die Vergabe von Transportleistungen wurde Ende der Achtzigerjahre in der Arbeit von Moore u. a. (1991) veröffentlicht. Die Autoren beschreiben den Auktionsprozess für Komplettladungen bei Reynolds Metals Company. Im Auktionsprozess können die Logistikdienstleister für verschiedene Transportbeziehungen des Netzwerkes Einzelgebote abgeben. Zur Abbildung des Gewinnerermittlungsproblems wird ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell formuliert. Das Ziel des Modells ist, die Frachtkosten zu minimieren, sodass die Bedarfe an Transportleistungen gedeckt werden. In dem Modell werden zusätzlich Bedingungen vom Verlader berücksichtigt, um die Vergabesituation ganzheitlich abzubilden. So werden die minimale und maximale Anzahl der Dienstleister pro Lokation und die minimale und maximale Anzahl der Dienstleister für das Gesamtnetz durch den Verlader vorgegeben. Bündelgebote werden bei dieser Auktion nicht berücksichtigt.

Kombinatorische Auktionen für Komplettladungen wurden erstmals in der Arbeit von Caplice (1996) untersucht. Zur Abbildung des Problems der Dienstleisterauswahl diskutiert Caplice verschiedene Modellierungsalternativen für das Gewinnerermittlungsproblem.⁵⁴ Caplice formuliert in einem ersten Modell die Auswahl von genau einem Dienstleister für jede Transportbeziehung. In einem weiteren Modell wird abgebildet, dass für jede Transportbeziehung auch noch alternative Dienstleister ausgewählt werden für den Fall, dass der Hauptdienstleister nicht verfügbar ist.⁵⁵ Ähnlich zu dem Modell von Moore u. a. (1991) werden in den Modellformulierungen noch weitere Nebenbedingungen des Verladers berücksichtigt. Zur Evaluierung der kombinatorischen Auktion wurden Daten aus bereits abgeschlossenen einfachen Auktionen herangezogen. Auf Basis der einfachen Gebotspreise wurden Synergieeffekte von Bündelgeboten geschätzt. Das Ergebnis der numerischen Untersuchung ist, dass kombinatorische Auktionen gegenüber einfachen Auktionen Vorteile bringen. Im Schnitt wurden ca. 10 % der Transportbeziehungen an Bündelgebote vergeben.⁵⁶

Die erste praktische Anwendung von kombinatorischen Auktionen für Komplettladungen wird in der Arbeit Ledyard u. a. (2002) präsentiert. Die Studie berichtet von der Vergabe von Transportleistungen bei Sears Logistic Services (SLS), einem US-amerikanischen Logistikdienstleister. Sears implementierte 1993 für die Auswahl seiner Logistikdienstleister erstmals eine kombinatorische Auktion. Aufgrund der Wi-

⁵³Es werden Punkt-zu-Punkt-, Zone-zu-Punkt-, Punkt-zu-Zone- und Zone-zu-Zone-Transportbeziehungen unterschieden, vgl. Caplice (1996), S. 167 ff. und Elmaghraby und Keskinocak (2005), S. 251 f. Caplice gibt heuristische Methoden an, um geeignete Transportbeziehungen zu identifizieren, vgl. Caplice (1996), S. 168.

⁵⁴Caplice formuliert das Entscheidungsproblem als eine Auswahl einer Dienstleistermenge (carrier set formulation) und als Auswahl einer Gebotsmenge (Bid set formulation). Aufgrund der einfacheren Implementierung wird von Caplice die Formulierung mit Gebotsmengen (Bid set formulation) bevorzugt, vgl. Caplice (1996), S. 212.

⁵⁵Dieser Fall kann für einen Dienstleister auftreten, wenn die Transportkapazitäten für Aufträge von anderen Kunden bereits ausgelastet sind.

⁵⁶Vgl. Caplice (1996), S. 229.

derstände von größeren Logistikdienstleistern für eine einfache Auktion wurde die Anzahl der Logistikdienstleister, die an der Ausschreibung teilnahmen, bereits im Vorfeld der kombinatorischen Auktion begrenzt, um die Erfolgswahrscheinlichkeiten der Logistikdienstleister zu erhöhen.⁵⁷ Durch den Einsatz von kombinatorischen Auktionen sollte ermöglicht werden, dass Logistikdienstleister mittels Bündelgebote gezielt Teilnetze auswählen, um die vorhandenen Logistikressourcen effizienter auszunutzen und Leerfahrten zu vermeiden. Die Effekte der Kosteneinsparungen würden wiederum in den Gebotspreisen an SLS weitergegeben werden. Für das Auktionsdesign wurde eine geschlossene Auktion mit mehreren Runden gewählt, in der nach jeder Runde die vorläufigen Gewinner benachrichtigt wurden.⁵⁸ Das Ergebnis der kombinatorischen Auktion brachte SLS eine Einsparung von 13 % der gesamten Transportkosten.

Weitere Einblicke in die Anwendung von kombinatorischen Auktionen, das Auktionsdesign und die konkrete Implementierung werden in einer Reihe von Arbeiten gegeben. Die Arbeiten basieren entweder auf Erfahrung aus Fallstudien (Elmaghraby und Keskinocak (2005), Elender (2004)) oder auf Reflexion von mehreren Transportauktionen in der Praxis (Caplice und Sheffi (2003), Caplice und Sheffi (2006)).

In der Arbeit von Caplice und Sheffi (2003) werden praxisrelevante Aspekte von kombinatorischen Auktionen analysiert. Die Beobachtungen der Autoren beruhen sich auf der Anwendung von kombinatorischen Auktionen bei mehr als 50 Unternehmen. Es wird berichtet, dass im Schnitt durch den Einsatz kombinatorischer Auktionen 13 % Einsparungen der Transportkosten ohne die Berücksichtigung von Servicefaktoren erzielt werden konnten. Mit der Beachtung von Servicefaktoren konnten die Transportkosten immerhin um durchschnittlich 6 % reduziert werden. Caplice und Sheffi diskutieren eine Reihe von weiteren Restriktionen, die in der Praxis für das Gewinnerermittlungsproblem relevant sind, wie die Gewährleistung von minimalen Transportvolumen eines Logistikdienstleisters.⁵⁹ Die Unsicherheit in der Kalkulation der Gebotspreise seitens der Logistikdienstleister wird von den Autoren als eines der entscheidenden Probleme von Transportauktionen gesehen. Die Gründe dafür resultieren zum einen aus der Qualität der Prognose der Transportbedarfe, die bei Komplettladungen aggregiert angegeben wird und die Logistikdienstleister deshalb für die Kalkulation weitere Annahmen treffen müssen, und zum anderen daraus, dass Logistikdienstleister für die Auslastung ihrer Logistiknetzwerke Kalkulationssicherheiten benötigen. Die Autoren argumentieren, dass durch den Einsatz von kombinatorischen Auktionen diese Unsicherheiten der Logistikdienstleister teilweise vermieden werden können. Ein weiteres Argument für die kombinatorische Auktion wird darin gesehen, dass Logistikdienstleister besser Bündelungen identifizieren können als Verlader, weswegen Verlader die Bündelung den Logistikdienstleistern überlassen sollte.⁶⁰ Folglich ist der Einsatz von kombinatorischen Auktionen im Interesse der Verlader, um mit den Logistikdienstleis-

⁵⁷Vgl. Ledyard u. a. (2002), S. 5.

⁵⁸Vgl. Ledyard u. a. (2002), S. 7.

⁵⁹Vgl. Caplice und Sheffi (2003), S. 118.

⁶⁰Vgl. Caplice und Sheffi (2003), S. 121.

tern gemeinschaftlich Verbesserungspotenziale zu identifizieren.⁶¹

In der Arbeit von Elender (2004) wird das Fallbeispiel des Automobilherstellers Daimler analysiert.⁶² In dem Untersuchungsszenario werden Direktrelationen für Vollgut und Leergut in der Beschaffungslogistik des Automobilherstellers für einen Zeitraum von einem Jahr vergeben. Als Auktionsform wird eine iterative, mehrrundige kombinatorische Auktion gewählt, damit Logistikdienstleister Synergieeffekte zwischen verschiedenen Direktrelationen ausdrücken können.

Der gesamte Auktionsprozess gliedert sich in vier Phasen. In der ersten Phase, der Qualifikationsphase, werden Logistikdienstleister aufgefordert für alle Direktrelationen einzelne Gebote abzugeben. Auf jeder Direktrelation können drei Preise angeboten werden: Preise für Vollgut, für Leergut oder für die Kombination aus beiden. Direktrelationen ohne Gebote werden mit hohen Preisen bewertet. In der zweiten Phase, der Selektionsphase, können Logistikdienstleister Gebote für verschiedene Bündel von Direktrelationen abgeben. In der darauffolgenden Phase, der Bietphase, haben die Logistikdienstleister die Möglichkeit, Bündel von anderen Logistikdienstleistern zu bewerten. Anschließend wird in Phase vier das Gewinnerermittlungsproblem des Verladers gelöst. Die Runde endet damit, dass Logistikdienstleister Rückmeldung über ihre Gewinnergebote erhalten.

Durch das mehrrundige Design der Auktion werden die Selektionsphase und die Bietphase mehrmals durchlaufen, sodass Logistikdienstleister Gelegenheit haben, in jeder Runde neue Gebotsinformationen zu offenbaren. In dem Auktionsdesign ist vorgesehen, dass Logistikdienstleister Kapazitätseinschränkungen durch exklusive Gebote⁶³ formulieren können. Das Ergebnis der Gewinnerermittlung in der letzten Runde bildet schließlich die finale Allokation.

In dem Fallbeispiel wurde eine Auktion für 10 Direktrelationen durchgeführt, an der 30 Logistikdienstleister zur Abgabe von Geboten aufgefordert wurden. Über den Auktionsprozess wurden insgesamt 1.000 Gebote abgegeben. Das Ergebnis der Auktion ist eine kostenoptimale Allokation mit einem Bündelgebot über vier Direktrelationen und mehreren einzelnen Direktrelationen, wobei auf einer Direktrelation Vollgutladungen und Leergutladungen getrennt vergeben wurden.

In Elmaghraby und Keskinocak (2005) wird die Anwendung von kombinatorischen Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen bei HomeDepot, einer US-amerikanischen Baumarktkette, präsentiert. Die Auktion wurde in Form einer geschlossenen, einrundigen kombinatorischen Auktion durchgeführt, damit keine Preisinformationen zwischen den Logistikdienstleistern ausgetauscht werden konnte und dadurch ein ruinierender Preiskampf unterbunden wurde. In der Studie wird zudem auf die eingesetzten Softwaresysteme eingegangen, die aus drei Modulen bestehen. Das erste Modul ist die Verladerunterstützung, die den Verlader bei der Auswahl der Transportbezie-

⁶¹Vgl. Caplice und Sheffi (2003), S. 126.

⁶²Vgl. Elender (2004), S. 119 ff.

⁶³Durch exklusive Gebote kann nur ein Gebot eines Logistikdienstleisters ausgewählt werden.

hungen für die kombinatorische Auktion unterstützen soll.⁶⁴ Das zweite Modul ist die Bieterunterstützung, die es Bietern erlaubt, das Verladernetzwerk zu analysieren, und die Bieter dabei unterstützt, deren Gebote zu formulieren. Das dritte Modul umfasst die Optimierung des Gewinnerermittlungsproblems. Die Gebotsregeln der Auktion erlauben, dass Bieter weitere Bedingungen an die Gebote verknüpfen können. Um beispielsweise sicherzustellen, dass durch die Vergabe von Transportleistungen sich die Kapazitäten eines Logistikdienstleisters nicht übersteigen, kann der Logistikdienstleister die Menge der Ladungen aus einem geografischen Raum beschränken. Weiterhin sind bei diesem Auktionsdesign exklusive Gebote erlaubt, bei dem der Verlader nur maximal eins von mehreren Geboten eines Bieters auswählen kann. Das Resultat der Autoren ist, dass der Einsatz von kombinatorischen Auktionen im betrachteten Vergabeszenario positiv war. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Entwurf einer kombinatorischen Auktion und insbesondere die Generierung von Bündelgeboten eine besondere Herausforderung darstellt.

Die bisher analysierten Bündelgebote haben den Nachteil, dass die Transportleistungen in den Bündeln nicht verändert werden können, daher werden diese auch als statische Bündelgebote bezeichnet.⁶⁵ Caplice und Sheffi (2006) diskutieren alternative Gebotssprachen für Bündelgebote, um dem Auktionator mehr Gestaltungsspielraum bei der Auswahl der Gebote zu geben. Eine besondere Form davon sind flexible Bündelgebote.⁶⁶ Bei flexiblen Bündelgeboten definieren die Bieter ein Bündel von Transportbeziehungen, die gemeinsam betrachtet werden sollen. In Ergänzung dazu wird vom Bieter durch die Angabe der minimale und maximale Anzahl von Ladungen auf jeder Transportbeziehung sowie der minimalen Anzahl von Ladungen über alle Transportbeziehungen dem Verlader ein gewisses Grad an Flexibilität gewährt, innerhalb dessen der Verlader seine Entscheidung treffen kann. Statische Bündelgebote werden somit als eine Sonderform von flexiblen Geboten gesehen, die dem Verlader keinen Spielraum gewähren. Für flexible Bündelgebote präsentieren die Autoren eine entsprechende Modellformulierung des Gewinnerermittlungsproblems.

Im Unterschied zu anderen Auktionsformen besitzen Transportauktionen einige Besonderheiten, die sie von anderen Auktionen, wie Mobilfunkauktionen, differenzieren. Caplice und Sheffi erklären in diesem Zusammenhang, warum Transportauktionen überwiegend eine geschlossene Auktionsform besitzen.⁶⁷ Als wesentliche Gründe dafür werden die Besonderheit der Transportleistung als Auktionsgut, die vom Verlader verfolgte Zielsetzung, der Informationsstand der Marktteilnehmer und die langfristigen Beziehungen zwischen Logistikdienstleistern und Verladern gesehen.

Neben dem Preis sind in Transportauktionen für die Auswahl der Logistikdienstleister auch noch andere Aspekte wie die Qualität der logistischen Dienstleistung bei der Vergabeentscheidung ausschlaggebend. In der Arbeit von Caplice und Sheffi (2003)

⁶⁴Vgl. auch Guastaroba u. a. (2009)

⁶⁵Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 558.

⁶⁶Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 559.

⁶⁷Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 551.

wurden Qualitätsaspekte von Transportleistungen durch Auf- und Abschläge in den Gebotspreisen abgebildet, um annähernd eine Vergleichbarkeit der Leistung zu erreichen. In Buer (2011) wird die Problematik von Servicequalitäten von Dienstleistern für das Gewinnerermittlungsproblem bei kombinatorischen Transportauktionen tiefergehend analysiert. Das Entscheidungsproblem wird als ein multikriterielles Optimierungsproblem modelliert. Zur Lösung des erweiterten Gewinnerermittlungsproblems wurden verschiedene Pareto-Lösungsverfahren entwickelt, die nicht dominierte Lösungen berechnen. Durch diesen Lösungsansatz ist der Verlader in der Lage, den Trade-off zwischen Transportkosten und Transportqualität gemeinsam zu analysieren.

5. Handlungsbedarf

In diesem Kapitel wird der Stand der Forschung aus beiden vorangegangenen Kapiteln auf die vorliegende Problemstellung der Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen untersucht und der daraus resultierende Handlungsbedarf abgeleitet (Abschnitt 5.1.). Im Anschluss daran werden in Abschnitt 5.2. daraus die Ziele dieser Arbeit abgeleitet.

5.1. Handlungsbedarf

Es gibt für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen zwei Optionen:

Die erste Option ist die Vergabe mittels einer verladergetriebenen Bündelauktion. Die wesentliche Fragestellung bei diesem Auktionstyp ist, wie der Verlader die Aufteilung der Gebiete am besten vornehmen sollte. In Kapitel 3.1. wurden existierende Arbeiten zu relevanten Netzwerkdesignmodellen gesichtet, die für die Bündelungsentscheidung des Verladers herangezogen werden können. Die Arbeiten unterscheiden sich dadurch, dass sie die Transportkosten für das Gebietsspeditionssystem mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad abbilden können. Der wesentliche Nachteil dieser Methodik ist, dass Verlader einen hohen Aufwand für den Aufbau von Netzwerkmodellen haben¹ und relevante private Informationen der Logistikdienstleister dem Verlader verschlossen bleiben (z. B. Informationen von Drittgeschäften), um kostenoptimale Gebietsaufteilungen zu realisieren.

Die zweite Option ist die Vergabe mittels einer dienstleistergetriebenen Bündelauktion bzw. kombinatorischen Auktion. Wie in Kapitel 4 dargestellt, existieren bereits mehrere erfolgreiche Fallbeispiele von Anwendungen der kombinatorischen Auktion für die Vergabe von Transportleistungen in Komplettladungsnetzen. Trotzdem gilt das Präferenzoffenbarungsproblem als die größte Herausforderung für die Anwendung von kombinatorischen Auktionen. Hierfür wurden als Lösungsansätze iterative kombinatorische Auktionen, kombinatorischen Gebotssprachen und direkte Offenbarungsansätze dargestellt.

In der empirischen Arbeit von Plummer (2003) wurden kombinatorische Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen in Komplettladungsnetzen untersucht. In der Studie wurde festgestellt, dass in der Praxis Logistikdienstleister nur eine kleine Anzahl von Bündelgeboten abgeben² und die abgegebenen Bündelgebote in der

¹Vgl. auch Bretzke (2010), S. 266.

²Die meisten Logistikdienstleister geben 2 bis 7 Bündelgebote an, siehe Plummer (2003), S. 29.

Regel auch wenige Transportbeziehungen enthalten³ Den größten Teil der Gebote machen demnach Einzelgebote aus. Als Gründe für die kleine Anzahl von Bündelgeboten werden die große Menge an Auktionen, an denen sich die Logistikdienstleister beteiligen, und die knappen Ressourcen, die sie zur Bearbeitung einer Auktion haben, angeführt.⁴ Zu einer ähnlichen Feststellung kommt auch die experimentelle Arbeit von Scheffel u. a. (2012). In der Studie werden in Laborexperimenten verschiedene iterative kombinatorische Auktionsformate untersucht, die einen ähnlichen Aufbau wie die Gebietsauktionen für die Vergabe von Mobilfunklizenzen haben. Die Studie stellt fest, dass unabhängig von der Anzahl der Güter die Bieter im Durchschnitt nur 14 Bündelgebote mit mehr als zwei Gütern abgeben, obwohl die Anzahl der möglichen Güterbündel exponentiell wächst. Die Autoren führen diesen Effekt auf die kognitiven Grenzen von Menschen zurück, sich nur auf eine begrenzte Anzahl von Gegenständen zu konzentrieren. Außerdem wurde herausgefunden, dass Bieter in iterativen Auktionen nur in der ersten Runde Bündelgebote generieren. Neue Preisinformationen, wie durch die Gleichgewichtspreise der RAD-Auktion, führen demnach nicht dazu, dass Bieter neue Bündelgebote abgeben.⁵ Die Autoren schlussfolgern, dass die begrenzte Anzahl von Bündelgeboten das größte Hindernis einer effizienten kombinatorischen Auktion sei.

		Form der Bündelauktion	
		dienstleistergetrieben	verladergetrieben
Interaktion	einrundig, geschlossen	geschlossene kombinatorische Auktion	Netzwerkdesignmodelle
	iterativ	iterative kombinatorische Auktion	<i>direkte Offenbarungsansätze</i>

Tabelle 5.1.: Verfahren zur Festlegung der Gebietsstruktur

Im Unterschied zu Komplettladungsnetzen ist bei Gebietsspeditionsnetzen von größeren Synergieeffekten zwischen den Gebieten auszugehen, da im Gebietsspeditionssystem Sendungen aus mehreren Gebieten zu Hauptläufen gebündelt werden und Auslastungsrisiken für die einzusetzenden Transportmittel bestehen. Um die Synergiepotenziale der Logistikdienstleister genauer erfassen zu können, ist die Generierung von Bündelgeboten in Gebietsspeditionsnetzen von größerer Bedeutung. Es besteht daher Handlungsbedarf, neue Lösungsansätze für kombinatorische Gebietsauktionen zu untersuchen, die die Besonderheiten von Gebietsspeditionsnetzen berücksichtigen. Da preisbasierte iterative Ansätze keine neuen Bündelgebote generieren, kommen als Lösungsansätze die Entwicklung von flexiblen Gebotssprachen, die Abhängigkeiten zwi-

³Die Bündelgebote beinhalten meist nur 2 bis 4 Transportbeziehungen, vgl. Plummer (2003), S. 30.

⁴Vgl. Plummer (2003), S. 31.

⁵Vgl. Scheffel u. a. (2012), S. 16.

schen Gebieten einfacher ausdrücken können, und direkte Offenbarungsansätze in Betracht. Tabelle 5.1. stellt die Verfahren der verladergetriebenen und dienstleistergetriebenen Bündelauktion zur Festlegung der Gebietsstrukturen in Gebietsspeditionsnetzen gegenüber. Ein vielversprechender Ansatz besteht darin, den direkten Offenbarungsansatz für die Netzwerkdesignmodelle zu erweitern, sodass die Allokationsergebnisse durch neue Gebotsanfragen iterativ verbessert werden.

Weiterhin stellt sich die Frage, ob kombinatorische Auktionen überhaupt gegenüber verladergetriebenen Bündelauktionen Vorteile aufweisen. Es besteht damit Handlungsbedarf, das Potenzial von einfachen und kombinatorischen Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen unter realitätsnahen Bedingungen zu analysieren. Wie in Kapitel 3.2. dargestellt, existieren für die Modellierung eines Gebietsspeditionsnetzwerkes aus Sicht der Logistikdienstleister keine adäquaten Modelle. Somit besteht ein weiterer Handlungsbedarf, darin die Entscheidungssituation eines Logistikdienstleisters in einer Gebietsauktion zu modellieren, um eine valide Potenzialanalyse durchführen zu können.

5.2. Ziele der Arbeit

Um die ermittelten Handlungsbedarfe in der Forschung zu erfüllen, werden in dieser Arbeit folgende Ziele angestrebt:

- Neue kombinatorische Lösungsansätze zur effizienten Generierung von Bündelgeboten sollen entwickelt werden. Hierfür sind flexible Gebotssprachen und direkte Offenbarungsansätze, die die Netzwerkstruktur von Gebietsspeditionsnetzen berücksichtigen, zu untersuchen.
- Ein Bewertungsmodell zur Modellierung der Entscheidungssituation der Logistikdienstleister in Gebietsspeditionssystemen ist zu entwickeln. Es soll dadurch ermöglicht werden, die Kosten für verschiedene Gebietsbündel zu ermitteln.
- Ein weiteres Ziel ist die Evaluierung von einfachen und kombinatorischen Auktionen in einer realitätsnahen Simulation. Die Simulationsstudie soll das Potenzial von verschiedenen Auktionsverfahren ermitteln, um damit Stärken und Schwächen von Auktionsverfahren aufzuzeigen.

In den nachfolgenden Kapiteln werden zuerst Lösungsansätze in Kapitel 6 für kombinatorische Gebietsauktionen vorgestellt. Danach wird in Kapitel 7 das Bewertungsmodell für Gebietsspeditionssysteme beschrieben. Wir geben dafür eine mathematische Formulierung für das Optimierungsproblem und eine Lösungsheuristik an. Schließlich wird in Kapitel 8 eine numerische Untersuchung für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen durchgeführt.

6. Neue Lösungsansätze für kombinatorische Gebietsauktionen

In diesem Kapitel wird das Grundproblem von kombinatorischen Auktionen, der effizienten Offenbarung von Gebietsinformationen, adressiert. Es werden zwei neue Lösungsansätze aufgezeigt, die die Besonderheiten von Gebietsausschreibungen in Gebietsspeditionsnetzen berücksichtigen. Bei beiden Lösungsansätzen wird davon ausgegangen, dass Bieter nur eine beschränkte Menge an Bündelgeboten abgeben. Für die formale Darstellung in diesem Kapitel wird die Notation aus Kapitel 4.2. beibehalten.

Der erste Lösungsansatz (Abschnitt 6.1.) ist ein iteratives, nicht preisbasiertes Auktionsprotokoll, bei dem die Bieter und der Auktionator abwechselnd Gebotsinformationen austauschen. Während preisbasierte Auktionsprotokolle Preisinformationen als Feedback an die Bieter zurückgeben, kommt dieses hybride Auktionsprotokoll ohne Preisinformationen aus. Wie bei den direkten Offenbarungsmechanismen kann der Auktionator iterativ Gebotsanfragen stellen, um das Allokationsergebnis zu verbessern. Zur Formulierung von effizienten Anfragen hat der Auktionator ein Netzwerkdesignproblem zu lösen, bei dem die Gebietspreise für fehlende Gebote interpoliert werden.

Als zweiten Lösungsansatz (Abschnitt 6.2.) wird die Gebotssprache der bedingten Gebote präsentiert. Bedingte Gebote erlauben es Bietern, Abhängigkeiten zwischen Geboten in den Gebotspreisen präziser auszudrücken. Eine Sonderform der bedingten Gebote sind bedingte Einzelgebote, mit denen Bieter auf einfache Weise flexible Gebote formulieren können und dem Auktionator mehr Gestaltungsspielraum für das Lösen des Gewinnerermittlungsproblems geben. Ferner werden wir zeigen, dass unter der Annahme von bedingten, monoton fallenden Preisfunktionen die Formulierung von bedingten Einzelgeboten mindestens so präzise ist wie die Formulierung mit Einzelgeboten.

6.1. Hybrides Auktionsprotokoll mit interpolierten Gebietspreisen

Existierende kombinatorische Auktionsverfahren in der Literatur gehen davon aus, dass die Bündelung von Gebieten entweder von den Bietern oder von dem Auktionator¹ bestimmt wird. Die Generierung von Gebietsvorschlägen durch den Bieter kann effektiv sein, da Bieter über Informationen verfügen, die der Auktionator nicht besitzt. Beispiele dafür sind Informationen der Logistikdienstleister über Drittgeschäfte

¹Vgl. direkte Offenbarungsansätze in Kapitel 4.3.

mit anderen Kunden in denselben Gebieten des Verladers. Diese Art der Informationsgenerierung wird auch als push-Mechanismus bezeichnet.² Die Bündelung durch den Auktionator kann effektiv sein, da der Auktionator über Informationen anderer Bieter verfügt, die einzelne Bieter nicht haben. Mit diesen Informationen kann der Verloader (in der Rolle des Auktionators) die Netzwerke der Logistikdienstleister im Hinblick auf ein Gesamtoptimum hin ausrichten. Diese Art der Informationsgenerierung wird auch als pull-Mechanismus bezeichnet.³ In Anlehnung an Sandholm und Boutilier schlagen wir ein hybrides Auktionsprotokoll vor,⁴ in dem sowohl Bieter als auch der Auktionator aktiv an der Generierung von Bündelgeboten zusammenwirken, um dadurch die Effekte des push- und pull-Mechanismus zu vereinen.

Das hybride Auktionsprotokoll ist ein iteratives Auktionsverfahren, mit dem schrittweise relevante Bündelgebote offenbart werden. In jeder Runde des Auktionsverfahrens können die Bieter und der Auktionator abwechselnd Bündelgebote generieren. Da bei Transportauktionen geschlossene Auktionen die führende Auktionsform darstellen,⁵ sollen für die Bieter die Gebote der anderen Bieter verdeckt bleiben und keine Preisinformationen an die Bieter zurückgemeldet werden.⁶ Das Feedback an die Bieter soll nur durch zwei Informationen angeregt werden: Zum einen können Anfragen durch den Auktionator an alle Bieter gestellt werden, die damit teilweise Aufschluss über die Marktsituation des Bieters geben. Zum anderen werden am Ende einer Runde Gewinnergebote benachrichtigt. Das Ziel des hybriden Auktionsverfahrens ist es, die Generierung von effizienten Bündelgeboten zu unterstützen, um strukturell das Gebietsdesign des Verladers zu verbessern und zu kostenoptimalen Gebietsallokationen zu gelangen.

6.1.1. Der Ablauf des hybriden Auktionsprotokolls

Das hybride Auktionsprotokoll ist ein iterativer Prozess, der in mehrere Runden unterteilt ist. Der Ablauf ist in Abbildung 6.1. schematisch dargestellt.

Zu Beginn einer Runde (Schritt 1) erfolgt die Abgabe neuer kombinatorischer Gebote durch die Bieter. Aufgrund des mehrrundigen Ablaufs müssen die Bieter nicht alle möglichen Gebote in der ersten Runde offenbaren. Es ist möglich, dass Bieter sich zunächst auf die Auswahl aussichtsreicher Bündelgebote konzentrieren und weitere Bündelgebote erst in späteren Runden abgeben. Damit wird erreicht, dass wenige effiziente Gebote zwischen den Bietern und dem Auktionator ausgetauscht werden.

Nach der Gebotsabgabe der Bieter hat der Auktionator neue Anfragen von Bündelgeboten zu ermitteln (Schritt 2). Während die Bieter bei der Formulierung ihrer Bündelgebote die Gebiete so zusammenstellen, dass sie ihr eigenes Logistiksystem op-

²Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 238.

³Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 238.

⁴Vgl. Sandholm und Boutilier (2006), S. 238.

⁵Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 551.

⁶Vgl. auch geschlossene Auktionen bei Bichler u. a. (2005), S. 130.

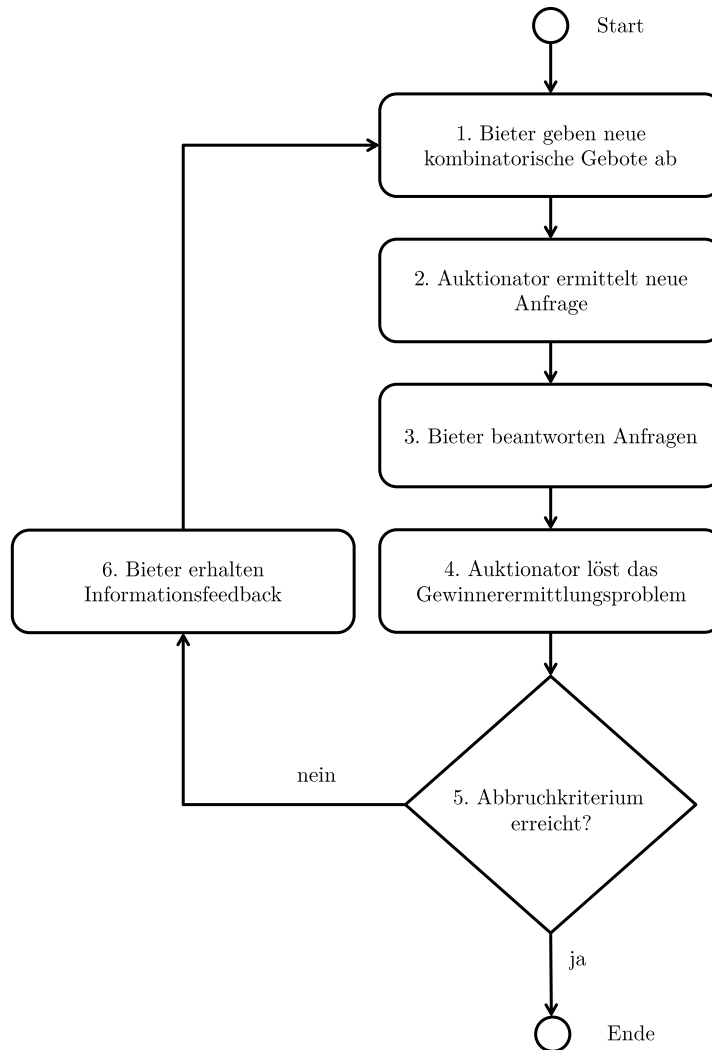


Abbildung 6.1.: Ablauf des hybriden Protokolls

timieren, hat der Auktionator die Netzwerke der Bieter auf ein Gesamtoptimum hin auszurichten. Das Problem des Auktionators kann als ein Netzwerkdesignproblem mit interpolierten Gebietspreisen aufgefasst werden, um mit den sich teilweise überschneidenden, unkoordinierten Bündelgeboten das potenzielle, kostenoptimale Netzwerkdesign des Verladers abzuleiten. Das Netzwerkdesignproblem unterscheidet sich vom Gewinnerermittlungsproblem dadurch, dass der Auktionator beliebige Gebiete anfragen kann und damit die Gebietsstruktur der Bündelgebote durch den Auktionator geändert werden kann. Die genauere Modellierung wird im nächsten Unterabschnitt dargestellt. Das Ergebnis des Netzwerkdesignmodells sind überschneidungsfreie Teilgebiete des Gebietsspeditionssystems, die als Anfragen an die Bieter übermittelt werden. In

der Terminologie von Sandholm und Boutilier (2006) handelt es sich bei den Anfragen des Auktionators um Wertanfragen,⁷ bei denen die Bieter die Gebiete mit Preisen zu bewerten haben.

Im darauffolgenden dritten Schritt werden die Anfragen des Auktionators durch die Bieter bewertet. Es ist anzumerken, dass nicht zwangsläufig alle Gebietsanfragen vollständig bewertet werden müssen. Gebiete, bei denen der Bieter kein Interesse hat oder keine Aussicht auf Erfolg sieht, können unbewertet bleiben.

Der vierte Schritt beinhaltet, dass auf Basis aller bisher abgegebenen Gebote⁸ der Bieter die (vorläufige) kostenoptimale Allokation bestimmt wird. Der Auktionator hat hierzu das originäre Gewinnerermittlungsproblem aus Kapitel 4.2. zu lösen.

Das Ende des Auktionsprozesses ist erreicht, wenn in Schritt 5 das Abbruchkriterium erfüllt ist. Als Abbruchkriterium wird die Anzahl der Runden herangezogen.⁹ Die Anzahl der Runden als Abbruchkriterium gibt den Bietern und dem Auktionator im vornherein Klarheit über den Ablauf des gesamten Auktionsprozesses. Es ermöglicht einem Bieter, seine Bietstrategien über den Auktionsverlauf zu wählen, wodurch der Bieter bewusst die Offenbarung von Gebotsinformationen in den verschiedenen Runden festlegt. Falls das Abbruchkriterium erreicht ist, wird die Auktion beendet. Die Gewinnergebote der aktuellen Runde sind damit Gewinnergebote der gesamten Auktion.

Falls das Abbruchkriterium noch nicht erreicht ist, wird die Auktion fortgesetzt (Schritt 6). Die Bieter erhalten als Feedback Informationen, welche Gebote in der aktuellen Runde gewinnend sind. Diese Informationen dienen den Bietern dazu, die eigenen Gebote zu beurteilen. Dass ein Gebot nicht gewinnend ist, kann mehrere Gründe haben: Entweder ist der Preis des abgegebenen Bündelgebots zu hoch oder die komplementären Gebote¹⁰ haben einen zu hohen Preis bzw. existieren nicht. Der Bieter kann dann in der neuen Runde erneut Bündelgebote abgeben, in dem Informationen über die Aufteilung der Gebiete aus vergangenen Runden und über die Gewinnergebote berücksichtigt werden.

6.1.2. Netzwerkdesignproblem mit interpolierten Gebietspreisen

Im Folgenden betrachten wir das Netzwerkdesignproblem eines Auktionators. Der Auktionator ist mit der Situation konfrontiert, dass die Bieter nur eine begrenzte Anzahl von Gebote abgeben, die aus Sicht der Bieter effizient sind. Aufgrund des Alles-oder-nichts-Prinzips von kombinatorischen Auktionen gilt entweder ein Bündelgebot

⁷In Sandholm und Boutilier (2006) werden Preisanfragen zu einem Güterbündel als *value query* bezeichnet.

⁸Es beinhaltet alle Gebote, die die Bieter selbst erstellt haben (Schritt 1), oder Gebote, die durch die Wertanfrage des Auktionators erzeugt wurden.

⁹Möglich sind auch andere Kriterien, wie Zeit oder die Kostenverbesserungen gegenüber der letzten Runde.

¹⁰Die komplementären Gebote ergänzen das Gebote B_{ij} , sodass $G_{ij} \cup G_{ij}^C = G$ gilt.

ganz oder gar nicht. Auf der einen Seite gibt das Alles-oder-nichts-Prinzip dem Bieter eine sichere Kalkulationsbasis, da Bieter mit den Mengen für das gesamte Gebiet kalkulieren können, auf der anderen Seite schränkt es den Auktionator bei der Auswahl der Bündelgebote ein, das in Verbindung mit geringen Bündelgeboten zu suboptimalen Gebietsallokationen führen kann. Um diesem Problem entgegenzuwirken, sollen durch das Lösen eines Netzwerkdesignproblems neue, aussichtsreiche Gebietsallokationen vom Auktionator bestimmt werden, um näher an das Ziel einer gesamtoptimalen Gebietsallokation zu kommen.

Das primäre Ziel für das Netzwerkdesign ist, das zukünftige Netzwerk mit dem vorhandenen Wissen des Auktionators zu optimieren. Da nur eine begrenzte Menge an Bündelgeboten durch die Bieter offenbart wird, sollen die Preise für die fehlenden Gebiete interpoliert werden. Es wird im Weiteren zunächst auf die Schätzung der Gebietspreise eingegangen und anschließend das Optimierungsmodell des sich dadurch ergebenden Netzwerkdesignproblems präsentiert.

Lokale Interpolation

Für die Schätzung der Gebietspreise wird eine lokale Interpolation angewendet, die die Gebietspreise auf Grundlage der abgegebenen Gebote schätzt. Die Schätzung des Gebietspreises von Gebiet $G' \subseteq G$ auf Basis von Gebot B_{ij} eines Bieters i bezeichnen wir mit $\varphi_{ij}(G')$.¹¹ Dabei entspricht die Schätzung des Gebietes G_{ij} von Gebot B_{ij} genau dem Gebotspreis, d. h. $\varphi_{ij}(G_{ij}) = p_{ij}$. Um den Preis für alle anderen Gebiete zu schätzen, ist das Gebiet G' durch das Gebiet G_{ij} darzustellen. Wir zerlegen dazu das Gebiet G' in drei Teile:

- $G_1 = G' \cap G_{ij}$
- $G_2 = G' \setminus G_{ij}$
- $G_3 = G_{ij} \setminus G'$

Das Gebiet G_1 ist die Schnittmenge aus G' und G_{ij} . Es enthält damit Gebiete, die bei beiden Gebieten übereinstimmen. Die Menge G_2 enthält alle Gebiete, die in G' aber nicht in G_{ij} enthalten sind. Bei der Menge G_2 handelt es sich um die fehlenden Gebiete, die im Basisgebot B_{ij} zu ergänzen sind. Die Ergänzung eines Gebietes in dem Basisgebot wird als Erweiterung bezeichnet. Die Menge G_3 entspricht allen Gebieten, die in G_{ij} , aber nicht in G' enthalten sind. Es handelt sich bei der Menge G_3 um Gebiete, die aus einem Basisgebot B_{ij} herauszunehmen sind. Die Herausnahme eines Gebietes aus dem Basisgebot wird als Reduktion bezeichnet.

Durch eine lokale Interpolation soll der Gebotspreis von Gebot B_{ij} als Basiswert der Schätzung genutzt werden und alle Gebiete von G' , die von den Gebieten von G_{ij}

¹¹ φ_{ij} definiert den Schätzer auf Basis von Gebot B_{ij} .

abweichen, sollen wertmäßig korrigiert werden. Unter der Verwendung von Einzelpreisen für einzelne Gebiete ist für die Schätzung von G' der Gebotspreis von Gebot B_{ij} folgendermaßen anzupassen:

$$\varphi_{ij}(G') = p_{ij} + \sum_{g \in G' \setminus G_{ij}} p_{ig}^+ - \sum_{g \in G_{ij} \setminus G'} p_{ig}^- \quad \forall i \in I, j \in M^i, G' \subseteq G \quad (6.1)$$

Die Schätzung von G' setzt sich aus dem Gebotspreis von Gebot B_{ij} und der Summe der Einzelpreise für alle Gebiete aus G_2 zusammen, von der die Summe der Einzelpreise für alle Gebiete aus G_3 abzuziehen ist. Es ist zu anmerken, dass die Gebiete der Menge G_1 bereits in dem Gebotspreis von B_{ij} berücksichtigt sind und nicht gesondert aufgeführt werden, sodass nur die Gebiete in G_2 und G_3 betrachtet werden. Bezüglich der Einzelpreise unterscheiden wir danach, ob es zu einer Erweiterung (p_{ig}^+) oder zu einer Reduktion (p_{ig}^-) eines Gebietes führt. Diese Unterscheidung ist notwendig, da im ursprünglichen Gebotspreis unterschiedliche Fixkostenkomponenten vorhanden sind (z. B. durch die Bereitstellung von Hauptläufen) und eine Schätzung ohne diese Unterscheidung die Fixkosten des Basisgebotes verzerren würde. Um aus diesem Grund eine mögliche Zerstückelung eines ursprünglich größeren Gebietes durch das Netzwerkdesignmodell in kleinere Gebiete zu unterbinden, ist daher der Schätzpreis eines Gebietes bei einer Reduktion niedriger anzusetzen als bei einer Erweiterung.

Die Schätzung eines Gebietspreises G' von Bieter i bestimmt sich dann aus dem besten Schätzwert auf Basis aller abgegebenen Gebote von Bieter i :

$$\varphi_i(G') = \min_j(\varphi_{ij}(G')) \quad \forall i \in I, j \in M^i, G' \subseteq G \quad (6.2)$$

Für alle abgegebenen Bündelgebote eines Bieters muss weiterhin sichergestellt werden, dass der Schätzwert der Gebietsbündel G_{ij} seinem Gebotspreis zu entsprechen hat. Es muss gelten:

$$\varphi_i(G_{ij}) = p_{ij} \quad \forall i \in I, j \in M^i \quad (6.3)$$

In Verbindung mit Gleichung 6.2 kann aus Gleichung 6.3 geschlossen werden:

$$\varphi_{ij}(G_{ij}) \leq \varphi_{ik}(G_{ij}) \quad \forall i \in I, j, k \in M^i \quad (6.4)$$

Folglich darf es keinen anderen Gebotsschätzer φ_{ik} geben, der einen kleineren Schätzwert für das Gebiet G_{ij} von Gebot B_{ij} hat. Wir bezeichnen Formel 6.4 als die Konsistenzbedingung der Schätzpreise. Um die Konsistenzbedingung zu gewährleisten, führen wir Korrekturfaktoren für jeden Bieter ein. Schätzungen für Gebiete, die größere

Abweichungen zum Gebiet von Basisgebot B_{ij} haben, sollen bestraft werden. Wir bezeichnen mit α_i^+ den Aufschlagsfaktor für Erweiterungen von Bieter i und mit α_i^- den Abschlagsfaktor für Reduktionen von Bieter i . Beide Faktoren sind bieterspezifisch und stets positiv ($\alpha_i^+, \alpha_i^- \in \mathbb{R}_0^+$).

Wir passen Gleichung 6.1 für die Schätzung eines beliebigen Gebietes G' auf Basis eines abgegebenen Gebotes B_{ij} unter Hinzunahme der Korrekturfaktoren wie folgt an:

$$\varphi_{ij}(G') = p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G' \setminus G_{ij}} p_{ig}^+ - (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G_{ij} \setminus G'} p_{ig}^- \forall i \in I, j \in M^i, G' \subseteq G \quad (6.5)$$

In Ergänzung zu 6.1 wird die Summe der Einzelpreise für die Erweiterungen mit dem Faktor $1 + \alpha_i^+$ multipliziert, sodass Erweiterungen verteuert werden. Die Summe der Einzelpreise für Reduktionen wird mit dem Faktor $1 - \alpha_i^-$ korrigiert, sodass Reduktionen verbilligt werden und sich der gesamte Schätzpreis verteuert. In diesem Zusammenhang ergeben für die Abschlagsfaktoren α_i^- nur Werte im Intervall $[0, 1]$ Sinn, da für Werte $\alpha_i^- > 1$ die Schätzpreise sogar größer werden würden als der Gebotspreis des Basisgebots, obwohl die Schätzung weniger Gebote enthält.¹² Auf die Schätzung aller relevanten Parameter der lokalen Interpolation wird im nächsten Abschnitt (6.1.3.) genauer eingegangen.

Die beschriebene lokale Interpolation hat den Vorteil, dass die abgegebenen Bündelgebote korrekt geschätzt werden¹³ und kleinere Abweichungen von einem Basisgebot tendenziell besser prognostiziert werden sollten als durch lineare Gebietspreismodelle ohne Basis, da die Schätzung ungenauer wird, je mehr sich das Gebiet G' und das Basisgebiet unterscheiden.

Netzwerkdesignmodell

Das Entscheidungsproblem des Auktionators besteht darin, die schätzpreisoptimale Gebietsallokation auf Basis aller abgegebenen Bündelgebote zu finden. Es lässt sich mit den Indizes, Daten und Variablen aus 6.1. mathematisch wie folgt beschreiben:

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} \sum_{G' \subseteq G} z_{ijG'} \cdot \varphi_{ij}(G') \quad (6.6)$$

unter der Nebenbedingung:

¹²Derartige Effekte werden in verschiedenen Arbeiten durch die *free disposal* Annahme ausgeschlossen, vgl. Buer (2011), S. 22.

¹³Vgl. auch die Schwierigkeit von Netzwerkdesignmodellen, die Ist-Kosten in einem bestehenden Netzwerk korrekt vorauszusagen bei Bretzke (2010), S. 110.

<u>Indizes:</u>	
$i \in I$	Bieter
$j \in M^i$	Gebot von Bieter i
$G' \subseteq G$	Gebiete
 <u>Daten:</u>	
$\varphi_{ij}(G')$	Geschätzter Gebietspreises von Gebiet $G' \subseteq G$ auf Basis von Gebot B_{ij}
 <u>Variablen:</u>	
$z_{ijG'}$	Auswahl von Gebiet $G' \subseteq G$ zur Basis von Gebot B_{ij}

Tabelle 6.1.: Indizes, Daten und Variablen des Netzwerkdesignmodells

$$\bigcup_{i \in I, j \in M^i, G' \subseteq G} \{G' | z_{ijG'} = 1\} = G \quad (6.7)$$

Das Optimierungsmodell (6.6 und 6.7) minimiert die Schätzpreise über alle ausgewählten Gebiete zur Basis der abgegebenen Gebote, sodass die Vereinigung aller ausgewählten Gebiete das Gesamtgebiet ergibt.

Da das beschriebene Optimierungsmodell wegen der Potenzmenge der Gebiete exponentiell viele binäre Entscheidungsvariablen besitzt, wird ein äquivalentes Optimierungsmodell als ein erweitertes Gewinnerermittlungsproblem angegeben. Das Netzwerkdesignproblem lässt sich als ein erweitertes Gewinnerermittlungsproblem mit den Indizes, Daten und Variablen aus Tabelle 6.2. mathematisch folgendermaßen formulieren:

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} p_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{g \in G} \{(1 + \alpha_i^+) \cdot p_{ig}^+ \cdot x_{ijg}^+ - (1 - \alpha_i^-) \cdot p_{ig}^- \cdot x_{ijg}^-\} \quad (6.8)$$

unter den Nebenbedingungen:

<u>Indizes:</u>	
$g \in G$	Einzelgebiet
 <u>Daten:</u>	
p_{ij}	Gebotspreis von Gebot B_{ij}
p_{ig}^+	Geschätzter Gebietspreis für das Gebiet g bei Erweiterung durch den Bieter i
p_{ig}^-	Geschätzter Gebietspreis für das Gebiet g bei Reduktion durch den Bieter i
α_i^+	Aufschlagsfaktor für Bieter i
α_i^-	Abschlagsfaktor für Bieter i
A_{ijg}	1, falls durch das Gebot B_{ij} das Gebiet g gedeckt wird, ansonsten 0
A_{ijg}^+	1, falls durch das Gebot B_{ij} das Gebiet g nicht gedeckt wird, ansonsten 0
A_{ijg}^-	falls durch das Gebot B_{ij} das Gebiet g nicht gedeckt wird, ansonsten 0
 <u>Variablen:</u>	
x_{ij}	Auswahl des Gebietes von Gebot B_{ij}
x_{ijg}^+	Erweiterung des Gebietes von Gebot B_{ij} um das Gebiet g
x_{ijg}^-	Reduktion des Gebietes von Gebot B_{ij} um das Gebiet g

Tabelle 6.2.: Indizes, Daten und Variablen des Netzwerkdesignmodells (Gebotsformulierung)

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} (A_{ijg} \cdot x_{ij} + x_{ijg}^+ - x_{ijg}^-) = 1 \quad \forall g \in G \quad (6.9)$$

$$A_{ijg}^+ \cdot x_{ijg}^+ \leq (1 - A_{ijg}) \cdot x_{ij} \quad \forall i \in I, j \in M^i, g \in G \quad (6.10)$$

$$A_{ijg}^- \cdot x_{ijg}^- \leq A_{ijg} \cdot x_{ij} \quad \forall i \in I, j \in M^i, g \in G \quad (6.11)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M^i \quad (6.12)$$

$$x_{ijg}^+, x_{ijg}^- \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M^i, g \in G \quad (6.13)$$

Die Zielfunktion 6.8 minimiert die Schätzpreise aller auszuwählenden Gebiete auf

Basis der abgegebenen Gebote. Die Auswahlentscheidung betrifft die Auswahl der Bündelgebote (x_{ij}) und davon abhängig die Entscheidung über die Erweiterung (x_{ijg}^+) oder die Reduktion (x_{ijg}^-) der Gebiete des ursprünglichen Bündelgebotes. Jedes Gebiet des Gebietsspeditionsnetzwerkes soll durch genau ein Gebot bedient werden (Gleichung 6.9). Entweder wird ein Gebiet durch ein ausgewähltes Bündelgebot, das das Gebiet enthält, oder durch eine Erweiterung des Gebietes des Bündelgebotes abgedeckt. Eine Erweiterung für ein Gebiet g ist nur dann möglich, wenn das Gebiet g nicht Teil von Gebot B_{ij} ist und das Gebot B_{ij} ausgewählt wird (Ungleichung 6.10). Demgegenüber ist für ein Gebiet g eine Reduktion nur dann möglich, wenn das Gebiet g Teil von Gebot B_{ij} ist und das Gebot B_{ij} ausgewählt wird (Ungleichung 6.11). Die Entscheidungsvariablen x_{ijg}^+ und x_{ijg}^- sind somit an die Auswahl des Gebotes B_{ij} gebunden.

Die Gleichungen 6.12 und 6.13 definieren die binären Entscheidungsvariablen der Auswahlentscheidung der Bündelgebote und der dazugehörigen Entscheidungen zur Modifikation der Gebiete der Bündelgebote.

Wir möchten an dieser Stelle zwei Spezialfälle des Optimierungsmodells hervorheben:

- Wenn ein lineares Preismodell die Gebotspreise korrekt vorhersagen kann, d. h. wenn für alle Gebote gilt $\sum_{g \in G_{ij}} p_{ig}^- = p_{ij} \forall i \in I, j \in M^i$, dann gilt auch für alle Bieter, dass die Aufschlags-/Abschlagsfaktoren null sind, $\alpha_i^+ = 0$ und $\alpha_i^- = 0$.¹⁴ Daraus folgt, dass die Zielfunktion des Optimierungsmodells keine Aufschläge oder Abschläge beinhaltet. Da in diesem Fall auch die Einzelgebote genau den geschätzten Einzelpreisen entsprechen müssen, d. h. $p_{ig}^- = p_{ij} \forall i \in I, j \in M^i$ mit $|G_{ij}| = 1$, genügt es für das Optimierungsmodell, nur mit den Einzelgeboten zu rechnen, da sich alle anderen Bündelgebote dadurch ableiten lassen. Somit reduziert sich die Auswahlentscheidung für das Optimierungsproblem in diesem Spezialfall auf die Auswahl der günstigsten Einzelpreise für jedes Gebiet unabhängig voneinander. In diesem Fall würde sich das Ergebnis der Optimierung mit dem Ergebnis der Einzelauktion decken.
- Ein anderer Spezialfall liegt vor, wenn für alle Bieter die Aufschlags-/Abschlagsfaktoren $\alpha_i^+ = M, \alpha_i^- = 1$ gilt. In diesem Fall werden Erweiterungen von Bündelgeboten sehr stark bestraft und Reduktionen haben keine Auswirkungen auf den Schätzpreis. Die Ergebnisse des Optimierungsmodells decken sich dann mit dem Ergebnis des originären Gewinnerermittlungsproblems.

6.1.3. Parameterschätzung

Wir widmen uns im Folgenden der Schätzung der erforderlichen Parameter für die lokale Interpolation. Zunächst gehen wir auf die Schätzung der Gebietspreise ein. Anschließend wird die Bestimmung der Aufschlags- und Abschlagsfaktoren vorgestellt.

¹⁴Da keine Schätzfehler entstehen, bleiben alle Aufschlagsfaktoren und Abschlagsfaktoren auf null.

Schätzung von Einzelpreisen

Vom methodischen Standpunkt her gleicht die Schätzung von Einzelpreisen der Schätzung der Transportkosten für die Kanten der Netzwerkdesignmodelle. Zur Approximation der Transportkosten in Netzwerkdesignmodellen wird von Fleischmann (1979) die Konstruktion eines Transportkostenpolynoms $T(d, q)$ vorgeschlagen. Die Transportkosten einer Sendung sind nur von der auszuliefernden Menge q und der Distanz d zwischen Quelle und Senke abhängig. Zur Ermittlung der konkreten Transportkostenfunktion schlägt Fleischmann die multiple lineare Regressionsmethode vor,¹⁵ die auf eine Stichprobe von Transportbedarfen angewendet wird, bei denen Entfernung, Menge und Kosten bekannt sind.

Zur Schätzung der Einzelpreise wird im Weiteren die Regressionsmethode erläutert. Die Schätzung gliedert sich in drei Schritte auf: Im ersten Schritt ist die Datenbasis für die Regressionsanalyse zu bestimmen. Im zweiten Schritt werden die Modellparameter der Regression geschätzt. Schließlich erfolgt im dritten Schritt die Bestimmung der Einzelpreise durch Anwendung des Regressionsmodells auf die Daten eines Gebietes.

1. Bestimmung der Datenbasis

Eine Besonderheit der Gebietsauktion für das Gebietsspeditionssystem ist, dass den Logistikdienstleistern Informationen zu den Transportbedarfen zur Verfügung gestellt wird, damit die Logistikdienstleister darauf basierend ihre Preistarife berechnen können. Wie in Kapitel 2.4. geschildert, werden für jedes Gebot die Preistarife auf den Transportbedarfen ausgewertet und die resultierenden Kosten auf die Transportbedarfe für jedes Gebot wieder zurückverteilt. Wir bezeichnen mit GTB die Menge der Transportbedarfe, die für alle Gebote die zugehörigen Transportbedarfe mit den angereicherten Kosteninformationen enthält. Die Information eines Transportbedarfes $a \in GTB$ kann durch folgendes Tupel repräsentiert werden:

$$a = [Bieter, Gebot, Periode, Start, Ziel, Gewicht, Kosten]$$

Da für das Ergebnis des Optimierungsmodells (6.8 bis 6.13) die Schätzfehler der effizienten Gebote relevant sind, sollen zur Schätzung der Einzelpreise die Kostenstrukturen der effizientesten Gebote geschätzt werden. Somit steht die

¹⁵In Fleischmann (1979) wird neben der Regressionsmethode auch die synthetische Methode vorgeschlagen. Die synthetische Methode nutzt charakteristische Kenngrößen, wie z. B. die mittlere Geschwindigkeit, mittlere Entfernung der Kunden, maximale Dauer einer Tour, Kosteninformationen, um dadurch die Transportkostenfunktion abzuleiten. Für weitere Informationen zur synthetischen Methode siehe auch Kraus (1997). Im Vergleich zur Regressionsmethode ist die Bestimmung der Parameter für die synthetische Methode aufwendiger.

korrekte Prognose aller möglichen Gebiete nicht im Fokus der Schätzung¹⁶. Als effiziente Gebote werden die Gebote der kostenoptimale Allokation des Gewinnerermittlungsproblems genutzt. Daher ist vor der Schätzung der Einzelpreise das Gewinnerermittlungsproblem (Modell 4.1 bis 4.3) zu lösen.

Es sei X_i^* die Gebotsmenge der Lösung für das Gewinnerermittlungsproblem von Bieter i , dann sollen die Gebotspreise der Gewinnergebote durch die Schätzung der Einzelpreise p_{ig} approximiert werden:

$$\hat{p}_{ij} = \sum_{g \in G_j} p_{ig} \quad \forall i \in I, j \in X_i^* \quad (6.14)$$

Wobei \hat{p}_{ij} die Schätzung des Gebotspreises p_{ij} des Gebotes B_{ij} ist und p_{ig} die Schätzung der Einzelpreise darstellt. Die Datenbasis für die Schätzung hat dann aus allen Transportbedarfen aus GTB , die einem Gewinnergebot zugeordnet sind, zu bestehen:

$$GTB^* = \{a \in GTB | Gebot(a) \in X^*\} \quad (6.15)$$

Die Schätzung der Einzelpreise auf Basis der Gewinnergebote des Gewinnerermittlungsproblems steht in Einklang mit der Vorgehensweise der Bestimmung von linearen Gleichgewichtspreisen in preisbasierten, iterativen Auktionen.¹⁷ In diesen Auktionen erhalten die Bieter nach jeder Runde Mindestpreise für alle Güter als Feedback zurück. Diese Preisinformationen können dann für die Formulierung von Bündelgeboten der Bieter dienlich sein. Die Bestimmung von Einzelpreisen erfolgt auf die Art, dass die Summe der Einzelpreise der Gesamtsumme der Gewinnergebote zu entsprechen hat.

Aufgrund der großen Anzahl an Transportbedarfen soll zur Schätzung der Regressionsparameter nicht die gesamte Datenbasis benutzt werden, da dies das Lösen der Regressionsgleichung erheblich erschweren würde. Um die Datenbasis an Transportbedarfen zu reduzieren, ist aus der Gesamtmenge der Transportbedarfe eine zufällige Stichprobe R auszuwählen, die die Gesamtheit der Transportbedarfe repräsentiert. Es sei R_{ij} die zufällige Stichprobe für die Daten eines Gewinnergebotes $B_{ij} \in X_i^*$. Für das Verhältnis der Stichprobe R_{ij} und R soll gelten:

¹⁶Die Prognosefehler für alle abgegebenen Gebote werden über die Aufschlags-/Abschlagsfaktoren korrigiert.

¹⁷Vgl. hier auch die Preisbestimmung bei Kwasnica u. a. (2005), S.425 ff.

$$\frac{|R_{ij}|}{|R|} = \frac{|GA_{ij}^*|}{|GA^*|} \quad (6.16)$$

Die Größe der Stichprobe R_{ij} wird im Verhältnis zur Größe der gesamten Stichprobe R entsprechend dem Anteil der Transportbedarfe, der von Gebot B_{ij} betroffenen Transportbedarfe, an den gesamten Transportbedarfen gewichtet.

2. Bestimmung von Modellparametern für die Regression

Über die genaue Struktur des oben erwähnten Transportkostenpolynoms finden sich weder in Fleischmann (1979) noch in der Literatur allgemeingültige Aussagen.¹⁸ Ein Grund dafür liegt darin, dass das Polynom von Fall zu Fall unterschiedlich sein kann und erst empirisch erhoben werden muss. Wir möchten uns für das Transportkostenpolynom auf die empirische Studie von Özkaya u. a. (2010) beziehen. In ihrer Studie wurden für den US-amerikanischen Transportmarkt die Transportpreise für den Stückgut- und Teilladungsbereich auf Basis historischer Daten geschätzt. Die Autoren haben festgestellt, dass mit der multiplen linearen Regressionsmethode die Transportpreise am besten durch folgendes Transportkostenpolynom approximiert werden:¹⁹

$$p_a = \beta_0 \cdot 1 + \beta_1 \cdot D_a + \beta_2 \cdot W_a + \beta_3 \cdot D_a \cdot W_a + \beta_4 \cdot W_a^2 + \epsilon_a$$

Der Transportpreis eines Transportbedarfs a mit der direkten Entfernung (D) und dem Gewicht (W) hängt linear von der Entfernung, vom Gewicht, von der Transportleistung ($D \cdot W$) und vom quadrierten Gewicht ab. Jeder Transportbedarf hat zusätzlich eine Fixpreiskomponente.

Wir möchten das Transportkostenpolynom von Özkaya u. a. (2010) als Ausgangsbasis für die Schätzung nehmen und passen das Polynom an zwei Punkten an:

- a) Um die Transportpreise verursachungsgerecht zu modellieren, verwenden wir anstelle der direkten Entfernung (D) die Gesamtentfernung als die Summe aus der Entfernung des Vorlaufs (D^v), von der Quelle zum Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters, und aus der Entfernung des Hauptlaufs (D^h), vom Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters bis zur Senke.²⁰

¹⁸Vgl. auch Kritik der Abbildung realer Kostenstrukturen durch Tarife bei Ebner (1997), S. 161 ff.

¹⁹Vgl. Özkaya u. a. (2010), S. 676.

²⁰Informationen zu den Entfernungen zwischen den Lokationen können über Geoinformationssysteme gewonnen werden.

Daten:

p_a^*	Kosten für Transportbedarf a
D_a^v	Vorlaufdistanz zwischen der Quellokation und dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters für Transportbedarf a
D_a^h	Hauptlaufdistanz zwischen dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters und der Ziellokation für Transportbedarf a
W_a	Gewicht von Transportbedarf a

Variablen:

$\beta_0 - \beta_4$	Regressionskoeffizienten
ϵ_a	Residuum

Tabelle 6.3.: Regressionsparameter des Schätzmodells

Hierdurch soll dem Sachverhalt Rechnung getragen werden, dass für die Bewertung eines Gebietes die Transportflüsse der Logistikdienstleister unterschiedliche Umwege haben. Es ist davon auszugehen, dass je größer die Umwege eines Logistikdienstleisters sind, desto höher auch die Kosten und Preise des Logistikdienstleisters ausfallen werden.

- b) Wie oben beschrieben, resultiert der Transportpreis eines Transportbedarfs a aus den Preistarifen der Gewinnergebote. Es sei p_a^* die anteiligen Kosten von Transportbedarf a durch die entsprechende Bepreisung mit den Gewinnergeboten.

Das Schätzmodell der multiplen linearen Regression lautet mit den Daten aus Tabelle 6.3. dann wie folgt:

$$p_a^* = \beta_0 \cdot 1 + \beta_1 \cdot [D_a^v + D_a^h] + \beta_2 \cdot W_a + \beta_3 \cdot [D_a^v + D_a^h] \cdot W_a + \beta_4 \cdot W_a^2 + \epsilon_a \quad (6.17)$$

Die Transportpreise der Transportbedarfe der Stichprobe ($a \in R$) sollen durch die Regressionsgleichung 6.17 geschätzt werden. Wir nehmen vereinfachend an, dass die Kosten im Vorlauf genauso hoch sind wie im Hauptlauf (β_1). Diese Annahme ist an dieser Stelle notwendig, da für einen Transportbedarf keine Unterscheidung der Kosten in Vorlauf und Hauptlauf möglich ist.²¹ Die Preis-

²¹Eine getrennte Modellierung, z. B. $\beta_1^V \cdot D_a^v + \beta_1^H \cdot D_a^h$, könnte an dieser Stelle zu unerwünschten Nebeneffekten führen, wenn dadurch beispielsweise der Preiskoeffizient negativ wird.

Daten:	
\overline{N}_g	Anzahl der Transportbedarfe für das Gebiet g
$\overline{D}_{i,g}^v$	Summe der Vorlaufdistanzen zwischen den Quelllokationen und dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleister i aller Transportbedarfe aus dem Gebiet g
$\overline{D}_{i,g}^h$	Summe der Hauptlaufdistanzen zwischen dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleister i und den Ziellokationen aller Transportbedarfe aus dem Gebiet g
\overline{W}_g	Summe der Gewichte aller Transportbedarfe aus dem Gebiet g
\overline{W}_g^2	Summe der quadrierten Gewichte aller Transportbedarfe aus dem Gebiet g

Tabelle 6.4.: Regressionsparameter der Schätzung

koeffizienten für das Regressionsmodell ($\beta_k \in \mathbb{R} | k \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$) sind so zu bestimmen, dass die Residuen minimiert werden. Zur Schätzung der Regressionsparameter kann die Methode der kleinsten Quadrate angewendet werden. Das Ergebnis der Parameterschätzung sind die Preiskoeffizienten, die die Preissstrukturen der Gewinnergebote offenbaren.

3. Bestimmung von Einzelpreisen

Im Anschluss an die Schätzung der Preiskoeffizienten sind die Einzelpreise für die Einzelgebiete und Bieter zu schätzen. Für die Schätzung werden die Transportbedarfsdaten des jeweiligen Gebietes für einen Bieter herangezogen ($GTB_{ig} = \{a \in GTB | Gebiet(a) = g\} \forall i \in I, g \in G$), wobei zusätzlich die bieterspezifischen Vorlauf- und Hauptlaufdistanzen zu berechnen sind.

Um die Berechnung der Einzelpreise zu vereinfachen, werden vor der Berechnung die Transportbedarfsdaten aggregiert. Die Einzelpreise können dann mit den Daten aus Tabelle 6.4. nach folgender Formel geschätzt werden:

$$\begin{aligned}
\hat{p}_{ig} = & \beta_0 \cdot \overline{N}_g + \beta_1 \cdot (\overline{D}_{i,g}^v + \overline{D}_{i,g}^h) + \beta_2 \cdot \overline{W}_g \\
& + \beta_3 (\overline{D}_{i,g}^v + \overline{D}_{i,g}^h) \cdot \overline{W}_g + \beta_4 \cdot \overline{W}_g^2 \\
& \forall i \in I, g \in G
\end{aligned} \tag{6.18}$$

Gleichung 6.18 stellt die Regressionsgleichung 6.17 mit den aggregierten unabhängigen Variablen dar. Es ist festzustellen, dass der konstante Faktor (β_0) aus der Formel 6.17 sich mit der Anzahl der Transportbedarfe multipliziert und damit nicht mehr konstant ist.

Durch Gleichung 6.18 erhalten wir die Bewertung der Transportleistungen eines Bieters i für ein Gebiet g unter dem aktuellen Marktpreis der Gebietsauktion. Wir werden die Einzelpreise für Erweiterungen p_{ig}^+ nach dem positiven Marktpreis der Transportleistungen bewerten. Es gilt damit:

$$p_{ig}^+ = \min(\widehat{p}_{ig}, 0) \quad \forall i \in I, g \in G \quad (6.19)$$

Da die Kosteneffekte einer Reduktion in den geschätzten Gebietspreisen nicht genau erfasst werden können,²² soll im Gegensatz zur Schätzung der Einzelpreise für Erweiterungen bei der Schätzung der Einzelpreise für Reduktionen das Minimum-Prinzip angewendet werden, sodass der Einzelpreis für ein Gebiet nach dem niedrigsten realisierbaren Marktwert für das entsprechende Gebiet angesetzt wird. Mit dem niedrigsten realisierbaren Marktpreis sind die Bewertungen der Gewinner des Gewinnerermittlungsproblems gemeint. Es werden mit $X^*(g)$ alle Bieter beschrieben, die einen Zuschlag für das Gebiet g bekommen haben. Der niedrigste Marktwert p_g^* ist dann das Minimum der betreffenden Einzelpreise:

$$p_g^* = \min_{i \in X^*(g)}(\widehat{p}_{i,g}) + \delta^{23} \quad \forall g \in G \quad (6.20)$$

Daraus lassen sich dann die Einzelpreise für die Reduktionen bestimmen, die das Minimum zwischen dem niedrigsten Marktwert für Gebiet g und dem Marktwert für die Transportleistung von Bieter i für das Gebiet g sind.

$$p_{ig}^- = \min(p_g^*, \widehat{p}_{ig}, 0) \quad \forall i \in I, g \in G \quad (6.21)$$

Der Einzelpreis für Reduktionen ist immer positiv und kleiner gleich dem niedrigsten realisierbaren Marktwert. Es gilt folglich $0 \leq p_{ig}^- \leq p_g^*$.

Weiterhin kann aus Gleichung 6.20 und 6.21 für die Gewinnergebote gefolgert werden, dass es einen Bieter gibt, für den gilt $\exists i^* \in X^*(g) : p_{ig}^- < p_g^*$. Somit gilt für den Fall einer Überschneidung der Gewinnergebote des Gewinnerermittlungsproblems, dass der Bieter mit dem günstigsten Marktpreis eine günstigere Bewertung für den Einzelpreis erhält.

²²Vgl. 6.1.2.

²³ δ stellt einen relativ kleinen Wert (z. B. 0,01) dar.

Bestimmung der Aufschlags-/Abschlagsfaktoren

Nach der Schätzung der Einzelpreise werden die Aufschlags- und Abschlagsfaktoren bestimmt. Durch die Aufschlags- und Abschlagsfaktoren sollen die Schätzfehler der Gebotspreise in die Schätzung der Gebietspreise integriert werden, sodass die Konsistenzbedingung 6.4 eingehalten wird. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für die Schätzung der Gebietspreise, um zumindest für alle bereits abgegebenen Gebote die Schätzung der Gebietspreise korrekt zu ermitteln.

Es seien B_{ij} und B_{ik} zwei verschiedene Gebote von Bieter i ($j, k \in M^i$). Dann gilt gemäß der Konsistenzbedingung 6.4:

$$\varphi_{ij}(G_{ij}) \leq \varphi_{ik}(G_{ij}) \quad (6.22)$$

Nach Auflösung mit 6.5 erhält man:

$$p_{ij} \leq p_{ik} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G_{ij} \setminus G_{ik}} p_{ig}^+ - (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G_{ik} \setminus G_{ij}} p_{ig}^- \quad (6.23)$$

Um einfacher mit der Ungleichung 6.23 rechnen zu können, wird die rechte Seite reformuliert:

$$p_{ij} \leq p_{ik} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ - (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- \quad (6.24)$$

Wobei für Z_{jkg}^+ und Z_{jkg}^- gilt:

$$Z_{jkg}^+ = \begin{cases} 1 & \text{falls } g \in G_{ij} \setminus G_{ik} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$Z_{jkg}^- = \begin{cases} 1 & \text{für } g \in G_{ik} \setminus G_{ij} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Um die Aufschlags- und Abschlagsfaktoren in Gleichung 6.24 schätzen zu können, wird die Ungleichung 6.24 jeweils nach α_i^+ und α_i^- aufgelöst.

Auflösen nach α_i^+ :

$$p_{ij} - p_{ik} + (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- \leq (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ \quad (6.25)$$

An dieser Stelle ist eine Fallunterscheidung zu machen:

- Falls $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ = 0$ gilt, folgt:

$$p_{ij} - p_{ik} + (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- \leq (1 + \alpha_i^+) \cdot 0 \quad (6.26)$$

In diesem Fall kann der Wert von α_i^+ beliebig sein.

- Der Fall $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ < 0$ wird ausgeschlossen, da $Z_{jkg}^+ \in \{0, 1\}$ und $p_{ig}^+ \in \mathbb{R}_0^+$ gilt.
- Andernfalls, falls $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ > 0$ gilt, kann Formel 6.25 nach α_i^+ weiter umgeformt werden:

$$(1 + \alpha_i^+) \geq \frac{p_{ij} - p_{ik} + (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+} \quad (6.27)$$

$$\alpha_i^+ \geq \frac{p_{ij} - p_{ik} + (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+} - 1 \quad (6.28)$$

Auflösen nach α_i^- :

$$p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ \geq (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- \quad (6.29)$$

Hier ist erneut eine Fallunterscheidung zu machen:

- Falls $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- = 0$ gilt,

$$p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ \geq (1 - \alpha_i^-) \cdot 0 \quad (6.30)$$

In diesem Fall kann der Wert von α_i^- beliebig sein.

- Der Fall $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- < 0$ ist nicht vorgesehen, da $Z_{jkg}^- \in \{0, 1\}$ und $p_{ig}^- \in \mathbb{R}_0^+$ gilt.
- Andernfalls, falls $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- > 0$ gilt, kann Gleichung 6.29 nach α_i^- weiter umgeformt werden:

$$\frac{p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-} \geq (1 - \alpha_i^-) \quad (6.31)$$

$$-1 + \frac{p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-} \geq -\alpha_i^- \quad (6.32)$$

$$\alpha_i^- \geq 1 - \frac{p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-} \quad (6.33)$$

Algorithmus 1 zeigt, wie gültige Aufschlags-/Abschlagswerte für alle Bieter nach den Formeln 6.28 und 6.33 bestimmt werden können, sodass die Konsistenzbedingung 6.4 eingehalten wird. In jeder Runde des hybriden Auktionsprotokolls werden im Anschluss an die Schätzung der Einzelpreise die Aufschlags-/Abschlagsfaktoren bestimmt. Die Ermittlung der Faktoren erfolgt für alle Bieter auf Basis der abgegebenen Bündelgebote. Die Berechnung wird für alle Bieter voneinander unabhängig durchgeführt. Das Verfahren beginnt damit, dass für jeden Bieter die $\alpha_i^{+/-}$ -Faktoren zu Beginn mit 0 initialisiert werden. Alle alten Werte vorangegangener Runden werden damit verworfen und neu berechnet. Für jeden Bieter i werden für alle paarweise unterschiedlichen Kombinationen der Bündelgebote B_{ij} und B_{ik} die Schätzwerte von Gebiet G_{ij} auf Basis von Gebot B_{ik} berechnet.

Falls die Summe der Einzelgebiete für alle Erweiterungen positiv ist ($\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ > 0$), wird die Ungleichung 6.28 überprüft. Falls dieser Test negativ ist, wird der Wert von α_i^+ auf die rechte Seite von Ungleichung 6.28 angepasst.

Falls die Summe der Einzelgebiete aller Reduktionen positiv ist ($\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- > 0$), wird die Ungleichung 6.33 geprüft. Falls dieser Test negativ ist, wird der Wert von α_i^- auf die rechte Seite von Ungleichung 6.33 angepasst.

Algorithmus 1: Bestimmung von Korrekturwerten

```
foreach  $i \in I$  do
   $\alpha_i^+ := 0$  ;
   $\alpha_i^- := 0$  ;
  foreach  $j \in M^i$  do
    foreach  $k \in M^i$  do
      if  $j \neq k$  then
        foreach  $g \in G$  do
           $Z_{jkg}^+ = 0$  ;
          if  $g \in G_{ij} \setminus G_{ik}$  then
             $Z_{jkg}^+ = 1$ 
          end
           $Z_{jkg}^- = 0$  ;
          if  $g \in G_{ik} \setminus G_{ij}$  then
             $Z_{jkg}^- = 1$ 
          end
          if  $\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+ > 0$  then
             $\alpha_i^+ := \text{Min}(\alpha_i^+, \frac{p_{ij} - p_{ik} + (1 - \alpha_i^-) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+} - 1)$  ;
          end
          if  $\sum_g Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^- > 0$  then
             $\alpha_i^- := \text{Min}(\alpha_i^-, 1 - \frac{p_{ik} - p_{ij} + (1 + \alpha_i^+) \cdot \sum_{g \in G} Z_{jkg}^+ \cdot p_{ig}^+}{\sum_{g \in G} Z_{jkg}^- \cdot p_{ig}^-})$  ;
          end
        end
      end
    end
  end
end
end
```

6.2. Die Gebotssprache bedingter Gebote

Einer der wesentlichen Aspekte beim Entwurf von Auktionen ist, wie Bieter ihre Präferenzen durch ein geeignetes Preismodell offenbaren können. Das Preismodell eines Bieters wird durch die Gebotssprache der Auktion spezifiziert und umfasst die Summe der von einem Bieter abgegebenen Gebote. So haben einfache Auktionen mit Einzelgeboten eine einfache Gebotssprache und eine hohe Kombinierbarkeit der Gebote. Allerdings ist das Preismodell übereinfacht, da die Präferenzen der Bieter nur unpräzise durch das Preismodell abgebildet werden. Demgegenüber haben kombinatorische Auktionen ein sehr präzises Preismodell, das die Präferenzen der Bieter genau abbil-

det. Der Nachteil von kombinatorischen Auktionen ist, dass exponentiell viele Gebote abgegeben werden müssen. Für ein Vergabeszenario mit nur wenigen Geboten bedeutet dies, dass die Kombinierbarkeit von Geboten in kombinatorischen Auktionen stark eingeschränkt wird und somit die Vorteile der kombinatorischen Auktionen vermindert werden.

Eine einfache Bietstrategie, um in kombinatorischen Auktionen die Kombinierbarkeit der Bündelgebote eines Bieters mit den Geboten anderer Bieter zu erhöhen, ist die Abgabe von Einzelgeboten in Ergänzung zu den echten Bündelgeboten.²⁴ Der Nachteil dieser einfachen Bietstrategie ist, dass das Problem der präzisen Bepreisung weiterhin bestehen bleibt. So kann es passieren, dass ein Präferenzwert für ein Gebiet, der den tatsächlichen Preis eines Bieters darstellt, durch den Modellwert des Preismodells, der sich in diesem Fall aus der Summe der Gebotspreise der Bündelgebote und der Einzelgebote ergibt, schlecht approximiert wird.

Die Problematik soll an einem Beispiel verdeutlichen werden:

In einem Vergabeszenario sind vier Gebiete A, B, C und D zu vergeben. Es gibt insgesamt drei Bieter, die an dem Vergabeprozess teilnehmen. Bieter 1 bietet für das Bündel $\{A, B\}$ einen Bündelpreis von 19. Bieter 2 bietet nur auf das Gebiet $\{D\}$ einen Gebotspreis von 10. Bieter 3 bietet nur auf das Gesamtpaket $\{A, B, C, D\}$ einen Bündelpreis von 40. Offensichtlich wäre damit nur das Gebot von Bieter 3 die einzige gültige Lösung des Gewinnerermittlungsproblems, da sich die Gebote von Bieter 1 und Bieter 2 nicht kombinieren lassen.

Weiterhin gibt Bieter 1 zusätzlich für jedes Gebiet ein Einzelgebot ab (*einfache Bietstrategie*). Die Kostenstruktur von Bieter 1 sind so, dass für jedes Gebot Fixkosten von 5 und variable Kosten von 7 für jedes Gebiet anfallen. Es wird davon ausgegangen, dass Bieter 1 nur die Gebiete A, B, C bedienen kann und keinen Gewinnaufschlag verlangt, sodass für jedes Einzelgebot ($\{A\}, \{B\}, \{C\}$) der Gebotspreis genau 12 beträgt. Die Gewinnerermittlung würde ergeben, dass das Bündelgebot von Bieter 3 immer noch gewinnend ist, obwohl die Gebote $\{A, B\}$ und $\{C\}$ von Bieter 1 mit dem Gebot $\{D\}$ von Bieter 2 auch eine Lösung mit der Summe von 41 ergeben würden.

Die optimale Lösung bei vollständigen Informationen besteht darin, dass Bieter 1 zusätzlich das Bündel $\{A, B, C\}$ mit 26 bepreist. In diesem Fall ist das Gebot $\{A, B, C\}$ von Bieter 1 mit dem Gebot $\{D\}$ von Bieter 2 für insgesamt 36 gewinnend. Die Differenz zwischen dem Modellwert von Bündel $\{A, B, C\}$, das sich aus der Summe der Gebotspreise für das Bündelgebot $\{A, B\}$ und für das Einzelgebot $\{C\}$ ergibt, und dem Präferenzwert des Gesamtbündels $\{A, B, C\}$ von Bieter 1 entspricht genau den Fixkosten von Bieter 1.

Das Beispiel zeigt, dass beim Vorliegen von derartigen Fixkosten größere Differenzen zwischen dem Modellwert und dem Präferenzwert eines Bündels entstehen können. Eine gute Modellierung der Gebote sollte daher ausdrucksstark sein und Abweichun-

²⁴Unter den echten Bündelgeboten verstehen wir hier Gebote, die sich auf als mehr ein Gebiet beziehen.

gen zwischen dem Modellwert des Preismodells und dem tatsächlichen Präferenzwert möglichst klein halten. Bedingte Gebotssprachen sind ein neuer Lösungsansatz, den wir im Folgenden vorstellen möchten, um die Ausdrucksstärke des Preismodells zu erhöhen.

Definition: Bedingte Gebote. Ein bedingtes Gebot $B_{ij(k)}$ ist ein Gebot für ein Gebiet $G_{ij} \subseteq G$ mit dem Preis p_{ij} . Als Erweiterung zu gewöhnlichen Bündelgeboten gilt das Gebot $B_{ij(k)}$ nur unter der Bedingung von Gebot B_{ik} , d. h. das Gebot B_{ij} kann nur dann vom Auktionator ausgewählt werden, wenn für das Gebot B_{ik} desselben Bieters der Zuschlag erteilt wird. Auf diese Weise lassen sich durch bedingte Gebotssprachen Abhängigkeiten zwischen einem bedingten Gebot und einem unbedingten Gebot in den Gebotspreisen ausdrücken.

Ein Spezialfall der bedingten Gebote sind bedingte Einzelgebote, bei denen die Gebietsmenge vom bedingten Gebot $B_{ij(k)}$ genau aus einem Gebiet ($|G_{ij}| = 1$) besteht. In diesem Fall kann der Preis für ein beliebiges Gebiet g in Abhängigkeit von Gebot B_{ik} definiert werden. Da das Gebot B_{ij} nur aus einem Gebiet besteht, bezeichnen wir das bedingte Einzelgebot mit B_{ikg} . Das bedingte Einzelgebot B_{ikg} ist demnach ein Gebot von Bieter i für das Gebiet $g \in G$ mit dem Preis p_{ikg}^C . Das bedingte Einzelgebot für Gebiet g kann vom Auktionator erst dann ausgewählt werden, wenn für das Gebot B_{ik} desselben Bieters der Zuschlag erteilt wird. Der Vorteil von bedingten Einzelgeboten ist, dass die Formulierung der Gebote im Vergleich zu den allgemeinen bedingten Geboten intuitiver ist. Im Weiteren werden wir daher nur den Fall der bedingten Einzelgebote betrachten.

Einfache bedingte Einzelgebote erlauben es Bieter von einem bestimmten Gebot B_{ij} ausgehend, die Einzelpreise p_{ijg}^C für alle Einzelgebiete $g \in G$ neu zu definieren. Im Unterschied zum hybriden Auktionsprotokoll werden die Preise für die Einzelgebote von den Bieter selbst bestimmt. Der Bieter kann damit selbst entscheiden, auf welche Gebiete geboten werden soll und auf welche nicht. Wenn ein Bieter für ein Gebiet kein Gebot abgeben möchte, soll gelten $p_{ijg}^C = M$. Ein weiterer Unterschied zum hybriden Auktionsprotokoll ist, dass von einem Gebot ausgehend nur Erweiterungen möglich sind, d. h. es ist nicht vorgesehen, dass Teile eines Gebietes wieder aus dem Gebot herausgenommen werden.

Um auf das obige Beispiel zurückzukommen, in dieser Situation würde Bieter 1 mit bedingten Einzelgeboten drei bedingte Einzelgebote für jedes Gebiet definieren, mit der Bedingung seines bereits abgegebenen Gebotes $\{A, B\}$. Für jedes bedingte Einzelgebot ist der bedingte Preis dann jeweils 7, da die Fixkosten bereits im Gebot $\{A, B\}$ einkalkuliert sind. Das optimale Ergebnis der Gewinnerermittlung ist dann das Bündelgebot $\{A, B\}$ mit dem bedingten Einzelgebot $\{C\}$ von Bieter 1 und das Gebot $\{D\}$ von Bieter 2 für insgesamt 36. In diesem Fall würde durch die Verwendung von bedingten Einzelgeboten die kostenoptimale Gebietsallokation gefunden werden.

Da sich das Gewinnerermittlungsproblem des Auktionators bei bedingten Einzelgeboten verändert, möchten wir im Folgenden zunächst das Gewinnerermittlungsproblem mit bedingten Einzelgeboten modellieren. Im Anschluss daran werden Eigen-

Indizes:

$i \in I$	Bieter
$j \in M^i$	Gebot von Bieter i
$g \in G$	Einzelgebiet

Daten:

p_{ij}	Gebotspreis von Gebot B_{ij}
p_{ijg}^C	Gebotspreis für das bedingte Einzelgebot B_{ijg} für das Gebiet g
A_{ijg}	1, falls durch das Gebot B_{ij} das Gebiet g gedeckt wird, ansonsten 0

Variablen:

x_{ij}	Auswahl von Gebot B_{ij}
x_{ijg}^C	Auswahl des bedingten Einzelgebot B_{ijg}

Tabelle 6.5.: Indizes, Daten und Variablen des erweiterten Gewinnerermittlungsproblems

schaften von bedingten Gebotspreisen analysiert.

6.2.1. Gewinnerermittlung mit bedingten Einzelgeboten

Das Entscheidungsproblem der Gewinnerermittlung erweitert sich dahingehend, dass für jedes Gebot B_{ij} eines Bieters i mehrere abhängige bedingte Einzelgebote für jedes Gebiet abgegeben werden können. Der Auktionator muss damit für jedes Gebot zusätzlich entscheiden, ob abhängig von einem Bündelgebot B_{ij} eines der bedingten Einzelgebote auszuwählen ist. Es sei x_{ijg}^C eine binäre Entscheidungsvariable, die angibt, ob Gebiet g akzeptiert wird ($x_{ijg}^C = 1$) oder nicht ($x_{ijg}^C = 0$), wenn das entsprechende Gebot B_{ij} einen Zuschlag erteilt bekommt.

Das erweiterte Entscheidungsproblem lässt sich mit den Indizes, Daten und Variablen aus Tabelle 6.5 wie folgt mathematisch formulieren:

$$\text{Minimiere } \sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} (p_{ij} \cdot x_{ij} + (\sum_{g \in G} p_{ijg}^C \cdot x_{ijg}^C)) \quad (6.34)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in M^i} A_{ijg} \cdot x_{ij} + x_{ijg}^C = 1 \quad \forall g \in G \quad (6.35)$$

$$x_{ijg}^C \leq x_{ij} \quad \forall i \in I, j \in M^i, g \in G \quad (6.36)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M^i \quad (6.37)$$

$$x_{ijg}^C \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M^i, g \in G \quad (6.38)$$

Die Zielfunktion minimiert die Summe der Gebotspreise aller ausgewählten Bündelgebote und die Summe aller ausgewählten bedingten Einzelgebote. Die Nebenbedingung 6.36 stellt sicher, dass alle Gebiete entweder durch Bündelgebote oder durch bedingte Einzelgebote abgedeckt werden. Nebenbedingung 6.36 beachtet die Logik der bedingten Einzelgebote, dass das bedingte Einzelgebot B_{ijg} nur dann akzeptiert wird, wenn für Gebot B_{ij} der Zuschlag erteilt wird. Nebenbedingung 6.37 und 6.38 definieren die binären Entscheidungsvariablen für Bündelgebote und bedingte Einzelgebote.

6.2.2. Eigenschaften bedingter Einzelgebote

In diesem Abschnitt werden Eigenschaften von bedingten Einzelgeboten hergeleitet, um die Vorteilhaftigkeit von bedingten Einzelgeboten gegenüber den einfachen Bietstrategien mit Einzelgeboten zu zeigen.

Preisfunktionen bei Einzelgeboten

Um Gebotspreise in einer kombinatorischen Auktion formal zu beschreiben, definieren wir eine Preisfunktion für jeden Bieter. Es sei $P_i : \mathbb{G} \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ die Preisfunktion von Bieter i , die jedem Gebiet aus der Menge der Gebiete \mathbb{G} eine positive reelle Zahl zuordnet. $P_i(A)$ ist somit der Preis von Bieter i für das Gebiet $A \subseteq G$. Der Gebotspreis für jedes Gebot B_{ij} eines Bieters i entspricht genau dem zugehörigen Preis der Preisfunktion ($P_i(G_{ij}) = p_{ij}$). Da die Werte einer Preisfunktion immer eindeutig sein müssen, gehen wir bei unserer formalen Analyse vereinfachend davon aus, dass Bieter i für jedes Gebiet nur ein Gebot abgibt und sich der Preis für das Gebot über den Verlauf der Auktion nicht ändert.²⁵

Eine interessante Eigenschaft von Preisfunktionen ist die Additivität der Preise hinsichtlich der Bündelung von Gebieten. Die Bündelpreise können im Vergleich zu der Summe der Teilpreise gleich (additiv), höher (superadditiv) oder kleiner (subadditiv) sein. Sie drücken damit unterschiedliche Formen von Synergieeffekten der Bieter aus.

²⁵Diese Vereinfachung ist bei iterativen, preisbasierten Auktionen nicht gegeben, da dort die Preise über den Zeitverlauf verändert werden können.

Zur Beschreibung der Transportpreise in Gebietsspeditionsnetzen ist die Verwendung von subadditiven Preisen am sinnvollsten, da Dienstleister durch die Bündelung von Gebieten gemeinsame Ressourcen besser ausnutzen können und deshalb die Preise der Bündelung tendenziell geringer sind als ohne Bündelung.

Formal kann die Subadditivität der Preise durch die Preisfunktion folgendermaßen ausgedrückt werden:²⁶

$$P_i(A \cup B) \leq P_i(A) + P_i(B) \quad \forall A, B \subseteq G \quad (6.40)$$

Der Bündelpreis ist bei Subadditivität immer kleiner oder gleich der Summe der Teilpreise.

Wir können durch Ungleichung 6.40 den Zusammenhang zwischen Bündelgeboten und Bündelgeboten mit Einzelgeboten herstellen. Es sei A das Gebiet, auf das Bieter i ein Bündelgebot abgegeben hat, und B seien die Gebiete, auf das Bieter i Einzelgebote abgegeben hat. Ferner sei das Gebiet B in seine Einzelgebiete unterteilbar mit $G_B = \bigcup_{g \in G_B} B_g$, dann gilt für das Bündel $A \cup B$ bei Subadditivität:

$$P_i(A \cup B) \leq P_i(A) + P_i(B) \leq P_i(A) + \sum_{g \in G_B} P_i(B_g) \quad (6.41)$$

Beim Vorliegen von subadditiven Preisfunktionen ist der Bündelpreis immer kleiner gleich der Summe aus dem Preis für das Gebiet A und den Preisen für die Einzelgebiete. Einfache Bietstrategien, die das Preismodell durch Bündelgebote und Einzelgebote aufbauen, unterschätzen damit bei Subadditivität nie den Preis für das Gesamtbündel $A \cup B$.

Preisfunktionen bei bedingten Geboten

Zur formalen Darstellung von bedingten Einzelgeboten definieren wir analog zur Definition der Preisfunktion die bedingte Preisfunktion mit $P_i^{bed} : \mathbb{G} \times \mathbb{G} \rightarrow \mathbb{R}_0^+$, die für zwei Gebiete aus der Gebietsmenge \mathbb{G} eine positive reelle Zahl zuordnet. Das erste Argument ist das abhängige Gebiet, auf das sich der Preis bezieht. Das zweite Argument ist das Gebiet, das Bieter i zugeordnet werden muss, damit dieser Preis für das erstgenannte Gebiet gilt. $P_i^{bed}(A, B)$ ist der bedingte Preis von Bieter i für das Gebiet A unter der Bedingung von Gebiet B . Der Gebotspreis eines bedingten Gebotes $B_{ij(k)}$ von Bieter i entspricht genau dem Preis von $P_i^{bed}(G_{ij}, G_{ik}) = p_{ij}$ der bedingten Preisfunktion. Der Gebotspreis des bedingten Einzelgebots B_{ijg} von Bieter i entspricht genau dem Preis von $P_i^{bed}(\{g\}, G_{ij}) = p_{ijg}$.

²⁶Vgl. Schwind (2007), S. 138 f.

Für die Berechnung mit bedingten Preisen wird angenommen, dass die folgenden drei Rechenregeln für bedingte Preise gelten, die es erlauben, mit bedingten Preisen zu operieren:

1. Alle Bündelpreise sind auch bedingte Preise.

$$P_i(A) = P_i^{bed}(A, A) \quad \forall A \subseteq G \quad (6.42)$$

Der Preis von $A \subseteq G$ ist gleichzeitig auch ein bedingter Preis unter der eigenen Bedingung.

2. Bedingte Preise bedingen das eigene Gebiet.

$$P_i^{bed}(A, B) = P_i^{bed}(A, A \cup B) \quad \forall A, B \subseteq G \quad (6.43)$$

Der Preis von Gebiet A unter der Bedingung von Gebiet B ist auch der bedingte Preis unter der Bedingung von A und B .

3. Zerlegbarkeit des bedingten Bündelpreises in seine Teilpreise.

Für zwei überschneidungsfreie Gebiete A und B mit $A \cap B = \emptyset$ soll gelten:

$$P_i^{bed}(A \cup B, A \cup B \cup C) = P_i^{bed}(A, A \cup B \cup C) + P_i^{bed}(B, A \cup B \cup C) \quad \forall A, B, C \subseteq G \quad (6.44)$$

Der bedingte Preis von $A \cup B$ unter der Bedingung von $A \cup B \cup C$ ist die Summe aus dem bedingten Preis A unter der Bedingung von $A \cup B \cup C$ und dem bedingten Preis von B unter der Bedingung von $A \cup B \cup C$. Jeder bedingte Preis lässt sich dadurch in seine Teilpreise zerlegen.

Ferner möchten wir das Monotonieverhalten von bedingten Preisfunktionen beschreiben. Wir definieren, dass eine bedingte Preisfunktion in der Bedingung monoton fallend ist, wenn folgende Eigenschaft erfüllt sind:²⁷

$$P_i^{bed}(A, B \cup C) \leq P_i^{bed}(A, B) \quad \forall A, B, C \subseteq G \quad (6.45)$$

Der bedingte Preis A unter der Bedingung von B und C ist kleiner gleich der bedingte Preis von A unter der Bedingung von B . Durch die Erweiterung der Gebiete in dem Bedingungsteil bleibt entweder der bedingte Preis für das Gebiet A gleich oder

²⁷Der Fall monoton steigender Preisfunktionen in der Bedingung wird analog definiert.

wird kleiner. In keinem Fall erhöht sich der bedingte Preis von Gebiet A , wenn sich der Bedingungsteil vergrößert.

Unter der Annahme einer monoton fallenden Preisfunktion in der Bedingung lassen sich zwei weitere Regeln ableiten:

4. Durch Anwendung der Bedingung 6.45 auf die Gleichung 6.42 erhalten wir:

$$P_i^{bed}(A, B) = P_i^{bed}(A, A \cup B) \leq P_i^{bed}(A, A) = P_i(A) \quad \forall A, B \subseteq G$$

bzw.

$$P_i^{bed}(A, B) \leq P_i(A) \quad \forall A, B \subseteq G \quad (6.46)$$

Der Preis des bedingten Preises von A unter B ist kleiner gleich dem Preis von A .

5. Für den Preis von zwei überschneidungsfreie Gebieten A und B erhalten wir durch Anwendung der Bedingung 6.45 auf Gleichung 6.44:

$$\begin{aligned} & P_i^{bed}(A \cup B, C) \quad \forall A, B \subseteq G \\ &= P_i^{bed}(A + B, A \cup B \cup C) \quad \forall A, B \subseteq G \\ &= P_i^{bed}(A, A \cup B \cup C) + P_i^{bed}(B, A \cup B \cup C) \quad \forall A, B \subseteq G \\ &\leq P_i^{bed}(A, C) + P_i^{bed}(B, C) \quad \forall A, B \subseteq G \end{aligned} \quad (6.47)$$

bzw.

$$P_i^{bed}(A \cup B, C) \leq P_i^{bed}(A, C) + P_i^{bed}(B, C) \quad \forall A, B, C \subseteq G \quad (6.48)$$

Eigenschaften bei monoton fallenden Preisfunktionen in der Bedingung

Es werden nun zwei Eigenschaften bei monoton fallenden Preisfunktionen in der Bedingung gezeigt, die den Zusammenhang zwischen dem Preismodell mit Einzelgeboten und dem Preismodell mit bedingten Einzelgeboten herstellen sollen:

1. Eine monoton fallende Preisfunktion in der Bedingung impliziert die Subadditivitätseigenschaft für die Preisfunktion.

Es sei P_i eine Preisfunktion und P_i^{bed} eine bedingte Preisfunktion von Bieter i , die monoton fallend in der Bedingung ist. Für den Preis von Bieter i für die überschneidungsfreien Gebiete $A \subseteq G$ und $B \subseteq G$ gilt mit Gleichung 6.42:

$$\begin{aligned} & P_i(A \cup B) \\ &= P_i^{bed}(A \cup B, A \cup B) \end{aligned}$$

Durch Gleichung 6.44 wird der bedingte Preis in die Teilpreise zerlegt:

$$= P_i^{bed}(A, A \cup B) + P_i^{bed}(B, A \cup B)$$

Durch Gleichung 6.43 vereinfacht sich der Ausdruck zu:

$$= P_i^{bed}(A, B) + P_i^{bed}(B, A)$$

Die Anwendung der Monotoniebedingung für den ersten Teil ($P_i^{bed}(A, B)$) ergibt (Ungleichung 6.46):

$$\leq P_i(A) + P_i^{bed}(B, A)$$

Die Anwendung der Monotoniebedingung für den zweiten Teil ($P_i^{bed}(B, A)$) ergibt (Ungleichung 6.46):

$$\leq P_i(A) + P_i(B)$$

Insgesamt ergibt sich die Subadditivitätsbedingung für das Bündel $A \cup B$:

$$P_i(A + B) \leq P_i(A) + P_i(B)$$

□

Daraus folgt, dass die Bedingung der monoton fallenden Preisfunktion in der Bedingung eine stärkere Bedingung darstellt als die Subadditivität der Preise.

2. Das Preismodell mit bedingten Einzelgeboten ist mindestens so präzise wie das Preismodell der einfachen Bietstrategie mit Einzelgeboten, wenn Bieter i für alle echten Bündelgebote bedingte Einzelgebote abgibt und dessen bedingte Preisfunktion die Eigenschaft von monoton fallend in der Bedingung erfüllt.

Es sei P_i eine Preisfunktion und P_i^{bed} eine bedingte Preisfunktion von Bieter i , die monoton fallend in der Bedingung ist. Zudem sei $A \subseteq G$ ein Gebiet, auf das Bieter i ein Bündelgebot abgibt, und $B_g \subseteq G$ mit $g \in B$ seien Einzelgebiete, auf die Bieter i sowohl Einzelgebote als auch bedingte Einzelgebote in Abhängigkeit von Bündelgebot A abgibt. Ferner seien die Gebiete A und B_g paarweise überschneidungsfrei. Für den Bündelpreis von Gebiet A und den Einzelgebieten $\cup_{g \in B} B_g$ gilt mit Gleichung 6.42:

$$\begin{aligned} & P_i(A \cup (\cup_{g \in B} B_g)) \\ &= P_i^{bed}(A \cup (\cup_{g \in B} B_g), A \cup (\cup_{g \in B} B_g)) \end{aligned}$$

Durch Anwendung von Gleichung 6.44 wird der bedingte Preis in die Teilpreise wie folgt zerlegt:

$$= P_i^{bed}(A, A \cup (\cup_{g \in B} B_g)) + P_i^{bed}(\cup_{g \in B} B_g, A \cup (\cup_{g \in B} B_g))$$

Die Ausdrücke vereinfachen sich mit der Auflösung durch die Gleichung 6.43 für den ersten und den zweiten Ausdruck zu:

$$= P_i^{bed}(A, \cup_{g \in B} B_g) + P_i^{bed}(\cup_{g \in B} B_g, A)$$

Die Anwendung der Monotoniebedingung für den ersten Teil ($P_i(A, \cup_{g \in B} B_g)$) ergibt (Ungleichung 6.46):

$$\leq P_i(A) + P_i^{bed}(\cup_{g \in B} B_g, A)$$

Weiterhin kann wegen Ungleichung 6.48 der bedingte Preis $P_i(\cup_{g \in B} B_g, A)$ in die Teilpreise der bedingten Einzelgebote zerlegt werden:

$$\leq P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i^{bed}(B_g, A) \quad (6.49)$$

Die Anwendung der Monotoniebedingung auf die bedingten Preise ($P_i(B_g|A)$) ergibt (Ungleichung 6.46):

$$\leq P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i(B_g) \quad (6.50)$$

Insgesamt erhält man folgende Beziehung zwischen dem Bündelpreis von $A \cup (\cup_{g \in B} B_g)$ und dem Bündelpreis von A mit den bedingten Einzelpreisen und den Einzelpreisen von B_g :

$$P_i(A \cup (\cup_{g \in B} B_g)) \leq P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i^{bed}(B_g, A) \leq P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i(B_g) \quad (6.51)$$

Der Preis für das Bündelgebot über das Gebiet $A \cup (\cup_{g \in B} B_g)$ ist kleiner oder gleich dem Preis für das Gebiet A zuzüglich der Summe der Preise für die bedingten Einzelgebote. Der Preis für das Gebiet A und der Summe der Preise für die bedingten Einzelgebote sind kleiner oder gleich dem Preis für das Gebiet A und der Summe der Einzelpreise.

Wenn Bieter i in einer kombinatorischen Auktion kein Bündelgebot für $A \cup (\cup_{g \in B} B_g)$ abgibt, da Bieter i nur eine beschränkte Menge an Geboten abgeben kann, dann ist der Modellfehler bei bedingten Einzelgeboten und bei Einzelgeboten von Interesse.

Der Bündelpreis $P_i(A \cup (\cup_{g \in B} B_g))$ wird zum einen durch den Bündelpreis für das Gebiet A und den bedingten Einzelpreisen und zum anderen durch den Bündelpreis für das Gebiet A und den Einzelpreisen angenähert. Diese Näherung der Preise erfolgt immer oberhalb des eigentlichen Bündelpreises. Wobei der Näherungswert durch bedingte Preise $P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i^{bed}(B_g, A)$ immer näher oder ebenso nah ist wie die Einzelpreise $\sum_{g \in B} P_i(B_g)$ an den eigentlichen Bündelpreis ist.

Um den Fehler zwischen dem tatsächlichen Bündelpreis und dem Modellwert auszudrücken, subtrahieren wir in 6.51 auf allen Seiten $P_i(A \cup (\cup_{g \in B} B_g))$. Wir erhalten dadurch:

$$0 \leq P_i(A) + \sum_{g \in B} P_i^{bed}(B_g, A) - P_i(A \cup (\cup_{g \in B} B_g)) \leq P_i(A) + P_i(\sum_{g \in B} B_g) - P_i(A + \sum_{g \in B} B_g) \quad (6.52)$$

Formel 6.52 drückt aus, dass das Preismodell von Bieter i im Falle der bedingten Einzelgebote mindestens so präzise ist wie das Preismodell mit Einzelgeboten.

□

Die Schlussforderung aus den gezeigten Eigenschaften ist, dass für den Sonderfall von bedingten, monoton fallenden Preisfunktionen die Gebotssprache der bedingten Einzelgebote Vorteile gegenüber der Gebotssprache ohne Bedingung besitzt.

7. Das Bewertungsmodell für Gebietsspeditionssysteme

In diesem Kapitel wird die Entscheidungssituation eines Logistikdienstleisters in einer Gebietsauktion modelliert, der für ein abgegrenztes Gebiet des Verladers die Kosten seines Gebietsspeditionssystems zu kalkulieren hat. Hierzu wird ein Bewertungsmodell für das Gebietsspeditionssystem entwickelt, das als Grundlage zur Gebotsabgabe in Gebietsauktionen dienen soll. Abschnitt 7.1. gibt die formale Beschreibung des Entscheidungsproblems des Logistikdienstleisters zur Ermittlung seiner optimalen Kosten. In Abschnitt 7.2. wird ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell für das Gesamtproblem vorgestellt. Zur Lösung des Entscheidungsproblems für reale Instanzen wird in Abschnitt 7.3. eine Lösungsheuristik entwickelt.

7.1. Problemmodellierung

Zur Modellierung der Entscheidungssituation gehen wir von einem Gebietsspeditionssystem des Logistikdienstleisters mit genau einem Konsolidierungszentrum aus. Das bestehende Konsolidierungszentrum wird bereits als Gebietsspeditionssystem für Drittgeschäfte mit anderen Kunden betrieben. Drittgeschäfte ermöglichen es dem Logistikdienstleister, Synergieeffekte mit dem Verladergeschäft zu nutzen.¹ Wir gehen bei der Abbildung des Problems davon aus, dass Synergieeffekte zwischen dem Verladergeschäft und dem Drittgeschäft nur im Vorlauf bestehen.² Vereinfachend wird angenommen, dass alle Transporte des Gebietsspeditionssystems über das Konsolidierungszentrum abgewickelt werden, sodass die operativen Prozesse im Vorlauf und Hauptlauf getrennt voneinander abgebildet werden können. Der Rücklauf der leeren Ladungsträger als Leerguttransporte wird im Weiteren nicht beachtet, sodass nur Transporte von den Lieferanten über das Konsolidierungszentrum zu den Werken modellrelevant sind.

Für einen Analysezeitraum $T = \{1, \dots, \bar{T}\}$ werden vom Verlager Transportbedarfe für das gesamte Gebietsspeditionssystem des Verladers zur Verfügung gestellt, die auf vergangene Transportaufträge des Verladers basieren.³ Die bereitgestellten Transportbedarfe sollen dem Logistikdienstleister ermöglichen, die Kosten der Gebiete realistisch abschätzen zu können.

Das Planungsproblem des Logistikdienstleisters besteht darin, innerhalb des Analysezeitraums die operativen Prozesse zur Deckung der Transportbedarfe des Logis-

¹Vgl. Bretzke (2010), S. 266.

²Vgl. hierzu Konsolidierungsstufe 1 in Kapitel 2.3.2.

³Der Verlager kann hier auch seine historischen Transportaufträge zur Verfügung stellen.

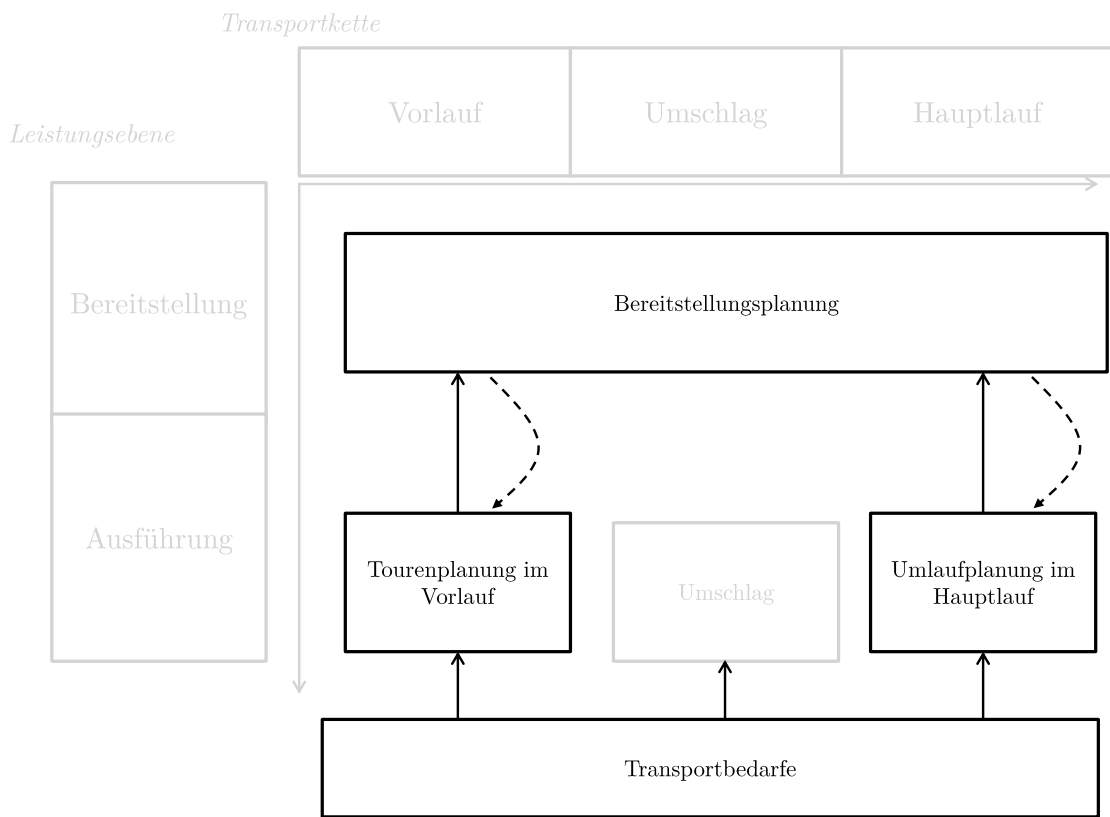


Abbildung 7.1.: Planungsaspekte des Gebietsspeditionssystems

tiksystem in einem Teilgebiet $G' \subseteq G$ des Verladers zu simulieren, um daraus die Dimensionierung und die Kosten des Betriebes abzuleiten. Abbildung 7.1. illustriert die Planungsaspekte des Gebietsspeditionssystems.

Die Grundlage der Transportplanung sind die Transportbedarfe des Verladers. Die Transportbedarfe bilden die Eingangsgrößen für die Tourenplanung der Vorläufe und die Umlaufplanung der Hauptläufe. Der hierdurch resultierende Bedarf an Transportressourcen der operativen Planung geht wiederum in die Bereitstellungsplanung als Eingangsgröße ein. Die operative Planung und die Bereitstellungsplanung können sich dabei gegenseitig bedingen, da die Beschränkung der Transportressourcen auch Einfluss auf deren Einsatz haben kann. In unserer Betrachtung werden wir den Planungsaspekt des Umschlags weitgehend vernachlässigen und nehmen an, dass die Kosten des Umschlags linear von der umgeschlagenen Menge abhängen.

Im Folgenden geben wir eine formale Beschreibung der Planungsaspekte des Gebietsspeditionssystems, die im nächsten Abschnitt in einem Optimierungsmodell integriert werden.

7.1.1. Abgeleitete Transportbedarfe

Es sei TB_{tlw} der gegebene Transportbedarf in Periode $t \in T$ zwischen einem Lieferanten $l \in L$ und einem Werk $w \in W$ in dem Gebietsspeditionssystem des Verladers. Die Transportbedarfe für ein Teilgebiet $G' \subseteq G$ ergeben sich unmittelbar durch die Selektion der relevanten Transportbedarfe für das Gebiet:

$$TB_{tlw}^{G'} = \begin{cases} TB_{tlw} & \text{falls Lieferant } l \text{ in Gebiet } G' \text{ liegt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.1)$$

Der Logistikdienstleister hat die Transportbedarfe für das Verladergeschäft gemeinsam mit den Transportbedarfen aus dem Drittgeschäft für andere Verloader zu planen, um bei der Ausführung Synergieeffekte aus dem gemeinsamen Betrieb zu generieren. Da Synergieeffekte zwischen dem Verladergeschäft und dem Drittgeschäft nur im Vorlauf erzielt werden können, sind die Transportbedarfe im Vorlauf zusammenzufassen. Wir bezeichnen mit TB_{tl}^C den Transportbedarf in Periode t aus dem Drittgeschäft für die Transporte von Lieferant l zum Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters. Damit ergibt sich der abgeleitete Transportbedarf für den Vorlauf (TB_{tl}^V) aus der Summe der Transportbedarfe zu allen Werken aus dem Verladergeschäft und des Transportbedarfs zum Konsolidierungszentrum aus dem Drittgeschäft:

$$TB_{tl}^V = \sum_{w \in W} TB_{tlw}^{G'} + TB_{tl}^C \quad \forall t \in T, l \in L \quad (7.2)$$

Da Synergieeffekte im Hauptlauf mit dem Drittgeschäft ignoriert werden, beschränkt sich der abgeleitete Transportbedarf des Hauptlaufes nur auf die Transportbedarfe des Verladers. Dieser ermittelt sich über die Summe der Transportbedarfe von allen Lieferanten aus dem Verladergeschäft.

$$TB_{tw}^H = \sum_{l \in L} TB_{tlw}^{G'} \quad \forall t \in T, w \in W \quad (7.3)$$

Die umgeschlagene Menge im Konsolidierungszentrum zum Zeitpunkt t ist dann die Summe aller Transportbedarfe aus dem Verladergeschäft:

$$TB_t^U = \sum_{l \in L} \sum_{w \in W} TB_{tlw}^{G'} \quad \forall t \in T \quad (7.4)$$

7.1.2. Tourenplanung im Vorlauf

Im Vorlauf des Gebietsspeditionssystems werden Sammeltouren für das Einsammeln der Transportbedarfe gebildet. Die Modellierung des Vorlaufes kann als ein Tourenplanungsproblem begriffen werden. Es handelt sich hierbei um eine Erweiterung des kapazitierten Tourenplanungsproblems (Capacited Vehicle Routing Problem, CVRP) mit einem Zentraldepot. Das erweiterte CVRP für die Vorlaufplanung kann daher in Anlehnung an Toth und Vigo als ein graphentheoretisches Problem formuliert werden.⁴ Da die Vorläufe im Gebietsspeditionssystem in jeder Periode neu zu planen sind, handelt es sich um ein dynamisches Tourenplanungsproblem.⁵ Um die dynamische Tourenplanung abzubilden, möchten wir für jede Periode t einen Graphen G_t definieren. Es sei $G_t = (V_t, A_t)$ ein vollständiger Graph mit der Knotenmenge $V_t = L_0$ und den Kanten A_t . Die Knotenmenge $L_0 = L \cup \{0\}$ besteht aus allen Lieferanten für das Gebietsspeditionssystem, bei denen Sendungen abgeholt werden, und dem Konsolidierungszentrum, bei dem es sich um den ausgezeichneten Knoten $l = 0$ handelt. Mit den Kanten A_t des Graphen werden für die Touren die Verbindungswege zwischen zwei Knoten in Periode t abgebildet.⁶ Um die Touren des Vorlaufs kostenmäßig bewerten zu können, wird jede Kante $(l, k) \in A_t$ durch die Kostenfunktion $C : (l, k) \in A_t \rightarrow \mathbb{R}^+$ mit einem nicht negativen Kostensatz c_{lk} bewertet. Die Kostenfunktion sei weiterhin symmetrisch mit $c_{lk} = c_{kl} \forall l, k \in L_0$, sodass es sich um ein symmetrisches Tourenplanungsproblem handelt.

Das Ziel ist es, für jede Periode t eine Tourenplanung von Vorläufen zu finden, die die Kosten minimiert. Für die Bildung der Vorlauftouren muss gelten:⁷

- Jede Vorlauftour beginnt und endet im Knoten 0.
- Jeder Knoten $l \in V_t$ wird genau Z_{tl} mal besucht.
- Die Summe der Transportbedarfe in einer Tour darf die Kapazität Q^V der homogenen Fahrzeugflotte nicht überschreiten.
- Die maximale Servicezeit S^{MAX} der Vorlauftouren ist einzuhalten.
- In jeder Periode stehen im Vorlauf y_t^V Fahrzeuge zur Verfügung.

Jeder Vorlauf enthält den ausgezeichneten Knoten $l = 0$, der das Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters darstellt. Die Vorlauftouren beginnen und enden in dem Konsolidierungszentrum. Um jeden Knoten $l \in L_0$ mit einem Transportbedarf

⁴Vgl. Toth und Daniele Vigo (2002), S. 489 ff.

⁵Im Unterschied hierzu werden beim periodischen VRP wiederkehrende Touren geplant.

⁶Knoten ohne Bedarfe in Periode t benötigen keine Verbindungen.

⁷Vgl. Toth und Daniele Vigo (2002), S. 491.

$TB_{tl}^V > 0$ zu befriedigen, muss Knoten l durch eine Vorlauftour angefahren werden. Es gilt:

$$Z_{tl} = \begin{cases} 1 & \text{falls } TB_{tl}^V > 0 \\ 0 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (7.5)$$

Durch diese Modellierung darf ein Knoten l in einer Periode maximal einmal angefahren werden. Damit das Modell auch für Transportbedarfe gilt, die größer als eine Vorlaufkapazität sind ($TB_{tl}^V > Q^V$), sind zusätzlich $m - 1$ fiktive Knoten zu bilden, mit $m = \min\{n \in N | TB_{tl}^V \leq n \cdot Q^V\}$. Neben den kapazitativen Restriktionen müssen im Vorlauf auch zeitliche Restriktionen bezüglich der maximalen Servicezeit S^{MAX} eingehalten werden. Die Servicezeit ergibt sich einmal aus der maximal erlaubten Fahrzeit eines Fahrers und aus der Notwendigkeit, die Vorlauf- und Hauptlaufprozesse zu synchronisieren. Im Rahmen des Vorlaufs werden Fahrzeuge mit einer Ein-Mann-Besetzung eingesetzt, d. h. ein Lkw und ein Fahrer bilden eine feste Fahrzeugeinheit. Diese sollen jeweils zum Anfang einer Tagesschicht beginnen und spätestens am Ende der Fahrerschicht enden. Innerhalb dieses Zeitfensters müssen die Ladungen bei den Abholstellen der Lieferanten abgeholt werden. Für die Synchronisation der Vorlauf- und Hauptlaufprozesse müssen spätestens nach einer Zeit von S^{MAX} alle Fahrzeuge das Konsolidierungszentrum erreicht haben, um die Ladungen der Vorläufe für den Weitertransport auf die Hauptläufe umschlagen zu können.⁸ Um diese Form der zeitlichen Restriktion zu modellieren, geben wir für das Depot ein Zeitfenster $[0, S^{MAX}]$ vor. Weitere Zeitfenster für die Lieferanten sollen nicht weiter betrachtet werden.

Zusätzlich zur dynamischen Eigenschaft der Tourenplanung, die Touren pro Periode zu bilden, sollen die Schwankungen der Transportbedarfe dadurch modelliert werden, dass die Tourenmenge bzw. die Anzahl der Fahrzeuge (y_t^V) auch variabel ist. Die dafür benötigten Fahrzeuge der Tourenplanung soll entsprechend durch die Bereitstellungsplanung zur Verfügung gestellt werden.

Im nächsten Abschnitt wird das hier betrachtete Tourenplanungsproblem als ein Mehrgüterflussproblem modelliert. Die Modellierung als Mehrgüterflussproblem ist eine mögliche Modellierungsvariante neben der Modellierung der Tourenplanung als Zuordnungsproblem mit Subtoureliminationsbedingungen oder der Modellierung mittels eines Column Generation Ansatzes, das das Tourenplanungsproblem in zwei Teilprobleme dekomponiert (Master-Problem und Pricing-Problem).⁹ Der Vorteil der Modellierung der Tourenplanung als ein Mehrgüterflussproblem besteht darin, dass die Modellierung einfacher mit anderen Teilproblemen integriert werden kann.

⁸Vgl. Tripp (2003), S. 9 f.

⁹Vgl. Baldacci u. a. (2004), S. 725 ff.; Toth und Daniele Vigo (2002), S. 492 ff.; Laporte (1992), S. 346 ff.

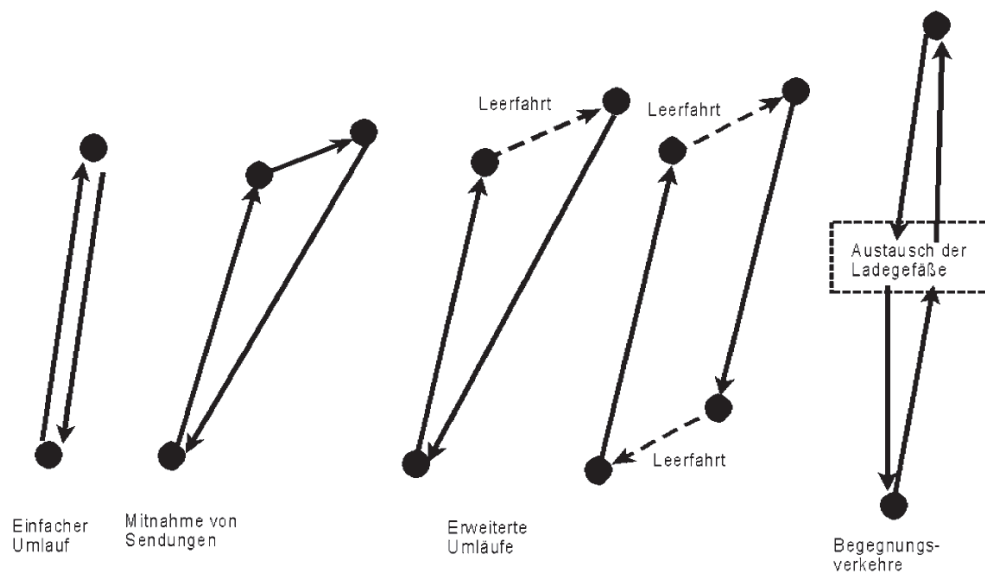


Abbildung 7.2.: Arten von Fahrzeugumläufen (Quelle: Klaus u. a. (2012), S. 597.)

7.1.3. Umlaufplanung im Hauptlauf

Die Umlaufplanung im Hauptlauf umfasst die Planung von Rundläufen für die Hauptlauftransportmittel.¹⁰ Diese hat zum Ziel, die Auslastung der Hauptläufe zu erhöhen und den Bedarf an Fahrzeugen zu senken. Bei der Modellierung der Hauptläufe im Gebietsspeditionssystem wird auf einfache Umläufe beschränkt. Abbildung 7.2. zeigt die Möglichkeiten der Routenwahl für allgemeine Sammelgutverkehre. Im Gegensatz zum Sammelgutverkehr wird nicht die Option der Mitnahme von Sendungen für andere Werke betrachtet, da Servicezeitvorgaben des Verladers und unsichere Wartezeiten am Werksgelände des Verladers eine sichere Planung erschweren. Ebenso wird die Möglichkeit von Rückfrachten ausgeschlossen, da Leergutladungen als Rückfahrten mitgenommen werden können. Die Möglichkeit der Bildung von Begegnungsverkehr wird ebenfalls vernachlässigt, da es ein flächendeckendes Logistiknetzwerk mit weiteren werksnahen Konsolidierungszentren erfordert.

Ein Hauptlauf wird als ein einfacher Pendelverkehr $[0, w, 0]$ zwischen dem Konsolidierungszentrum und dem Werk w modelliert, der im Konsolidierungszentrum beginnt und im Konsolidierungszentrum endet. Aufgrund der längeren Entfernung können Hauptläufe im Unterschied zu Vorläufen diverse Kosten- und Ressourcenbelastungen haben. Die Kosten im Hauptlauf setzen sich zum einen aus den entfernungsabhängigen Kosten c_w für den Hauptlauf zu einem Werk w und zum anderen aus den Kosten für den Ressourcenbedarf zusammen. Zur Beschreibung des Ressourcenbedarfs führen wir

¹⁰Vgl. Klaus u. a. (2012), S. 597 f.

zwei Funktionen ein:

- $\phi(w) \in \{0, 1\}$ gibt den Bedarf eines zweiten Fahrers für die Durchführung der Hauptlauftrundtour $[0, w, 0]$ an.¹¹
- $\tau(w)$ gibt die Einsatztage der Hauptlauftrundtour $[0, w, 0]$ in Tagen minus 1 an.

Für innerdeutsche Transporte wird in der Regel die Einhaltung von Transportlaufzeiten nach dem A-B-C-Raster gefordert,¹² wonach die Sendungen am ersten Tag (Tag A) durch den Lieferanten avisiert werden. Am zweiten Tag (Tag B) werden sie durch den Gebietsspediteur beim Lieferanten abgeholt. Schließlich erfolgt am dritten Tag (Tag C) die Anlieferungen der Sendungen an den Empfangswerken mit einer genauen Zeitfensterregelung. Für die Ausführung der Hauptlaufaktivitäten bleibt damit genau ein Tag.

Obwohl die Transportmittel rund um die Uhr im Einsatz sein können, gelten für die Fahrer gesetzliche Bestimmungen hinsichtlich der Fahr- und Ruhezeiten, die die Servicezeiten der Rundläufe beeinflussen. Nach der europäischen Verordnung EG 561/2006 gelten für Fahrer von Fahrzeugen mit einer zulässigen Gesamtmasse über 3,5 t im gewerblichen Straßen- und Güterverkehr besondere Lenk- und Ruhezeiten in der Europäischen Gemeinschaft. Diese Verordnung sieht vor, dass ein Fahrer täglich maximal 9 Stunden fahren darf.¹³ Bei einer Bemannung eines Fahrzeuges mit zwei Fahrern verlängert sich die tägliche maximale Fahrzeit auf insgesamt 18 Stunden.¹⁴

Um die Transportlaufzeit für alle Transporte einzuhalten, ist für jede Transportverbindung eine entsprechende Bemannung der Transportmittel zu wählen. Wenn man von einer maximalen Reichweite innerhalb einer Fahrerschicht von 600 km ausgeht, kann beispielsweise die Relation Hannover —München (ca. 630 km) nicht durch einen Fahrer innerhalb eines Tages bedient werden. Die tägliche Fahrzeit kann durch den Einsatz eines zweiten Fahrers erweitert werden, sodass alle innerdeutschen Verbindungen binnen eines Tages erreicht werden können.

Es sei D_1^{max} die maximale Distanz, die durch einen Fahrer mit einem Fahrzeug an einem Tag erreicht werden kann. Die Entscheidung für einen zweiten Fahrer ($\phi(w) = 1$) für einen Hauptlauf zum Werk w soll nur dann erfolgen, wenn wegen der Servicezeit

¹¹Eine Besetzung eines Hauptlauffahrzeuges mit mehr als zwei Fahrern ist nicht vorgesehen.

¹²Vgl. auch Iskan (2009), S. 23.

¹³Diese Regelung darf in Ausnahmefällen jeweils zweimal pro Woche auf 10 Stunden verlängert werden.

¹⁴Vgl. Müller und Klaus (2009), S. 56. Genaugenommen muss bei einer mehrtägigen Modellierung einer Zwei-Mann-Besetzung eine Ruhezeit von 9 Stunden zwischen zwei Einsatztagen gewährleistet werden. Auf die genaue Modellierung dieser zusätzlichen Restriktion soll allerdings verzichtet werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine Zwei-Mann-Besetzung unabhängig von der geleisteten Fahrzeit am Vortag vollständig für den Folgetag einsetzbar ist. Für die genaue Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben ist somit die Disposition zuständig.

die Distanz nicht durch einen Fahrer bewerkstelligt werden kann. Es gilt:

$$\phi(w) = \begin{cases} 1 & \text{falls } D_{0w} \geq D_1^{max} \\ 0 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (7.6)$$

Die Kosten für den zusätzlichen Einsatz des zweiten Fahrers bewerten wir pro Periode mit einem Kostensatz von C_p .

Für die Einsatztage eines Hauptlauffahrzeuges gilt in Abhängigkeit von der Entfernung des Werkes w und der maximalen Reichweite eines Fahrers an einem Tag:

$$\tau(w) = \begin{cases} 0 & \text{falls } D_{0w} \leq \frac{1}{2}D_1^{max} \\ 2 \cdot \left\lceil \frac{D_{0w}}{D_1^{max} \cdot (1+P_w)} \right\rceil - 1 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (7.7)$$

Falls die Entfernung zwischen dem Konsolidierungszentrum und dem Werk w (D_{0w}) weniger als die Hälfte der Tagesentfernung eines Fahrers beträgt, dauert der gesamte Hauptlauf einen Tag. Das Fahrzeug mit Fahrer ist in der nächsten Periode $t + 1$ wieder einsatzbereit. Bei längeren Strecken wird eine Zwei-Mann-Besetzung angenommen. Somit sind die Tage der Hinfahrt und die der Rückfahrt mit der gleichen Dauer ($\left\lceil \frac{D_{0w}}{D_1^{max} \cdot (1+P_w)} \right\rceil$) zusammenzurechnen. Das Fahrzeug inklusive der Fahrer ist damit erst wieder in Periode $t + 1 + \tau(w)$ verfügbar.

Die Anzahl der erforderlichen Pendeltouren in Periode t bestimmt sich aus dem Verhältnis der Transportbedarfe des Hauptlaufes in Periode t zu der Hauptlaufkapazität. Wir gehen davon aus, dass es für die Durchführung der Hauptläufe eine homogene Fahrzeugflotte gibt, die jeweils eine Fahrzeugkapazität von Q^H haben. Die Anzahl der Hauptläufe z_{tw}^H , die in Periode t zum Werk w beginnen, ergibt sich dann wie folgt:

$$z_{tw}^H = \left\lceil \frac{T B_{tw}^H}{Q^H} \right\rceil \quad \forall t \in T, w \in W$$

Der Bedarf an Hauptlauffahrzeugen y_t^H in Periode t bestimmt sich dann durch die Summation der Anzahl der Hauptläufe, die in Periode t noch nicht abgeschlossen sind:

$$y_t^H = \sum_{w \in W} \sum_{\substack{\tau=0 \\ t-\tau \geq 0}}^{\tau(w)} z_{(t-\tau)w} \quad \forall t \in T$$

7.1.4. Bereitstellungsplanung

Die Bereitstellungsplanung hat sicherzustellen, dass über den gesamten Planungszeitraum für die Erstellung der Transportleistung die erforderlichen Ressourcen in der optimalen Art und Menge zur Verfügung gestellt werden.¹⁵ Das Ziel der Bereitstellungsplanung ist es, die optimale Bereitstellungsform für die Transportressourcen zu finden.

Transportressourcen sind Fahrzeugeinheiten, bestehend aus einem Fahrer und einem Fahrzeug, die im Vorlauf und im Hauptlauf zur Leistungserbringung eingesetzt werden. Die Unterscheidung der Ressourcen im Vorlauf und im Hauptlauf ist notwendig, da die Anforderungen an die Fahrzeuge und Fahrer unterschiedlich sind. Während Hauptlauftransporte mit großen Fahrzeugen (z. B. mit einer maximalen Ladelast von 26 Tonnen) ausgeführt werden, kann es für den Vorlauf ausreichen, kleine Fahrzeugflotten einzusetzen (z. B. mit einer maximalen Ladelast von 12 Tonnen). Für einen mehrtägigen Einsatz der Fahrzeuge im Hauptlauf ist außerdem eine Schlafkabine erforderlich. Neben den technischen Anforderungen sind auch die personellen Anforderungen unterschiedlich. Bei den Vorlauftouren handelt es sich um Tagestouren, bei denen die Fahrer nach dem Ende der Tagesschicht nach Hause gehen. Hauptläufe sind in der Regel längere Fernverkehre,¹⁶ bei denen die Fahrer nicht immer nach dem Ende ihrer Schicht nach Hause gehen können. Durch diesen geringeren Freizeitausgleich sind bei Fahrern im Fernverkehr auch höhere Löhne anzusetzen.¹⁷

Für jede Transportressource unterscheiden wir zwei Beschaffungsformen: die Bereitstellung von fixen Transportressourcen und die Bereitstellung von flexiblen Ressourcen. Fixe Transportressourcen werden vor Beginn des Ausschreibungsprojektes in Periode $t = 0$ festgelegt und stehen über den gesamten Planungszeitraum zur Verfügung. Hierunter können der Kauf von Fahrzeugen und das Einstellen von Fahrpersonal verstanden werden. Eine Alternative dazu ist der Einsatz externer Flotten, sogenannte Fest-Charter-Flotten, die dem Logistikdienstleister auf ähnliche Weise wie eigene Transportressourcen zur Verfügung stehen. Die Entscheidung der Bereitstellung einer Fahrzeugeinheit fixer Ressourcen wird für den gesamten Planungszeitraum mit Fixkosten F^V für den Vorlauf bzw. F^H für den Hauptlauf bewertet. Eine Revidierung dieser Entscheidung während des Projektes (z. B. durch den Verkauf von Fahrzeugen) ist nicht vorgesehen.

Flexible Transportressourcen können während des Planungszeitraums jederzeit beschafft werden. Der Einsatz dieser Ressourcen ist jeweils tageweise. Die Beschaffung der flexiblen Ressourcen erfolgt üblicherweise über den Logistikmarkt per Spot-Kontrakte. Die Kosten des Einsatzes einer Fahrzeugeinheit flexibler Ressourcen wird im Vorlauf

¹⁵Vgl. hierzu auch die Bereitstellungsplanung in der Produktion bei Domschke u. a. (1997), S. 10.

¹⁶Mit der Ausnahme von kurzen Hauptläufen.

¹⁷Nach Wittenbrink (2011), S. 26, belaufen sich die Fahrerlöhne im Nahverkehrsbereich bei ca. 21.000 bis 22.000 € pro Jahr und im Fernverkehr bei ca. 26.000 bis 27.000 € pro Jahr. Zusätzlich werden Fernfahrern noch Spesen gezahlt.

	Daten			Entscheidungen	
	Nachfrage*	Kosten fixer Ressourcen	Kosten flexibler Ressourcen	Fixe Mengen	Flexible Mengen
Fahreinheit für den Vorlauf (V)	y_t^V	F^V	C_v	y^V	v_t
Fahreinheit für den Hauptlauf (H)	y_t^H	F^H	C_h	y^H	h_t

Tabelle 7.1.: Daten und Entscheidungen der Bereitstellungsplanung

mit C_v bzw. im Hauptlauf mit C_h pro Periode bewertet. Es soll davon ausgegangen werden, dass die Kosten einer flexiblen Ressource höher sind als die anteiligen Kosten einer fixen Ressource pro Periode ($C_v > \frac{F^V}{T}$ und $C_h > \frac{F^H}{T}$). Damit sind flexible Ressourcen insbesondere bei Nachfragespitzen geeignet, um keinen unnötigen Bestand an fixen Ressourcen aufzubauen. Unabhängig von der Beschaffungsform stehen die Ressourcen beider Beschaffungsformen dem Logistikdienstleister für den operativen Einsatz auf die gleiche Weise zur Verfügung. Tabelle 7.1. fasst die Daten und Entscheidungen der Bereitstellungsplanung der Transportressourcen zusammen.

Wir modellieren die Bereitstellungsplanung als ein Kompensationsmodell mit zwei Entscheidungsstufen: Die erste Stufe umfasst die Entscheidungen der Beschaffung der fixen Ressourcen, die in Periode $t = 0$ festgelegt werden. Die zweite Stufe umfasst die Entscheidungen des Einsatzes der flexiblen Ressourcen und der operativen Entscheidungen.

7.2. Mathematisches Optimierungsmodell

Dieser Abschnitt modelliert das Entscheidungsproblem des Logistikdienstleisters als ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell mit zwei Entscheidungsstufen. Auf der ersten Stufe wird die Entscheidung über die Höhe der fixen Transportressourcen für den Vorlauf und für den Hauptlauf zu Beginn des Planungszeitraumes getroffen. Auf der zweiten Stufe werden in jeder Periode t die Entscheidungen über die effiziente Nutzung der Transportressourcen und die Entscheidung über den Einsatz von zusätzlichen flexiblen Ressourcen getroffen. Die Entscheidungen der zweiten Stufe sehen vor, in jeder Periode eine Tourenplanung für den Vorlauf und eine Hauptlaufplanung durchzuführen.

Das dadurch resultierende Optimierungsmodell lässt sich formal mit den Indizes, Daten und Variablen aus den Tabellen 7.2 bis 7.4 wie folgt darstellen:

Tabelle 7.2.: Indizes des *Gebietsspeditionsmodells*

<u>Mengen:</u>	
$\overline{T} = \{1, \dots, \overline{T}\}$	Perioden des Analysezeitraums
$L_0 = \{0, 1, \dots, \overline{L}\}$	Knotenmenge der Lieferanten mit Knoten 0
$L = \{1, \dots, \overline{L}\}$	Knotenmenge der Lieferanten
$W = \{1, \dots, \overline{W}\}$	Menge der Werke des Verladers
<u>Indizes:</u>	
$t \in T$	Index der Perioden
$l, k, m \in L_0$	Index der Lieferanten einschließlich Knoten 0
$w \in W$	Index der Werke

$$\text{Minimiere } FK + VK + UK + HK \quad (7.8)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$FK = F^V \cdot y^V + F^H \cdot y^H \quad (7.9)$$

$$VK = \sum_{t \in T} \sum_{l \in L_0} \sum_{k \in L_0} c_{lk} \cdot z_{tlk}^V + \sum_{t \in T} C_v \cdot v_t - VC \quad (7.10)$$

$$UK = TB_t^U \cdot u \quad (7.11)$$

$$HK = \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} c_w \cdot z_{tw}^H + \sum_{t \in T} C_h \cdot h_t + C_p \cdot y_t^{H,P} \quad (7.12)$$

$$\sum_{k \in L} z_{tlk}^V = Z_{tl} \quad \forall t \in T, l \in L \quad (7.13)$$

$$\sum_{l \in L} z_{tlk}^V = Z_{tk} \quad \forall t \in T, k \in L \quad (7.14)$$

$$\sum_{k \in L_0} u_{tlk} = TB_{ti}^V + \sum_{m \in L_0} u_{tml} \quad \forall t \in T, l \in L_0 \quad (7.15)$$

Tabelle 7.3.: Daten des *Gebietsspeditionsmodells*

<u>Daten:</u>		
F^V	Fixkosten im Vorlauf für den Aufbau einer Lkw-Kapazität. Dies beinhaltet die Abschreibung für den Lkw sowie sonstige damit verbundene Kosten und die Personalkosten.	[€]
F^H	Fixkosten im Hauptlauf für den Aufbau einer Lkw-Kapazität. Dies beinhaltet die Abschreibung für den Lkw sowie sonstige damit verbundene Kosten.	[€]
u	Umschlagskosten je umgeschlagenes Gewicht.	[€/to]
c_{lk}	Kosten für den Transport eines Lkw zwischen dem Lieferanten l (bzw. dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters wenn $l = 0$) und dem Lieferanten k (bzw. dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters wenn $k = 0$) im Vorlauf.	[€]
c_w	Kosten für den Transport eines Lkws zum Werk w und zurück.	[€]
C_v	Kosten pro Periode für Fremdvergabe eines Lkw-Auftrages im Vorlauf.	[€/Lkw/Tag]
C_h	Kosten pro Periode für Fremdvergabe eines Lkw-Auftrages im Hauptlauf.	[€/Lkw/Tag]
C_p	Kosten pro Periode für den zusätzlichen Lkw-Fahrer im Hauptlauf.	[€/Tag]
Z_{ti}	1, falls Lieferant j einen Transportbedarf in Periode t hat, ansonsten 0.	
TB_{tl}^V	Transportbedarf von Lieferanten l abgehend in der Periode t .	[to]
TB_{tw}^H	Transportbedarf zum Werk w abkommend in der Periode t .	[to]
TB_t^U	Gesamter Transportbedarf in der Periode t , der umzuschlagen ist.	[to]
Q^V	Kapazität eines Lkws im Vorlauf.	[to]
Q^H	Kapazität eines Lkws im Hauptlauf.	[to]
$\phi(w)$	1, falls der Transport einen zusätzlichen Fahrer erfordert, ansonsten 0.	
S_{lk}	Transportzeit zwischen dem Lieferanten l (bzw. dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters wenn $l = 0$) und dem Lieferanten k (bzw. dem Konsolidierungszentrum des Logistikdienstleisters wenn $k = 0$) im Vorlauf.	[Stunden]
M	Hinreichend große Zahl.	
$\tau(w)$	Dauer einer Hauptlauftour zum Werk w minus 1.	[Tage]
S_{MAX}	Maximale Servicedauer einer Vorlauftour.	[Stunden]
VC	Kosten des Vorlaufs für das Drittgeschäft.	[€]

Tabelle 7.4.: Variablen des *Gebietsspeditionsmodells*

Variablen:		
FK	Fixkosten	[€]
VK	Variable Vorlaufkosten.	[€]
UK	Variable Umschlagskosten.	[€]
HK	Variable Hauptlaufkosten.	[€]
$y^V \in N_0^+$	Anzahl der benötigten fixen Lkw-Kapazitäten im Vorlauf.	[ME]
$y^H \in N_0^+$	Anzahl der benötigten fixen Lkw-Kapazitäten im Hauptlauf.	[ME]
y_t^V	Anzahl der benötigten gesamten Lkw-Kapazitäten im Vorlauf.	[ME]
y_t^H	Anzahl der benötigten gesamten Lkw-Kapazitäten im Hauptlauf.	[ME]
$z_{tlk}^V \in \{0, 1\}$	1, wenn in Periode t ein Lkw zwischen Lieferant l und Lieferant k fährt.	[0/1]
z_{tw}^H	Anzahl der Lkws im Hauptlauf zum Werk w in Periode t .	[ME]
v_t	Anzahl der flexiblen Lkw-Kapazitäten im Vorlauf in Periode t .	[ME]
h_t	Anzahl der flexiblen Lkw-Kapazitäten im Hauptlauf in Periode t .	[ME]
$y_t^{H,P}$	Zusätzliches Personal, das als Zweitfahrer in Periode t benötigt wird.	[ME]
s_{tl}	Zeitpunkt, zu dem Lieferant l in Periode t angefahren wird.	[h]
$u_{tlk} \geq 0$	Ladung des Lkws auf der Strecke zwischen Lieferant l und Lieferant k in Periode t .	[ME]

$$\sum_{k \in L} u_{tl0} = \sum_{l \in L} TB_{tl} + TB_{tl}^C \quad \forall t \in T \quad (7.16)$$

$$u_{tlk} \leq Q^V \cdot z_{tlk}^V \quad \forall t \in T, l, k \in L_0 \quad (7.17)$$

$$s_{tl} + S_{lk} - M \cdot (1 - z_{tlk}) \leq s_{tk} \quad \forall t \in T, l \in L_0 \quad (7.18)$$

$$s_{tl} \leq S^{MAX} \quad \forall t \in T, l \in L_0 \quad (7.19)$$

$$\sum_{k \in L} z_{t0k}^V = y_t^V \quad \forall t \in T \quad (7.20)$$

$$\sum_{l \in L} z_{tl0}^V = y_t^V \quad \forall t \in T \quad (7.21)$$

$$TB_{tw}^H \leq Q^H \cdot z_{tw}^H \quad \forall t \in T, w \in W \quad (7.22)$$

$$y_t^H = \sum_{w \in W} \sum_{\substack{\tau(w) \\ t-\tau \geq 0}} z_{(t-\tau)w} \quad \forall t \in T \quad (7.23)$$

$$y_t^{H,P} = \sum_{w \in W} \sum_{\substack{\tau(W) \\ t-\tau \geq 0}} \phi(w) \cdot z_{(t-\tau)w} \quad \forall t \in T \quad (7.24)$$

$$y_t^V = y^V + v_t \quad \forall t \in T \quad (7.25)$$

$$y_t^H = y^H + f_t \quad \forall t \in T \quad (7.26)$$

Entscheidungsvariablen:

$$z_{tlk}^V \in \{0, 1\} \quad t \in T, l, k \in L_0 \quad (7.27)$$

$$z_{tw}^H \in \mathbb{N}_0^+ \quad t \in T, w \in W \quad (7.28)$$

$$y_t^V, y_t^H \geq 0 \quad t \in T \quad (7.29)$$

$$v_t, h_t, y_t^{H,P} \in \mathbb{N}_0^+ \quad t \in T \quad (7.30)$$

$$y^V, y^H \in \mathbb{N}_0^+ \quad (7.31)$$

$$s_{tl} \geq 0 \quad t \in T, l \in L_0 \quad (7.32)$$

$$u_{tlk} \geq 0 \quad t \in T, l, k \in L_0 \quad (7.33)$$

Die Zielfunktion (Gleichung 7.8) minimiert die Fixkosten (FK) der Entscheidung der ersten Stufe und die variablen Kosten der Entscheidung der zweiten Stufe für den Vorlauf (VK), den Umschlag (UK) und den Hauptlauf (HK).

Die Fixkosten setzen sich aus den Fixkosten für die Bereitstellung der Vorlaufkapazitäten und den Fixkosten für die Bereitstellung der Hauptlaufkapazitäten zusammen (Gleichung 7.9). Die Kosten des Vorlaufs enthalten die Kosten für die Vorlauffahrten und die Kosten für die flexiblen Fahrzeugkapazitäten (Gleichung 7.10). Hiervon werden die ursprünglichen Kosten des Vorlaufs für das Drittgeschäft abgezogen. Die Umschlagskosten ergeben sich linear zu der umgeschlagenen Menge über das Konsolidierungszentrum (Gleichung 7.11). Die Hauptlaufkosten setzen sich aus den variablen Hauptlaufkosten der Pendelfahrten, vom Konsolidierungszentrum zu den Werken, den Kosten für die flexiblen Hauptlauffahrzeuge und den zusätzlichen Kosten für die Zweifahrer bei längeren Strecken zusammen.

Alle Lieferanten mit Ladungen in Periode t werden genau durch eine Vorlauftour angefahren (Gleichung 7.13) und abgefahren (Gleichung 7.14). Gleichung 7.15 zeigt die Ladungsbilanzgleichung des Lkws, der den Lieferanten l anfährt. Gleichung 7.16 garan-

tiert, dass alle Ladungen von allen Lieferanten am Konsolidierungszentrum ankommen. Die Lademenge auf einer Vorlauftour hat immer die Kapazität der Vorlauftourfahrzeuge mit der Kapazität Q^V einzuhalten (Ungleichung 7.17). Ungleichung 7.18 gibt eine formale Beschreibung zur Bestimmung des Zeitpunktes, an dem Lieferant j angefahren wird. Es muss für alle Vorlauftouren sichergestellt werden, dass die maximale Servicezeit nicht überschritten wird (Ungleichung 7.19). Die Anzahl der Vorlauftourfahrzeuge in Periode t ist y_t^V und entspricht genau der Anzahl der Vorlauftouren, die das Konsolidierungszentrum in Periode t verlassen (Gleichung 7.20) und ankommen (Gleichung 7.21).

Ungleichung 7.22 stellt sicher, dass die Transportkapazität der Hauptläufe den Transportbedarf der Hauptläufe zu decken hat. Dann lässt sich der Bedarf an Hauptlauftourfahrzeugen durch die Summation der Hauptläufe zu allen Werken ermitteln, die in Periode t starten oder gestartet sind und noch nicht im Konsolidierungszentrum zurück sind, wenn die Pendeltour der Hauptläufe länger als einen Tag dauert (Gleichung 7.23). Analog dazu wird der Bedarf für den Zweitfahrer kalkuliert, der nur bei entfernt gelegenen Werken anfällt (Gleichung 7.24).

Die Vorlauftourfahrzeuge in Periode t sind entweder zu Beginn des Planungszeitraumes oder erst in Periode t beschafft worden (Gleichung 7.25). Die Bestimmung der Hauptlauftourfahrzeuge ergibt sich gleichermaßen (Gleichung 7.26). Die Gleichungen 7.27 bis 7.33 definieren die Wertebereiche der Entscheidungsvariablen.

7.3. Lösungsheuristik

In diesem Abschnitt stellen wir ein heuristisches Lösungsverfahren zur Lösung des gemischt-ganzzahligen Modells 7.8 bis 7.33 vor, da sich das Optimierungsmodell nur für kleine Probleminstanzen exakt lösen lässt. Selbst für das Teilproblem der kapazitierten Tourenplanung konnten bisher nur Problemgrößen mit nur wenigen Dutzend Knoten in akzeptabler Zeit gelöst werden.¹⁸ Weiterhin spricht für eine Lösungsheuristik, dass in einer Gebietsauktion operative Tourenplanungsentscheidungen nicht exakt bestimmt werden müssen, da im operativen Betrieb für die Logistikdienstleister zusätzliche Restriktionen, wie die Beachtung von Zeitfenstern der Lieferanten, die Tourenplanung weiter erschweren. Ferner steht in der vorliegenden Arbeit das Gebietsallokationsproblem des Verladers im Vordergrund, sodass ein heuristischer Lösungsansatz dazu ausreichend ist, um das Verhalten der Logistikdienstleister annähernd abzubilden.

Anstelle eines integrierten Lösungsansatzes, bei dem alle Teilaspekte des Bewertungsproblems in einem einzigen Modell abgebildet werden,¹⁹ verfolgen wir im Folgenden den Ansatz einer Sukzessivplanung, die das Gesamtproblem in handhabbare

¹⁸Vgl. Toth und Daniele Vigo (2002), S. 510.

¹⁹Vgl. Kapitel 7.2.

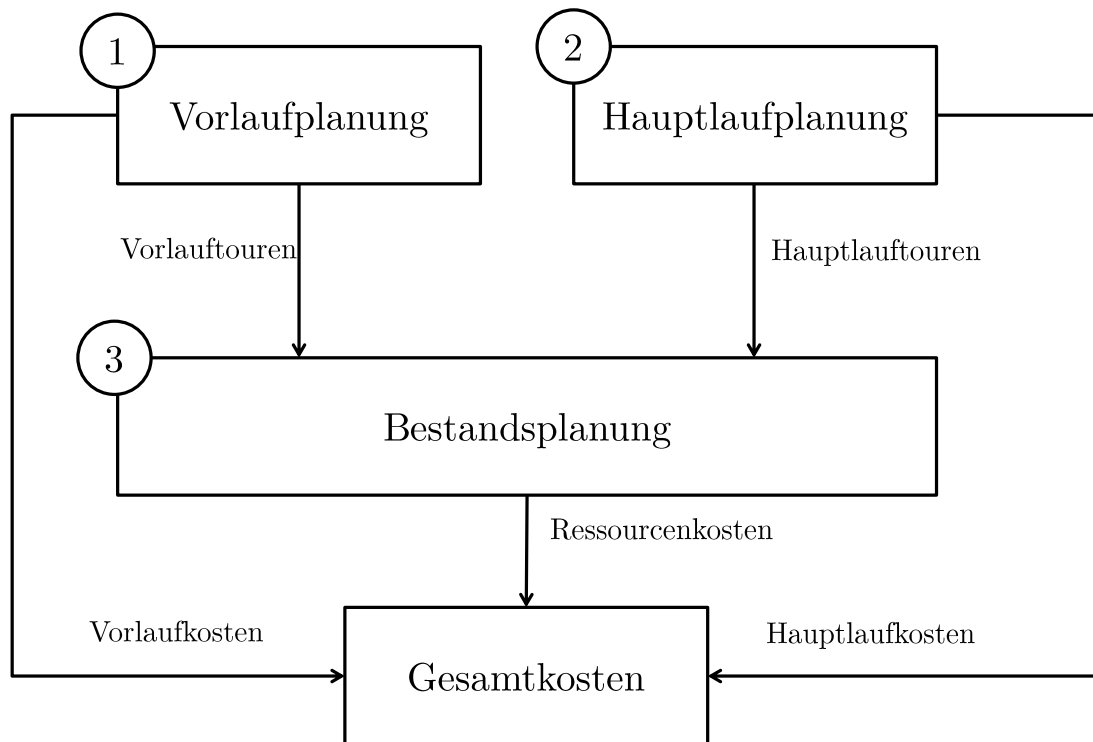


Abbildung 7.3.: Sukzessivplanung

Teilprobleme zerlegt und nacheinander löst.²⁰ Hierzu wird das Gesamtproblem in drei Planungsschritte unterteilt (siehe Abbildung 7.3.). Zuerst werden über die Vorlaufplanung und die Hauptlaufplanung die Touren ermittelt. Die Anzahl der Touren einer Periode ergeben damit auch die Bedarfe an Fahrzeugen pro Periode, die dann als Eingangsgröße in der Bestandsplanung eingeht. Die Gesamtkosten setzen sich dann aus den Vorlaufkosten der Vorlaufplanung, den Hauptlaufkosten der Hauptlaufplanung und den Kosten für die fixen und flexiblen Ressourcen aus der Bestandsplanung zusammen. Die ursprünglichen Vorlaufkosten des Drittgeschäftes sind von den Gesamtkosten herauszurechnen.

$$\text{Gesamtkosten} = \text{Ressourcenkosten} + \sum_{t \in T} \text{Vorlaufkosten}(t) + \text{Hauptlaufkosten}(t) - VC$$

Auf die einzelnen Planungsschritte wird nun näher eingegangen.

²⁰Vgl. auch Klein und Scholl (2011), S. 235 ff.

Vorlaufplanung

In der Vorlaufplanung werden für jede Periode die Vorlauftouren unabhängig voneinander gebildet. Zur Lösung des kapazitierten Tourenplanungsproblems der Vorlaufplanung in einer Periode wurden in der Literatur bereits zahlreiche exakte Verfahren, Eröffnungsheuristiken und Verbesserungsheuristiken entwickelt. Das wohl bekannteste Eröffnungsverfahren ist die Savingsheuristik, die auf die Arbeit von Clark und Wright zurückgeht.²¹ Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es leicht zu implementieren ist und akzeptable Lösungszeiten aufweist. Für die Vorlaufplanung wird ein leicht modifizierter Savingsalgorithmus benutzt, dessen Pseudo-Code in Algorithmus 2 angegeben ist.

Der Savingsalgorithmus fängt damit an, Pendeltouren $[0, l, 0]$ für jeden Knoten l zu bilden, und berechnet für jedes Paar der Knotenmenge $l, k \in L$ mit $l < k$ die Ersparnisse (*savings*), wenn beide Touren vereint werden können. Im Unterschied zum ursprünglichen Savingsverfahren berechnen wir zum einen die Savings nicht durch die Distanz, sondern durch die entfernungsabhängigen Kosten. Zum anderen wird zu allen Savings auch ein anteiliger Wert für die Fixkosten der Vorlaufkapazitäten ($\frac{F^V}{T}$) hinzugerechnet. Der Grund, die anteiligen Fixkosten in der Auswahlentscheidung zu berücksichtigen, ist, dass Kostensteigerungen bei der Tourenbildung in Kauf genommen werden sollen, wenn dadurch die anteiligen Fixkosten der Vorlauffahrzeuge eingespart werden können. Dadurch sollen weniger Touren gebildet werden als beim klassischen Savingsverfahren, um die Anzahl der Vorlauffahrzeuge weiter zu reduzieren.

Ein Element wird in die Liste *List* erst eingefügt, wenn durch die Verbindung zweier Touren Ersparnisse (Savings) erzielt werden. Nach der Ermittlung der potenziellen Savings wird die Liste *List* der Savings absteigend sortiert. Für jedes Element der Liste wird nacheinander geprüft, ob durch eine Tourenbildung die Restriktionen des Vorlaufs eingehalten werden. Falls die Prüfung positiv ist, wird die neue Tour gebildet und die neuen Vorlaufkosten berechnet. Das Savingsverfahren ist beendet, sobald die Liste der Savings abgearbeitet ist.

Das Ergebnis der Vorlaufplanung ist die Anzahl der Touren (y_t^V) und die Tourenkosten für jede Periode t .

Hauptlaufplanung

Die hier betrachteten Hauptläufe sind reine Pendeltouren zwischen dem Konsolidierungszentrum und den Werken des Verladers. Die erforderlichen Hauptläufe lassen sich für jede Periode t und jedes Werk w über das ganzzahlige Verhältnis zwischen den Transportbedarfen und den Transportkapazitäten des Hauptlaufs bestimmen:

²¹Vgl. Clarke und Wright (1964), S. 568 ff.

Algorithmus 2: Modifizierter Savingsalgorithmus

```

Tour ist leer
List ist leer
Vorlaufkosten(t) := 0
foreach l ∈ L do
    Füge [0, l, 0] in der Liste Tour hinzu
    Vorlaufkosten(t) := Vorlaufkosten(t) + c0l + ci0
    foreach k ∈ L do
        if l < k then
            s[l][k] := c0l + c0k − clk +  $\frac{F^V}{T}$ 
            if s[l][k] > 0 then
                Füge s[l][k] in Liste List hinzu
            end
        end
    end
end
Sortiere Liste List absteigend
solange List nicht leer tue
    Entnimm erster Element sqr von L
    if
        1. Knoten q und r sind Endknoten zwei verschiedener Touren
        2. Ladung der erweiterten Tour ≤ QV
        3. Die Zeitdauer der erweiterten Tour ist ≤ SMAX
    then
        Verbinde Tour von h und k
        Vorlaufkosten(t) := Vorlaufkosten(t) − c0l + c0k − clk
    end
Ende

```

$$z_{tw}^H = \left\lceil \frac{TB_{tw}}{Q^H} \right\rceil \quad \forall t \in T$$

Die Gesamtzahl an Hauptlaffahrzeugen in Periode *t* ist dann die Summe an Hauptläufen, die in Periode *t* unterwegs sind (siehe auch Gleichung 7.23):

$$y_t^H = \sum_{w \in W} \sum_{\substack{\tau=0 \\ t-\tau \geq 0}}^{\tau(w)} z_{(t-\tau)w} \quad \forall t \in T$$

Analog dazu ergibt sich der Bedarf an Zweitfahrern in Periode t (siehe auch Gleichung 7.23):

$$y_t^{H,P} = \sum_{w \in W} \sum_{\substack{\tau=0 \\ t-\tau \geq 0}}^{\tau(W)} \phi(w) \cdot z_{(t-\tau)w} \quad \forall t \in T$$

Die variablen Hauptlaufkosten in Periode t bestimmen sich dann aus den Kosten der Hauptläufe und den Kosten für die Zweitfahrer:

$$\text{Hauptlaufkosten}(t) = \sum_{w \in W} c_w \cdot z_{tw}^H + C_p \cdot y_t^{H,P}$$

Bestandsplanung

Die Bestandsplanung erhält für jede Periode von der Vorlaufplanung den Bedarf an Fahrzeugeinheiten im Vorlauf²² (y_t^V) und von der Hauptlaufplanung den Bedarf an Fahrzeugeinheiten im Hauptlauf (y_t^H). Das Ziel der Bestandsplanung ist es, den fixen und flexiblen Bestand an Fahrzeugeinheiten festzulegen.

Die hier betrachtete Bestandsplanung kann als ein statisches Flottenbestandsplanungsproblem begriffen werden,²³ um die fixen und flexiblen Mengen der beiden Bestandsarten zu bestimmen. Das statische Bestandsplanungsproblem wurde von Gould (1969) durch ein Lineares Programmierungsmodell abgebildet. Mit den Daten und Variablen aus Tabelle 7.5. lautet das Optimierungsmodell folgendermaßen:

$$\text{Minimiere} \quad F \cdot y + V \cdot \sum_{t \in T} x_t + H \cdot \sum_{t \in T} h_t \quad (7.35)$$

²²Dieser wird über die Anzahl der Vorlauftouren bestimmt.

²³Vgl. Kapitel 3.2.

<u>Daten:</u>	
F	Fixkosten für den Aufbau einer fixen Flottenkapazität.
V	Variable Kosten für den Einsatz der fixen Flotte.
H	Mietkosten für den Einsatz der flexiblen Flotte.
<u>Variablen:</u>	
y	Höhe der fixen Flottenkapazität.
x_t	Eingesetzt fixe Flotte in Periode t .
h_t	Abgerufene flexible Flotte in Periode t .

Tabelle 7.5.: Daten und Variablen des statischen Flottenbestandsplanungsmodells

unter den Nebenbedingungen

$$x_t + h_t = D_t \quad \forall t \in T \quad (7.36)$$

$$x_t \leq y \quad \forall t \in T \quad (7.37)$$

$$y \in \mathbb{N}_0^+ \quad (7.38)$$

$$x_t, h_t \geq 0 \quad \forall t \in T \quad (7.39)$$

Die Zielfunktion minimiert die Summe der Fixkosten für den Aufbau von fixen Flottenkapazität, der variablen Kosten für die Nutzung der fixen Flotten und der Mietkosten für den Einsatz von flexiblen Flotten (7.35). Der Flottenbedarf in Periode t wird durch fixe Flotten und durch flexible Flotten gedeckt (Gleichung 7.36). Die in Periode t eingesetzte fixe Flotte darf die fixe Flottenkapazität nicht übersteigen. Die fixe Flottenkapazität ist so zu bestimmen, dass eine optimale Balance zwischen dem fixen und dem flexiblen Flottenbestand erreicht wird, und die fixe Flottenkapazität nur ganzzahlige Werte annimmt (Definition 7.38).

Um das Modell für die Vorlaufkapazitäten und die Hauptlaufkapazitäten anzuwenden sind die entsprechenden Kosten aus Tabelle 7.6. zu wählen .

Variable	F	V	H
y_t^V	F^V	0	C_v
y_t^H	F^H	0	C_h

Tabelle 7.6.: Belegung der Kostenwerte

Im Gegensatz zum ursprünglichen statischen Flottenbestandsplanungsmodell wird der Einsatz der fixen und flexiblen Flotten in der Vorlaufplanung und Hauptlaufplanung getrennt betrachtet, wobei davon ausgegangen wird, dass die Kosten der Nutzung

für beide Kapazitätsarten identisch sind. Da die variablen Kosten für den Einsatz der fixen Flotte schon in der Vorlaufplanung und Hauptlaufplanung kalkuliert werden, sind diese Kosten in der Bestandsplanung mit null anzusetzen.

Das Modell 7.35 bis 7.39 ist einmal für die Vorlaufkapazitäten und einmal für die Hauptlaufkapazitäten zu lösen. Dadurch werden die entsprechenden Werte für die fixen Ressourcen ermittelt ($y^V = y$ bzw. $y^H = y$). Die Menge an flexiblen Transportressourcen beträgt dann im Vorlauf $\text{Max}(y_t^V - y^V, 0)$ bzw. im Hauptlauf $\text{Max}(y_t^H - y^H, 0)$.

Die Ressourcenkosten ergeben sich dann insgesamt über folgende Formel:

$$\begin{aligned} \text{Ressourcenkosten} &= F^V \cdot y^V + F^{H,F} \cdot y^{H,F} \\ &+ \sum_{t \in T} C_v \cdot \text{Max}(y_t^V - y^V, 0) \\ &+ \sum_{t \in T} C_h \cdot \text{Max}(y_t^H - y^H, 0) \end{aligned}$$

8. Numerische Analyse

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 6 entwickelten Auktionsverfahren mit bereits existierenden Auktionsverfahren mittels numerischer Simulation verglichen. Kapitel 8.1. beschreibt den Aufbau der Simulationsumgebung. In Kapitel 8.2. werden die Ergebnisse der numerischen Untersuchung diskutiert.

8.1. Aufbau der Simulationsumgebung

Der Aufbau der Simulationsumgebung ist in Abbildung 8.1. skizziert. Die Simulationsumgebung gliedert sich in drei Bereiche: die Generierung von Vergabeszenarien, die Durchführung der Auktionsprozesse und die Evaluierung der Auktionsverfahren. Durch ein Generierungsprogramm werden künstliche Vergabeszenarien erzeugt, die den Input für das Auktionssystem geben (Abschnitt 8.1.2.). Das Auktionssystem implementiert die verschiedenen Auktionsverfahren unter den gegebenen Vergabeszenarien (Abschnitt 8.1.3.). Für die Evaluierung der in der Simulation analysierten Auktionsverfahren werden die Ergebnisinformationen ausgewertet, die über den Verlauf der Simulationsexperimente gesammelt werden (Abschnitt 8.1.4.). Bevor wir den Simulationenaufbau im Detail erklären, beginnen wir damit, die technische Systemumgebung zu beschreiben.

8.1.1. Systemumgebung

Alle Optimierungsmodelle und Lösungsalgorithmen sind Teil einer gemeinsamen Simulationsumgebung, die in der Programmiersprache C# mit der Entwicklungsumgebung von Microsoft Visual Studio 2010 unter dem .NET Framework der Version 4.0 implementiert wurde. Zur Modellierung der Optimierungsmodelle wurde das Optimization.Framework benutzt, ein Framework für Optimierungsmodelle, das am DSOR Lehrstuhl der Universität Paderborn entwickelt wurde. Alle ganzzahligen und gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodelle wurden mit dem mathematischen Optimierungssolver von Gurobi in der Version 5.0 gelöst. Sämtliche Input- und Output-Daten der Simulationen wurden mit dem Datenbankmanagementsystem Microsoft Access 2010 verwaltet. Zur Generierung von geografischen Daten wurde der Webservice-Dienst des Kartendienstes von BingMaps eingesetzt.

Alle numerischen Tests wurden auf einem Server mit einem Intel Xeon 6-Kern-Prozessor mit 2,26 Gigahertz und 6 Gigabyte Arbeitsspeicher unter dem Windows Server 2007 Betriebssystem der 64-bit Version mit Service Pack 2 ausgeführt.

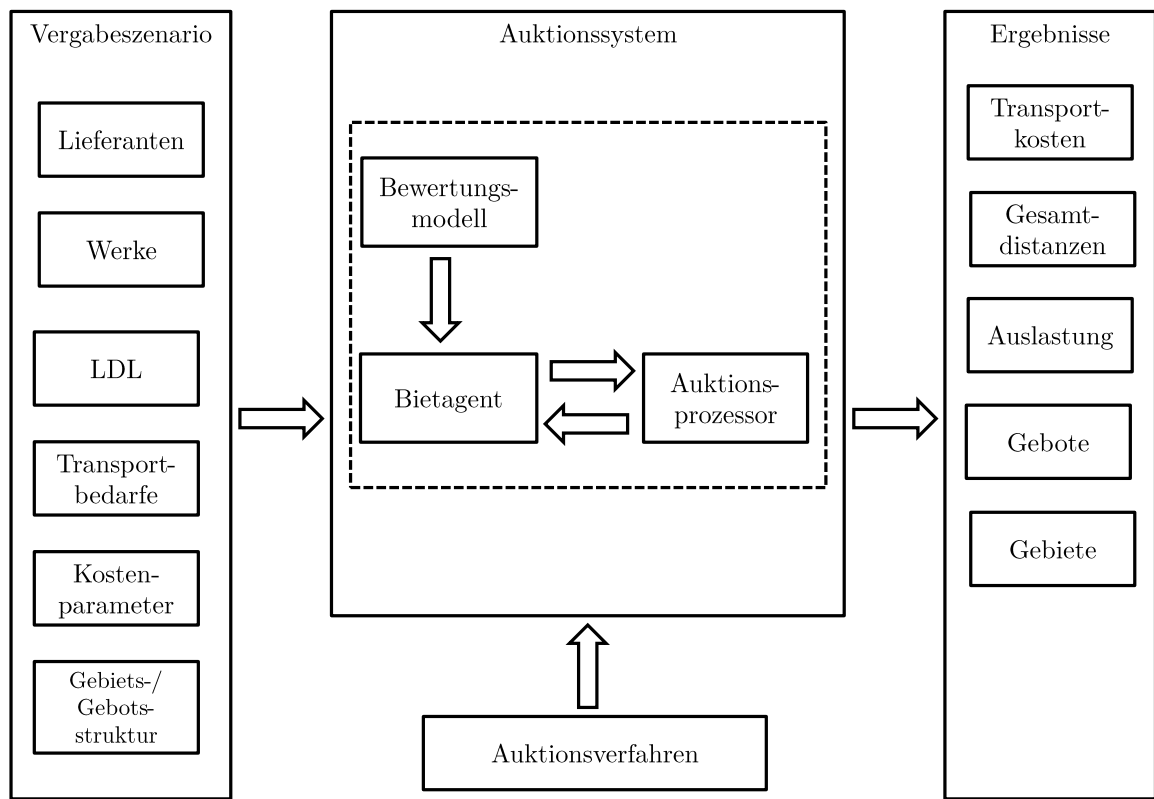


Abbildung 8.1.: Simulationsumgebung

8.1.2. Generierung von Vergabeszenarien

Ein Vergabeszenario wird durch sechs Objekte vollständig spezifiziert: Die betreffenden Objekte sind die Objekte der Lieferanten, der Werke, der Logistikdienstleister, der Transportbedarfe, der Kostenparameter der Logistikdienstleister und der Gebiets- bzw. Gebotsstruktur. Wir werden im Weiteren beschreiben, wie diese Objekte für die Zwecke der Simulation generiert werden.

Die Lieferanten L , Werke W und die potenziellen Logistikdienstleister I bilden gemeinsam die Lokationen des zugrunde liegenden Netzwerkes. Für die Generierung der Lokationsdaten des Logistiknetzwerkes werden die geografischen Koordinaten zufällig auf einer Karte festgelegt. Es seien (r_{lon}, r_{lat}) die Koordinaten einer Lokation, dann ist die geografische Breite der Koordinate gleichverteilt mit $r_{lon} \sim U(\min Lon, \max Lon)$ und analog dazu ist die geografisch Länge gleichverteilt mit $r_{lat} \sim U(\min Lat, \max Lat)$. Die Koordinaten der Lokationen werden zusätzlich auf Sinnhaftigkeit (z. B. korrekte Adresse, Zugang der Adresse zum Straßennetz) über den Kartendienst überprüft.

Die Transportbedarfe beschreiben auf den Lieferant-Werk-Relationen die erforder-

lichen Transporte im Betrachtungszeitraum T . Die Schwierigkeit der Modellierung der Transportbedarfe besteht darin, dass seitens der Verlader Transportlose gebildet werden, sodass der Verlader bereits seinerseits Materialien gebündelt bei seinen Lieferanten bestellt. Eine gängige Methode zur Modellierung von Bedarfen im Produktions- und Beschaffungsumfeld ist die Beschreibung der Bedarfe durch einen stochastischen Prozess, der sich als Produkt von zwei unabhängigen Zufallsvariablen modelliert. In Anlehnung an Syntetos und Boylan (2001) modellieren wir den Transportbedarf als ein Produkt zweier Zufallsvariablen:¹

$$TB_{tlw} = TB_{tlw}^{Abruf} \cdot TB_{tlw}^{Menge} \quad \forall t \in T, l \in L, w \in W$$

Die Höhe der Transportbedarfe TB_{tlw} zum Zeitpunkt t auf der Relation zwischen dem Lieferanten l und dem Werk w bestimmt sich durch den Abruf TB_{tlw}^{Abruf} und durch die Transportmenge TB_{tlw}^{Menge} . Der Abruf ist als eine Bernoulli-verteilte Zufallsvariable mit $TB_{tlw}^{Abruf} \sim B(\theta)$ modelliert. Das Ereignis eines Abrufs ($TB_{tlw}^{Abruf} = 1$) tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von θ (Abrufwahrscheinlichkeit) ein. Die Wahrscheinlichkeit, dass es keinen Abruf gibt und dementsprechend $TB_{tlw} = 0$ ist, tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \theta$ ein. Die Transportmenge im Abruffall bestimmt sich durch die Normalverteilung mit $TB_{tlw}^{Menge} \sim N(\mu; \sigma)$.

Die Kostenparameter der Simulation werden durch den Parameter der Fixkosten c_f und den Parameter der variablen Kosten c_v bestimmt. Als Kosteninformationen verwenden wir die Kostenangaben von Müller und Klaus (2009). Die Zusammensetzung der Kostenkomponenten der Fixkosten ist in Tabelle 8.1. und die Zusammensetzung der Kostenkomponenten der variablen Kosten ist in Tabelle 8.2. zusammengetragen.

Fixe Fahrzeugkosten	13.570	[€/a]
Finanzierungskosten	2.850	[€/a]
Kfz-Steuer	914	[€/a]
Kfz-Versicherung	4.000	[€/a]
Dispositionskosten	1.200 ²	[€/a]
Personalkosten	44.538	[€/a]
Reparatur/Wartungskosten	5.200	[€/a]
Summe	72.272	[€/a]
Fixkosten pro Tag C_{fix}	200,73	€
Fixkosten Personal pro Tag C_{fix}^P	123,70	€

Tabelle 8.1.: Fixkosten

¹Vgl. Syntetos und Boylan (2001), S. 461.

²Abweichend von Müller und Klaus (2009) beinhaltet dieser Kalkulationswert keine Verwaltungs-

Variable Kosten pro km		
Treibstoff	0,3969 ³	[€/km]
Mautgebühr	0,0960	[€/km]
Reifenkosten	0,0160	[€/km]
Schmierstoffkosten	0,0120	[€/km]
Summe	0,5209	[€/km]
Variable Kosten (C_{var})	0,5209	[€/km]

Tabelle 8.2.: Variable Kosten

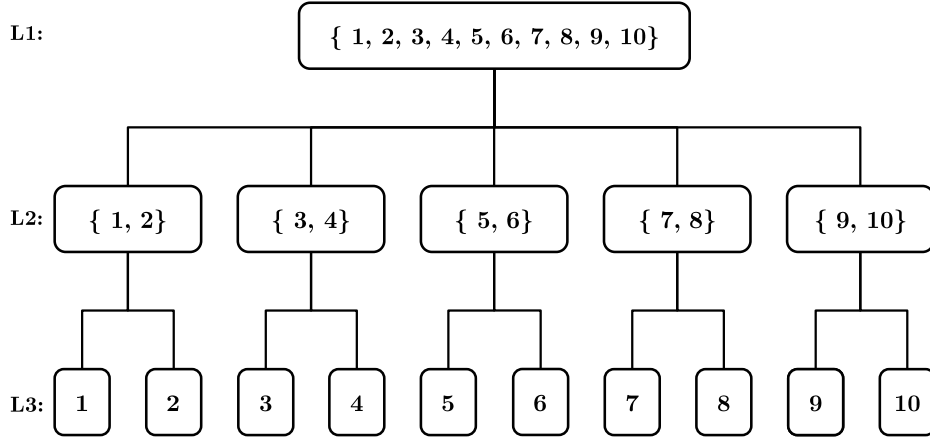
Modellparameter	Zuordnung	Einheit
F^V	$C_{fix} \cdot T$	[€]
F^H	$C_{fix} \cdot T$	[€]
u	0	[€/to]
$c_{ll'}$	$C_{var} \cdot D_{ll'}^L$	[€]
c_w	$C_{var} \cdot D_{lw}^H$	[€]
C_v	$1,3 \cdot C_{fix}$	[€/Lkw/Tag]
C_h	$1,3 \cdot C_{fix}$	[€/Lkw/Tag]
C_p	$1,3 \cdot C_{fix}$	[€/Tag]
TB_{tl}	TB_{tlw}	[to]
TB_{tl}^C	0	[to]
Q^V	26	[to]
Q^H	26	[to]
P_w	1, falls $D_{lw}^H > 600$, ansonsten 0.	
$S_{ll'}$	$S_{ll'}$	[Stunde]
$\tau(w)$	1, falls $D_{lw}^H > 300$, ansonsten 0	[Tage]
S_{MAX}	10	[Stunden]

Tabelle 8.3.: Eingabedaten der Lösungsheuristik für das *Bewertungsmodell*.⁴

Die Berechnung der Kosten eines Logistikdienstleisters i für ein beliebiges Gebiet $G' \subseteq G$ wird durch den Lösungsalgorithmus in Kapitel 7.3. bestimmt. Alle Kostenparameter für die Lösungsheuristik sind in Tabelle 8.3. in Abhängigkeit den zuvor definierten Werten für das Vergabeszenario angegeben. Die Kosten für die flexiblen Ressourcen wurden mit einem Aufschlag von 30 % zu den anteiligen Fixkosten der Ressourcen angesetzt. Die erforderlichen Transportdistanzen und Transportdauer werden durch die zeitlich kürzeste Route zwischen den Lokationen durch den Kartendienst berechnet.

kosten.

⁴ D_{ij}^L ist die Distanzmatrix zwischen den Lieferanten. D_{lw}^H ist die Distanzmatrix der Hauptlaufent-

Abbildung 8.2.: Gebotsstruktur für $\bar{G} = 10$ und $N = 5$

Die Gebietsstruktur teilt das Logistiknetzwerk des Verladers in insgesamt \bar{G} Gebiete auf. Die Vorstrukturierung des Logistiknetzwerkes in Gebiete dient dazu, die Gebotsabgabe der Logistikdienstleister zu vereinfachen. Jedem Gebiet $g \in G = \{1, \dots, \bar{G}\}$ ist in einem Vergabeszenario eine feste Menge von Lieferanten zugeordnet, von denen die Transporte zu den verschiedenen Werken abgehen.

Die Gebotsstrukturen der Gebietsauktion ergeben sich durch die Gebietsstruktur des Logistiknetzwerkes, auf die dann die Logistikdienstleister Gebote abgeben können. Wir unterscheiden drei Stufen von Gebotsstrukturen:

- Die erste Stufe $L_1 = \{\{1, \dots, \bar{G}\}\}$ enthält genau ein Gebotselement, das das Gebot für das gesamte Gebiet darstellt.
- Die zweite Stufe $L_2 = \{\{1, \dots, \bar{G}_1\}, \{\bar{G}_1 + 1, \dots, \bar{G}_2\}, \dots, \{\bar{G}_{N-1} + 1, \dots, \bar{G}\}\}$ besteht aus genau N Gebotselemente. Jedes Element von L_2 enthält gleich viele Gebiets-elemente. Es gilt außerdem, dass die Anzahl der Gebote N ein Teiler von der gesamten Anzahl der Gebiet \bar{G} zu sein hat.
- Die dritte Stufe $L_3 = \{\{1\}, \{2\}, \dots, \{\bar{G}\}\}$ beinhaltet genau \bar{G} Gebotselemente, wobei jedes Gebotselement einem Gebiet entspricht.

fernungen vom LDL l zu den Werken. $S_{ll'}$ ist die Servicezeit zwischen zwei Lieferanten l und l' . In den Simulationen werden keine Drittgeschäfte beachtet.

Es ist zu beachten, dass die Gebotsselemente der drei Stufen verschachtelt aufgebaut sind. Durch die Verschachtelung der drei Gebotsstrukturen ergibt sich eine hierarchische Struktur, die in Abbildung 8.2. an einem Beispiel dargestellt ist. Abhängig vom Auktionsverfahren sind Gebote auf unterschiedlichen Gebotsstrukturen möglich.

Um die beschriebene Gebiets- und Gebotsstruktur für das Logistiknetzwerk aufzubauen, verwenden wir das p -Median-Modell.⁵ Wir setzen das p -Median-Modell dafür ein, um auf Basis der Transportbedarfe die transportkostenkilometeroptimale Zuordnung von Lieferanten zu Logistikdienstleistern abzuleiten. Jeder Median, dem verschiedene Logistikdienstleister zugeordnet sind, bildet jeweils ein Gebiet. In einem ersten Schritt werden die Gebiete für die L_2 Gebotsstruktur festgelegt, in dem N -Mediane durch das Optimierungsmodell bestimmt werden. Für jedes der im ersten Schritt entstandenen Gebiete wird das p -Median-Modell dann erneut angewendet, um daraus $\frac{N}{G}$ -Mediane zu bestimmen. Wir erhalten dadurch die hierarchische Gebotsstruktur mit insgesamt \overline{G} Gebieten.

8.1.3. Auktionssystem

Nach Pikovsky (2008) besteht eine Simulationsinstanz eines Auktionssystems aus der Kombination eines Bewertungsmodells, eines Bietagenten und eines Auktionsprozessors, siehe auch Abbildung 8.1.⁶

Das *Bewertungsmodell* definiert eine Bewertungsfunktion, um für alle möglichen Gebietsbündel realistische Bewertungen aller Bieter zu berechnen. Eine gängige Methode der Preisbestimmung ist die kostenorientierte Preisbildung, die die Preise auf Basis der Kosten zuzüglich eines Gewinnaufschlags modelliert.⁷ Wir verwenden in unseren Simulationen zur Bestimmung der Gebotspreise die kostenorientierte Preisbestimmung, bei der wir davon ausgehen, dass jeder Bieter mit einem festen Gewinnaufschlag rechnet, der die Marge seiner Geschäftstätigkeiten darstellt. Das Kostenmodell des Bewertungsmodells wurde bereits in Kapitel 7 beschrieben, das für jedes Gebiet die Kosten des Bieters berechnet. Somit ergibt sich der Preis für das Gebot B_{ij} durch $p_{ij} = (1 + \pi_i) \cdot c_{ij}$, wobei c_{ij} die Kosten des Gebietes G_{ij} für den Logistikdienstleister i sind und π_i der feste Gewinnaufschlag des Logistikdienstleisters i ist. Es wird angenommen, dass die Gewinnaufschläge der Logistikdienstleister mit $\pi_i \sim U(0, \pi_{max})$ gleichverteilt sind.

Eine Besonderheit der Gebietsauktion für das Gebietsspeditionssystem ist, dass für ein Gebiet nicht Gesamtpreise, sondern Transporttarife abgegeben werden. In den Simulationen werden die Transportpreise mit Haus-zu-Haus-Tarifen modelliert, indem für jede Transportbeziehung zwischen einem Lieferanten und einem Werk der entsprechende Frachttarif angewendet wird. Hierfür werden die Transporttarife des Tarifwer-

⁵Vgl. Kapitel 3.1.

⁶Vgl. Pikovsky (2008), S. 73 ff.

⁷Vgl. An u. a. (2005) und die dort verwiesene Literatur zur Methodik des Gewinnaufschlages.

kes für den Güterfernverkehr mit dem Stand zum 1.1.1992 genutzt.⁸ Es sei $Tarif(G_{ij})$ die Summe der Tarifpreise für alle Transportbedarfe aus dem Gebiet G_{ij} nach dem Güterferntarif. Die Tarifmarge α_{ij} von Bieter i für das Gebiet G_{ij} berechnet sich dann wie folgt:

$$\alpha_{ij}(G_{ij}) = \frac{p_{ij}}{Tarif(G_{ij})} \quad (8.1)$$

Die Tarifmarge ergibt sich als Relation des Gesamtpreises zum Tarifpreis des Güterferntarifes. Somit reicht aus, dass in den Simulationen die Bieter für alle Gebiete eines Gebotes nur eine Tarifmarge abgeben, mit der der Gesamtpreis sowie die Kosten der Transportbedarfe berechnet werden. Der jeweils abgegebene Transporttarif ist einheitlich für das gesamte Gebiet G_{ij} gültig, d. h. für alle Transportbedarfe innerhalb des Gebietes wird der gleiche Transporttarif angewendet.

Die *Bietagenten* setzen eine Bietstrategie für das Bewertungsmodell unter der Beachtung der Beschränkungen der spezifischen Auktionsverfahren um. Es wird bei den Simulationen drei Arten von Bieterverhalten der Bietagenten unterschieden:

1. *Einfache Bieter*: Diese Bieter bieten nur auf Einzelgebote und vordefinierte Bündelgebote der ihnen zugeordneten Gebotsstruktur.
2. *Vollständige Bieter*:⁹ Diese Bieter bieten Gebote auf alle möglichen Kombinationen von Bündeln.
3. *Selektive Bieter*: Diese Bieter bieten sowohl auf Einzelgebote als auch auf Bündelgebote. Anders als zu den vollständigen Bietern geben diese Bieter nur eine kleine Auswahl von Bündelgeboten ab.

An u. a. (2005) schlagen zwei Bietstrategien für die Auswahl von Bündelgeboten vor. Die erste Strategie (*internal-based-strategy*) richtet die Auswahl der Gebiete nach dem Deckungsbeitrag, der durch das betreffende Bündel generiert wird. Der Nachteil dieser Strategie ist, dass bei einer kostenorientierten Preisbildungsmethode Gebiete mit hohen Kosten bevorzugt werden. Dieser Ansatz würde daher Gebiete, in denen ein Logistikdienstleister eine ungünstige Kostenstruktur hat, bevorzugen und damit zu ineffizienten Auktionsergebnissen führen. Die zweite Strategie (*competition-based-strategy*) berücksichtigt bei der Auswahl der Gebiete die Preise anderer Wettbewerber. Diese Strategie bedingt, dass die Preise anderer Anbieter bekannt sind. Preistransparenz ist allerdings bei Transportauktionen gemäß der Charakterisierung von Caplice und Sheffi (2003) nicht gegeben.¹⁰

⁸Vgl. o. V. (2005), S. 8 ff.

⁹In Pikovsky (2008) wird es *power-set bidder* genannt.

¹⁰Vgl. Caplice und Sheffi (2003), S. 551 ff.

Wir schlagen für das Selektionsverfahren vor, die Auswahl der Gebiete anhand der relativen Kosten zu treffen, und verwenden als Auswahlkriterium die Tarifr-marge von Gleichung 8.1. Der Vorteil, die Tarifr-marge als Auswahlkriterium zu nutzen, ist, dass dadurch Logistikdienstleister Gebiete mit geringen Tarifr-margen auswählen, sodass Gebote mit effizienten Kostenstrukturen abgegeben werden.

Der Pseudo-Code für die selektive Auswahl von Bündelgeboten wird in Algorithmus 3 beschrieben. Das Verfahren beginnt damit, dass alle Einzelgebiete in die Gebotsauswahl des Logistikdienstleisters aufgenommen werden. Danach wird aus allen potenziellen Geboten das Gebot b mit der kleinsten Tarifr-marge als aktuell bestes Gebot ausgewählt. Das aktuell beste Gebot b wird in jeder Iteration mit dem Gebiet $g \in G \setminus b$ erweitert, das die minimale Tarifr-marge besitzt, und in die Auswahl der Logistikdienstleister aufgenommen. Dieser Auswahlprozess wiederholt sich solange, bis die Tarifr-marge von b steigt. Am Ende des Auswahlprozesses werden alle Bündel der Gebotsauswahl als Gebote der Logistikdienstleister abgegeben.

Algorithmus 3: Selektive Bündelgenerierung

```

foreach  $g \in G$  do
  |  $\rightarrow$  Gebotsauswahl( $g$ )
end
aktuell_bester_wert  $:= \min_{g \in G} (\frac{Kosten(g)}{GFT(g)})$ 
 $B := \operatorname{argmax}_{g \in G} (\frac{Kosten(g)}{GFT(g)})$ 
bester_wert  $:= M$ 
repeat
  | aktuell_bester_wert  $:= \min_{g \in G \setminus b} (\frac{Kosten(b \cup \{g\})}{GFT(b \cup \{g\})})$ 
  |  $b := b \cup \{\operatorname{argmax}_{g \in G \setminus b} (\frac{Kosten(b \cup \{g\})}{Tarif(b \cup \{g\})})\}$ 
  |  $\rightarrow$  Gebotsauswahl( $b$ )
  | if aktuell_bester_wert  $<$  bester_wert then
  | | bester_wert  $:=$  aktuell_bester_wert
  | end
until aktuell_bester_wert  $>$  bester_wert;

```

Der *Auktionsprozessor* implementiert die Logik eines spezifischen Auktionsverfahrens für ein Vergabeszenario. Es sorgt dafür, dass die Regeln der Auktionsverfahren eingehalten, die kostenoptimalen Allokationen berechnet und die lineare Gleichgewichtspreise bestimmt werden.¹¹ Für die Evaluierung der Auktionsverfahren werden die Auktionsergebnisse durch den Auktionsprozessor gesammelt.

¹¹Gleichgewichtspreise sind nicht Gegenstand bei unseren numerischen Untersuchungen.

8.1.4. Auktionsverfahren

In Tabelle 8.4. sind alle Auktionsverfahren, die in der numerischen Studie untersucht werden, und deren Charakteristika zusammengestellt.

Auktionsverfahren	Bieterverhalten	Bietstruktur	Min. Kombi- nationen	Max. Kombi- nationen	Nachge- lagerte einfache Auktion
CHERRY-PICKING	Selektiv	Beliebig	\overline{G}	$2^{\overline{G}-1}$	ja
EINFACH	Einfach	nur L2	N	N	
EINFACH M. BED.	Einfach	nur L3	\overline{G}	\overline{G}	ja
HIERARCHIE	Einfach	L1,L2, L3	$\overline{G} + N + 1$	$\overline{G} + N + 1$	
HYBRID	Selektiv	Beliebig	1	$2^{\overline{G}-1}$	
HYBRID PASSIV	Selektiv	Beliebig	1	$2^{\overline{G}-1}$	
KOM. AUKTION	Selektiv	Beliebig	\overline{G}	$2^{\overline{G}-1}$	
KOM. AUKTION M. BED. G.	Selektiv	Beliebig	\overline{G}	$2^{\overline{G}-1}$	ja
KOM. AUKTION M. VOLL. G.	Vollständig	Beliebig	$2^{\overline{G}-1}$	$2^{\overline{G}-1}$	

Tabelle 8.4.: Übersicht Auktionsverfahren

Die herkömmliche Vergabeform von Gebietsspeditionsleistungen sind einfache Bündelauctionen, bei denen der Verlader im Vorfeld der Auktion die Gebietsstruktur festlegt (EINFACH). Bieter können bei diesem Auktionsverfahren daher nur auf eine vordefinierte Struktur Gebote abgeben. Dazu wird in den Simulationen die Gebotsabgabe der Bieter auf die Gebotsstruktur $L2$ beschränkt. Die Gesamtzahl der Gebote, die ein Bietagent bei diesem Auktionsverfahren abgibt, ist exakt die Menge der vordefinierten Bündelgebiete N .

Vergleichbar zur einfachen Auktion sind einfache Auktionen mit Bedingungen (EINFACH M. BED.). Im Unterschied zu einfachen Auktionen werden bei diesem Auktionsverfahren die Gebiete nicht im vornherein festgelegt, sodass die Bieter einzelne Gebote auf fein-granularer Ebene abgeben können. Nach Abgabe der Gebote bestimmt der Auktionator die Gebietsallokation durch die Einhaltung einer vorher festgelegten Geschäftsregel. Diese Form der Gewinnerermittlung wurde durch das Freight Cost Minimization Modell in der Arbeit von Moore u. a. (1991) beschrieben. Für die Simulationen dieses Auktionsverfahrens geben die Bietagenten \overline{G} Gebote der Gebotsstruktur $L3$ ab. Um die Vergleichbarkeit mit der einfachen Auktion herzustellen, wird das Gewinnerermittlungsproblem durch die Beschränkung der Logistikdienstleister auf maximal N Logistikdienstleister gelöst. Da bei der Gebotsabgabe die Kosten nur für jedes Gebiet

separat kalkuliert werden, wird in Anschluss an die Gewinnerermittlung eine einfache Auktion für die Gebietsstruktur der optimalen Gebietsallokation durchgeführt (nachgelagerte Einzelauktion), damit die Logistikdienstleister ihre Synergieeffekte der gebündelten Gebiete ausdrücken können.

Die hierarchische Auktion ist eine Erweiterung der einfachen Auktion, die Gebote für verschachtelte Gebietsstrukturen erlaubt. Dieses Auktionsverfahren wurde in der Arbeit von Pekec und Rothkopf (2003) beschrieben. Zur Simulation dieses Auktionsverfahrens geben die Bietagenten Gebote für die Gebotsstrukturen $L1$, $L2$ und $L3$ ab. Die Anzahl der abgegebenen Gebote pro Bieter betragen insgesamt $\bar{G} + N + 1$.

Das Auktionsverfahren CHERRY-PICKING ist dadurch charakterisiert, dass Logistikdienstleister Bündelgebote abgeben können,¹² indem sie auf beliebige Bündel von Gebieten Gebote abgeben. Das Bietverhalten der Logistikdienstleister wird durch selektive Bieter modelliert, die nur eine begrenzte Auswahl an Geboten erzeugen. Nach Algorithmus 3 werden somit mindestens alle Einzelgebote offenbart. Im Unterschied zu den kombinatorischen Auktionsverfahren wird beim CHERRY-PICKING nicht das Alles-oder-nichts-Prinzip eingehalten, das die Einheit des Bündelgebotes garantiert. Stattdessen werden die Gebote für jedes Gebiet unabhängig voneinander ausgewertet, wobei das Gebot den Zuschlag erhält, das die geringsten Teilpreise für das Gebiet besitzt.¹³ Um die wahren Kosten der Gebietsallokation für das CHERRY-PICKING zu bewerten, wird anschließend eine einfache Auktion dieser Gebietsallokation durchgeführt.

Im Unterschied zu den einfachen Auktionen erlauben kombinatorische Auktionen, dass Bieter Bündelgebote abgeben können und die Einheit der Bündelgebote in der Auswertung des Auktionsverfahrens berücksichtigt wird. Die einfachste Form der kombinatorischen Auktion sind geschlossene Bündelauktionen mit einer Runde. Zur Simulation der Grundform der kombinatorischen Auktion werden die kombinatorische Auktion (KOM. AUKTION) und die kombinatorische Auktion mit vollständigen Geboten (KOM. AUKTION M. VOLL. G.) unterschieden. Es handelt sich bei beiden Auktionen um das gleiche Auktionsverfahren mit dem Unterschied, dass bei der kombinatorischen Auktion KOM. AUKTION die Bieter selektiv Gebote abgeben und bei KOM. AUKTION M. VOLL. G. die Bieter vollständige Gebote abgeben.

Die kombinatorische Auktion mit bedingten Geboten (KOM. AUKTION M. BED. G.) erweitert die Gebotsabgabe von kombinatorischen Auktionen, indem von einem Gebot ausgehend die Preise für einzelne Gebiete neu bepreist werden können.¹⁴ Zur Simulation dieses Auktionsverfahrens geben die Bieter für jedes Gebot bedingte Einzelgebote zu allen Gebieten ab. Im Anschluss an die Gewinnerermittlung mit bedingten Einzelgeboten ist vorgesehen, dass für die ermittelte optimale Gebietsallokation erneut eine einfache Auktion durchgeführt wird, damit Veränderungen in der Gebietsstruktur

¹²Vgl. auch Kapitel 2.4.5.

¹³Für die Implementierung sind die Bündelgebote in Einzelgebote zu zerteilen und für jedes Gebiet eine Gewinnerermittlung einzeln durchzuführen.

¹⁴Vgl. Kapitel 6.2.

durch die Bieter genauer bepreist werden können.

Das hybride Auktionsprotokoll mit interpolierten Gebietspreisen (HYBRID) wurde in Kapitel 6.1. dieser Arbeit entwickelt. Es handelt sich dabei um ein iteratives Auktionsverfahren, bei dem Logistikdienstleister und Verlader abwechselnd Bündelgebote abgeben bzw. Bündelgebote für eine feste Gebietsstruktur anfragen. Wir simulieren dieses Auktionsverfahren ebenfalls durch ein selektives Bietverhalten der Bietagenten. Für die Auswahl der Gebote werden die Gebote nach Tarifmargen aufsteigend sortiert. In jeder Runde des Auktionsverfahrens geben die Bieter genau ein neues Bündelgebot, beginnend mit dem Gebot mit der niedrigsten Tarifmarge, ab. Das passive Auktionsverfahren modelliert passive Bieter mit eingeschränkten Bietaktivitäten. Es unterscheidet sich vom aktiven Modell dadurch, dass die Bieter in der ersten Runde ein Gebot abgeben und danach nur noch die Gebotsanfragen des Auktionators beantworten.

Um die Ergebnisse der verschiedenen Auktionsverfahren miteinander zu vergleichen, werden die Auktionsverfahren anhand der erzielten Transportkosten des Verladers ausgewertet. Für tiefer gehende Analysen und Charakterisierungen der Auktionsverfahren werden zusätzlich folgende Kennzahlen einer Simulationsinstanz herangezogen:

- Relativer Transportpreis pro Tonnenkilometer (tkm)
- Auslastung der Hauptläufe
- Gesamtdistanz
- Anzahl der Gebiete pro Logistikdienstleister
- Anzahl der Gebote

8.2. Ergebnisse der numerischen Untersuchung

In Kapitel 4 wurden kombinatorische Auktionen als alternative Auktionsverfahren zu einfachen Auktionen vorgestellt, wo Bieter ihre Synergieeffekte für bevorzugte Gebietsbündel präzise durch Bündelgebote ausdrücken können. Dieser Abschnitt hat das Ziel, einfache und kombinatorische Auktionsverfahren bei realistischen Vergabeszenarien aus der Perspektive des Verladers zu bewerten. Die Datenbasis der numerischen Ergebnisse aller Abbildungen aus diesem Abschnitt findet sich im Anhang dieser Arbeit.¹⁵

¹⁵ Die einzige Ausnahme ist die Datenbasis der Abbildung 8.7., die wegen der Datenmenge nicht im Anhang aufgeführt ist.

8.2.1. Untersuchungsszenario

Als Untersuchungsszenario wählen wir die Vergabe von Transportleistungen für das Gebietsspeditionssystem im geografischen Raum von Deutschland.¹⁶ Das zugrunde liegende Logistiknetzwerk der Beschaffungslogistik besteht aus $|L| = 100$ Lieferanten und $|W| = 5$ Werken. Als potenzielle Logistikdienstleister werden zur Gebietsauktion $|I| = 30$ Dienstleister eingeladen. Für alle Logistikdienstleister wird von denselben Kostenstrukturen ausgegangen. Die unterschiedlichen Kosten ergeben sich lediglich durch die geografische Lage der Konsolidierungszentren der Logistikdienstleister. Zur Gebotsabgabe wird das gesamte Gebiet in $\bar{G} = 10$ Einzelgebiete und $N = 5$ vorgebündelte Gebiete unterteilt. Vor der Auktion werden durch den Verlader Transportbedarfe für einen Analysezeitraum von $|T| = 30$ Tage zur Verfügung gestellt. Zur Modellierung der Transportbedarfe mit großen Nachfrageschwankungen wird die Höhe der tatsächlichen Transportmenge durch eine Normalverteilung mit dem Erwartungswert $\mu = 8000[\text{kg}]$ und der Standardabweichung $\sigma = 4000$ beschrieben. Aufgrund der stochastischen Einflüsse der Datengenerierung werden für jede Parameterkonstellation Simulationsinstanzen mit 100 Vergabeszenarien generiert, um die Validität der Simulationsergebnisse zu sichern.

Für das Basisszenario setzen wir zunächst die Abrufwahrscheinlichkeit mit $\theta = 20\%$ an, sodass im Schnitt alle 5 Tage ein Abruf von einem Werk an einen bestimmten Lieferanten erfolgt. Außerdem werden im Basisszenario die Gebote der Logistikdienstleister nur kostendeckend ohne Gewinnaufschläge ($\pi_{max} = 0$) kalkuliert.

8.2.2. Ergebnisse für das Basisszenario

Wir beginnen die numerische Untersuchung mit dem Vergleich der Auktionsverfahren für das Basisszenario und bewerten die Auktionsverfahren anhand der mittleren Transportkosten über alle Simulationsinstanzen des Basisszenarios. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8.3. dargestellt.

Vergleicht man einfache und kombinatorische Auktionsverfahren, ist zu erkennen, dass die kombinatorischen Auktionsverfahren (HYBRID, KOM. AUKTION, KOM. AUKTION M. BED. G., KOM. AUKTION M. VOLL. G.) den einfachen, nicht kombinatorischen Auktionsverfahren (CHERRY-PICKING, EINFACH, EINFACH M. BED., HIERARCHIE) im Basisszenario überlegen sind. Das beste Ergebnis liefert das Auktionsverfahren der kombinatorischen Auktion mit vollständigen Geboten (KOM. AUKTION M. VOLL. G.). Es handelt sich dabei um die theoretisch erreichbare untere Schranke, die von keinem anderen Auktionsverfahren unterschritten werden kann. Aufgrund der exponentiell großen Menge an erforderlichen Geboten sind die Ergebnisse dieses Auktionsverfahrens in praktischen Anwendungen nicht zu erwarten. Die Ergebnisse dieses

¹⁶Der geografische Raum von Deutschland wird durch die minimale geografische Länge `minLon: 5,866286`, die minimale geografische Breite `minLat: 47,26986`, die maximale geografische Länge `maxLon: 15,04863` und die maximale geografische Breite `maxLat: 55,05826` spezifiziert.

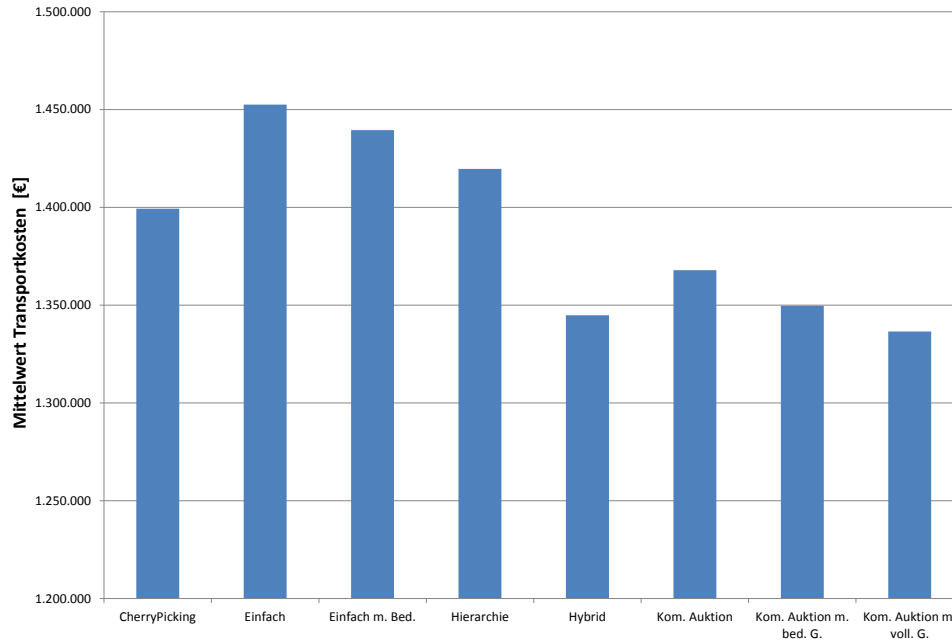


Abbildung 8.3.: Transportkosten Basisszenario

Auktionsverfahrens sollen für uns in erster Linie dazu dienen, die Güte aller anderen Auktionsverfahren zu bewerten. Zu diesem Zweck zeigt Abbildung 8.4. den relativen Vergleich der erzielten Transportkosten der Auktionsverfahren zur optimalen Lösung von KOM. AUKTION M. VOLL. G.

In Abbildung 8.4. ist zu sehen, dass das Auktionsverfahren KOM. AUKTION im Vergleich zur optimalen Lösung um mehr als 2 % schlechter abschneidet. Die Verschlechterung ist darauf zurückzuführen, dass für das Auktionsverfahren KOM. AUKTION nur eine kleine Auswahl an Geboten durch das selektive Auswahlverfahren der Bietagenten generiert wurde. Das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. kann die Lösung des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION verbessern und erreicht immerhin eine Verschlechterung um 0,98 % im Vergleich zur optimalen Lösung. Obwohl in den Simulationsexperimenten der Auktionsverfahren KOM. AUKTION und KOM. AUKTION M. BED. G. die gleichen Bündelgebote abgegeben wurden, konnten die Bieter im Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. die Gebotspreise für alle Einzelgebote abhängig von den echten Bündelgebieten anpassen, um die Gebotspreise der Einzelgebote zu präzisieren, wodurch der Unterschied zu erklären ist.

Weitere Verbesserungen des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION sind im Basissze-

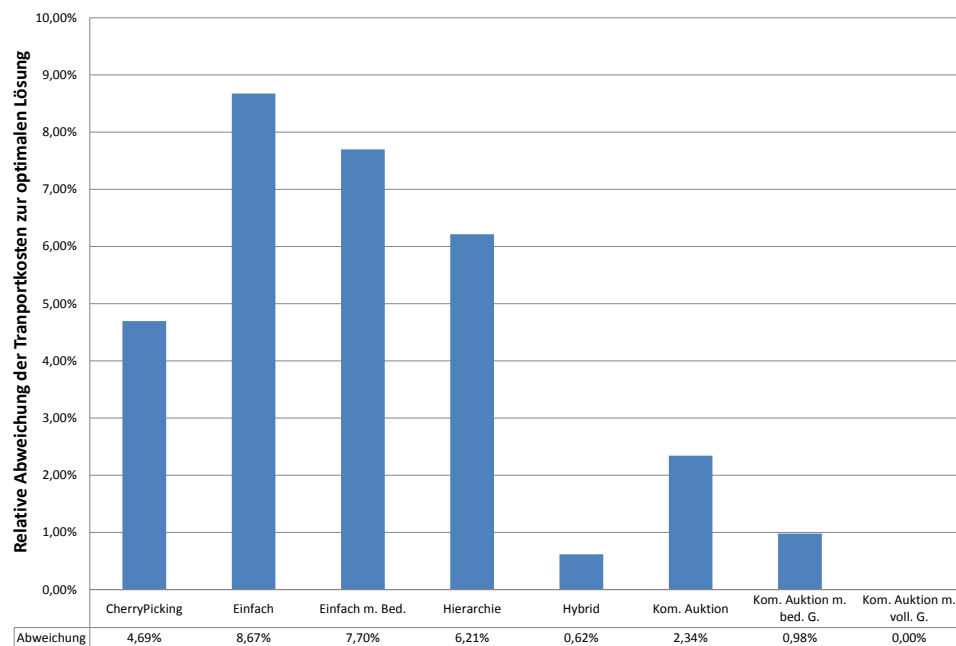


Abbildung 8.4.: Relative Abweichung der Kosten im Basisszenario

nario durch das Auktionsverfahren HYBRID zu erreichen. Bei diesem Auktionsverfahren liegt der Unterschied zur optimalen Lösung nur noch bei 0,62 %. Im Unterschied zur reinen dienstleistergetriebenen, kombinatorischen Gebotsabgabe (KOM. AUKTION, KOM. AUKTION M. BED. G.) ist im Auktionsverfahren HYBRID vorgesehen, dass sowohl die Logistikdienstleister durch selbst definierte Bündelgebote als auch der Verlader durch Anfragen Einfluss auf die Gebietsstruktur nehmen können. Über das mehrrundige Auktionsdesign ist es dem Verlader möglich, über die Runden hinweg die Schätzung der Gebietspreise besser zu lernen und vielversprechende Gebietsstrukturen bei den Logistikdienstleistern anzufragen. Im Unterschied zum Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. werden Reduzierungen von Gebieten in dem Interpolationsmodell des hybriden Auktionsverfahrens berücksichtigt, sodass der Verlader mehr Flexibilität hat, die Teilnetze der Logistikdienstleister zu einem Gesamtnetzwerk zu koordinieren.

Am schlechtesten schneidet bei unseren Untersuchungen für das Basisszenario das Auktionsverfahren EINFACH ab, bei dem der Verlader die Gebietsstruktur der Gebietsauktion vorgibt. Im Vergleich zur optimalen Lösung werden Verschlechterungen um mehr als 8 % verzeichnet. Das Problem dieses Auktionsverfahrens ist, dass die An-

zahl und Struktur der Gebiete vom Verlagerer von vornherein festgelegt werden müssen. Ein zu früh festgelegtes, schlechtes Gebietsdesign kann daher zu ineffizienten Allokationen führen. Vergleichbar mit diesem Auktionsverfahren ist das Auktionsverfahren EINFACH M. BED., das immerhin etwas bessere Ergebnisse mit nur 7,70 % Verschlechterung zur optimalen Lösung liefert. Bei dem Auktionsverfahren EINFACH M. BED. können strukturelle Verbesserungen an der Gebietsstruktur durch die nachgelagerte Festlegung des Gebietsdesigns erreicht werden. Dennoch bleibt auch bei diesem Auktionsverfahren das Problem der Bestimmung der Anzahl der Logistikdienstleister, die zu beschränken sind.

Eine etwas flexiblere Form der einfachen Auktion sind hierarchische Auktionen, bei denen zwar die Gebietsstruktur vor der Auktion fest vorgegeben ist, die Bieter jedoch alternative Gebote auf mehreren Aggregationsstufen abgeben können. Damit konkurrieren in hierarchischen Auktionen die Gebote der unterschiedlichen Aggregationsstufen miteinander, sodass ein zu früh festgelegtes, schlechtes Design teilweise verbessert werden kann. Das Auktionsverfahren HIERARCHIE mit hierarchischer Gebotsstruktur erzielt eine relative Verschlechterung von 6,21 % zur optimalen Lösung und liegt damit um mehr als 2 Prozentpunkte besser als die Ergebnisse des Auktionsverfahrens EINFACH.

Das Ergebnis des Auktionsverfahrens CHERRY-PICKING zeigt im Vergleich zu den anderen einfachen Auktionsverfahren erstaunlich gute Ergebnisse mit einer Verschlechterung von nur 4,69 % zur optimalen Lösung. Es kommt damit relativ nah an die Ergebnisse der kombinatorischen Auktionsverfahren heran. Um eine Vergleichbarkeit dieses Auktionsverfahrens mit kombinatorischen Auktionen herzustellen, wurden bei diesem Auktionsverfahren durch die Bietagenten dieselben Gebote wie beim Auktionsverfahren KOM. AUKTION abgegeben. Der Unterschied zwischen CHERRY-PICKING und KOM. AUKTION kommt dadurch zustande, dass bei CHERRY-PICKING eine heuristische Gewinnerermittlungsmethode angewendet wird, die die Gebote für jedes Gebiet getrennt auswertet. Dadurch kann es passieren, dass eine vermeintlich gute Lösung teurer als ursprünglich angenommen werden kann, da das Alles-oder-nichts-Prinzip der Bündelgebote nicht eingehalten wird und Synergieeffekte der Bündelung falsch abgeschätzt werden.

8.2.3. Effekte variierender Abrufwahrscheinlichkeiten

In diesem Abschnitt analysieren wir detaillierter den Effekt der variierenden Abrufwahrscheinlichkeit (θ) auf die Ergebnisse der Auktionsverfahren. Die Abrufwahrscheinlichkeit der Transportbedarfe wirkt sich in zweifacher Hinsicht auf das Logistiknetzwerk aus: Einerseits steigt mit der Zunahme der Abrufwahrscheinlichkeit das Transportvolumen im gesamten Netzwerk. Andererseits werden dadurch auch die Transportbedarfe gleichmäßiger, das dazu führt, dass Transportkapazitäten gleichmäßiger ausgelastet werden. Abbildung 8.5. zeigt die relative Abweichung der Transportkosten von der optimalen Lösung. Das Ergebnis des Basisszenarios ist in der Abbildung mit

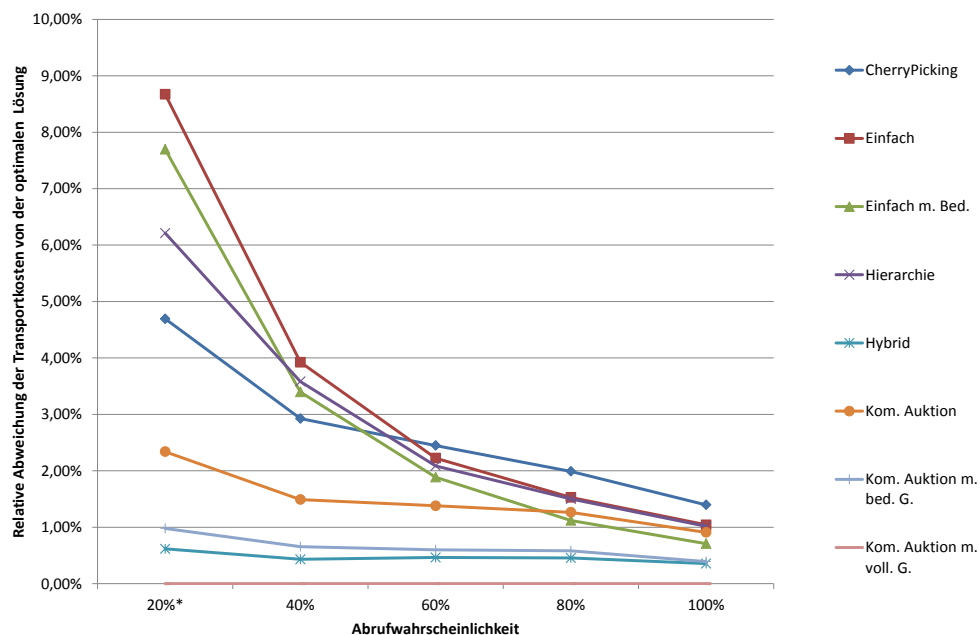


Abbildung 8.5.: Relative Abweichung

einem Stern (*) gekennzeichnet.

Es lässt sich feststellen, dass sich mit der Zunahme der Abrufwahrscheinlichkeit die Lücken der relativen Ergebnisse zwischen den Auktionsverfahren und der optimalen Lösung schließen. Innerhalb der Gruppe der kombinatorischen Auktionsverfahren lässt sich beobachten, dass die Reihenfolge zwischen den Auktionsverfahren erhalten bleibt. Diese Beobachtung lässt sich folgendermaßen ausdrücken:

$$\begin{aligned} & \text{KOM. AUKTION M. VOLL. G.} \prec \text{HYBRID} \\ & \prec \text{KOM. AUKTION M. BED. G.} \prec \text{KOM. AUKTION} \end{aligned} \quad (8.2)$$

Zudem ist zu erkennen, dass sich die Ergebnisse der Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. und HYBRID mit der Zunahme der Abrufwahrscheinlichkeit weiter annähern. Es scheint, dass in einem stabilen Umfeld Reduktionen von Gebieten eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Reihenfolge innerhalb der Gruppe der einfachen Auktionen bleibt nicht erhalten. Es ist lediglich festzustellen, dass das Auktionsverfahren HIERARCHIE immer besser

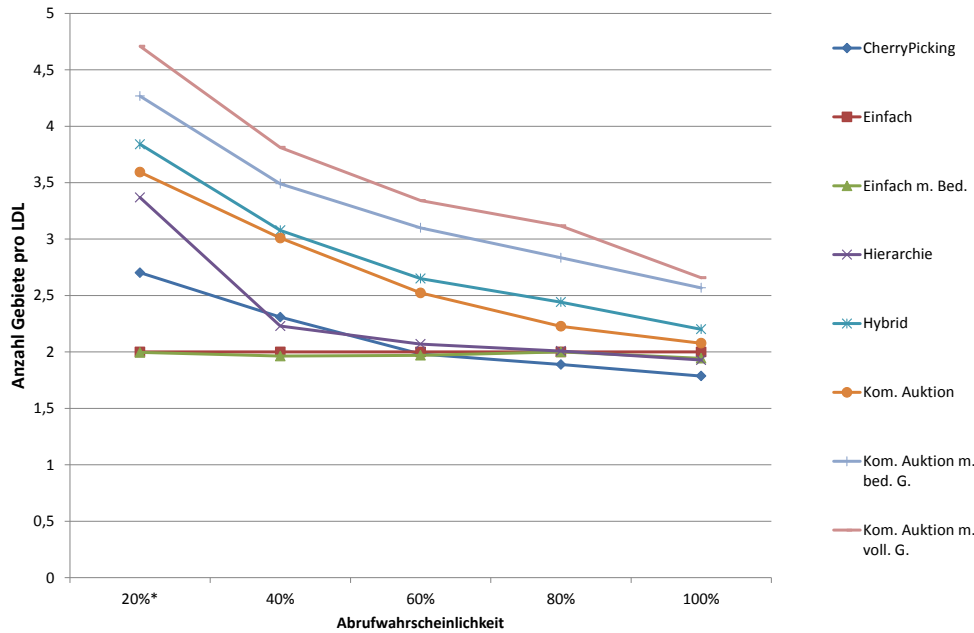


Abbildung 8.6.: Anzahl der Gebiete

als das Auktionsverfahren EINFACH ist. Es lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$\text{HIERARCHIE} \prec \text{EINFACH} \quad (8.3)$$

Beim Vergleich der einfachen und kombinatorischen Auktionsverfahren ist auffällig, dass einfache Auktionsverfahren in unserer Untersuchung im schwankenden Umfeld, wo die Abrufwahrscheinlichkeiten klein sind, sehr viel schlechter abschneiden als in einem stabilen, wo die Abrufwahrscheinlichkeiten groß sind. Bei sehr großer Abrufwahrscheinlichkeit (100 %) erreichen die einfachen Auktionsverfahren vergleichbare Werte zu kombinatorischen Auktionsverfahren. Das Auktionsverfahren EINFACH M. BED. erreicht bei sehr großer Abrufwahrscheinlichkeit sogar bessere Ergebnisse als das kombinatorische Auktionsverfahren KOM. AUKTION.

Da die Ergebnisse der einfachen Auktion wesentlich von der festgelegten Struktur der Gebiete abhängig sind, möchten wir weiterhin den Einfluss der Abrufwahrscheinlichkeiten auf die Anzahl der Gebiete untersuchen. Abbildung 8.6. veranschaulicht die Anzahl der Gebiete, die einem Logistikdienstleister zugeordnet sind. Während die

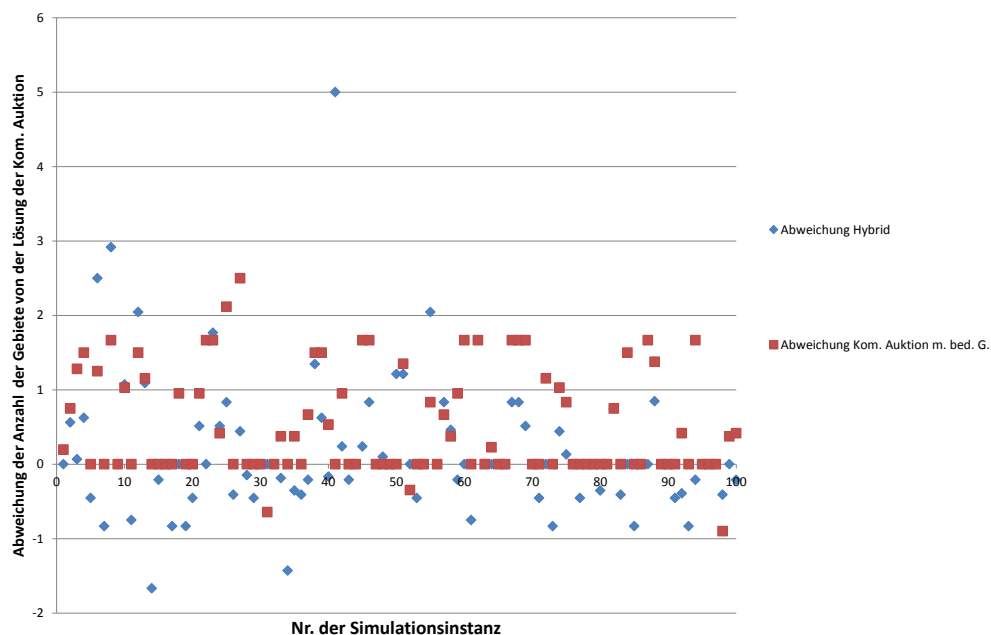


Abbildung 8.7.: Abweichung Anzahl der Gebiete

Anzahl der Gebiete beim Auktionsverfahren EINFACH und EINFACH M. BED. konstant bleiben (2 Gebiete pro Logistikdienstleister), reduziert sich mit zunehmender Abrufwahrscheinlichkeit die Anzahl der Gebiete bei allen anderen Auktionsverfahren. Die Anzahl der Gebiete pro Logistikdienstleister ist am größten für das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. Innerhalb der Gruppe der kombinatorischen Auktionen weist das Auktionsverfahren KOM. AUKTION die geringste Anzahl von Gebieten pro Logistikdienstleister aus. In Verbindung mit den erzielten Transportkosten der Auktionsverfahren (siehe Abbildung 8.5.) kann die Anzahl der Gebiete pro Logistikdienstleister als wesentlicher Einflussfaktor auf die Gesamtkosten des Verladers gesehen werden.

Aus Abbildung 8.6. ist außerdem zu entnehmen, dass die Ergebnisverbesserungen der Auktionsverfahren HYBRID und KOM. AUKTION M. BED. G. unterschiedliche Gründe haben. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der Gebiete pro Logistikdienstleister beim Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. höher liegen als beim Auktionsverfahren HYBRID, obwohl das Auktionsverfahren HYBRID geringere Transportkosten aufweist. Eine tiefer gehende Analyse dazu zeigt Abbildung 8.7., die für das Basisszenario die Abweichung vom Auktionsverfahren KOM. AUKTION hinsicht-

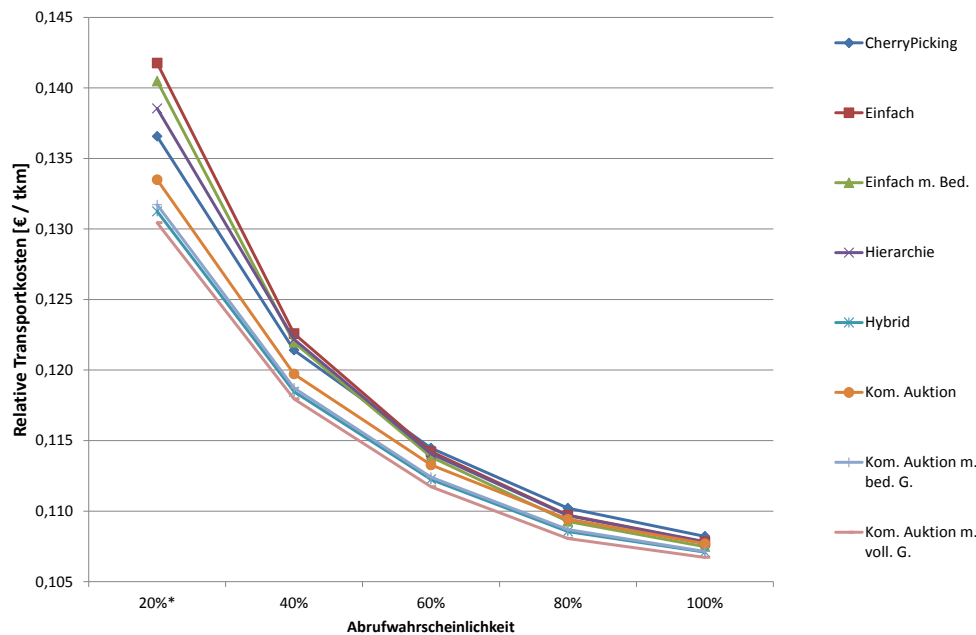


Abbildung 8.8.: Preise pro tkm

lich der Anzahl der Gebiete pro Logistikdienstleister darstellt. Es ist zu erkennen, dass das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. in der Regel die Anzahl der Gebiete erhöht. Dieser Effekt kommt daher, dass beim Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. nur Erweiterungen vorgesehen sind. Das Auktionsverfahren HYBRID erhöht und vermindert die Anzahl der Gebiete gleichermaßen. Dies hängt damit zusammen, dass im Auktionsverfahren HYBRID für die Ermittlung des Netzwerkdesigns Erweiterungen und Reduktionen der Gebote erlaubt sind.

Neben der Auswirkung der Abrufwahrscheinlichkeit auf die absoluten Transportkosten sind die Auswirkungen auf die relativen Transportkosten von weiterem Interesse. Abbildung 8.5. zeigt die relativen Transportkosten ausgedrückt in den Gesamttransportkosten pro Tonnenkilometer. Für alle Auktionsverfahren ist zu sehen, dass die relativen Transportkosten mit der Zunahme der Abrufwahrscheinlichkeit fallen. So reduzieren sich die relativen Transportkosten des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION M. VOLL. G. von 0,130 €/tkm (Basisszenario) auf 0,107 €/tkm (Abrufwahrscheinlichkeit $\theta = 100\%$). Im Wesentlichen kann der Rückgang der relativen Transportkosten durch zwei Ursachen erklärt werden:

Die erste Ursache liegt darin, dass die Auslastung der Transportkapazitäten steigt

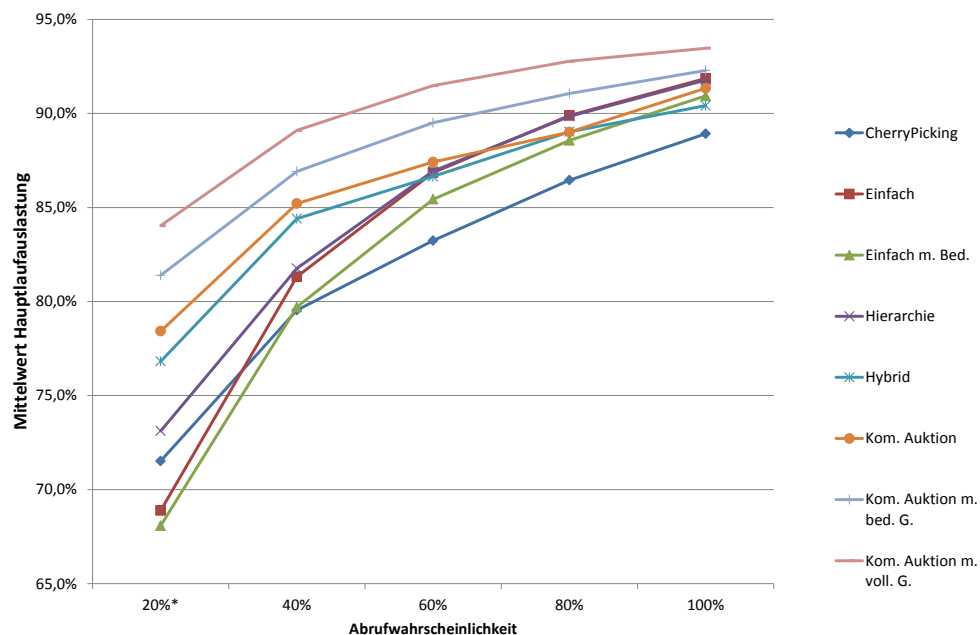


Abbildung 8.9.: Hauptlaufauslastung

und dadurch die Kosten pro belegte Kapazitätseinheit sinken. Eine wichtige Kennzahl ist die Auslastung der Hauptlaufkapazitäten, da Hauptläufe meist größere Entfernungen zu überwinden haben und damit die Kosten der Hauptläufe besonders im Gewicht liegen. Abbildung 8.9. zeigt die Auslastung der Hauptläufe. Über alle Auktionsverfahren hinweg steigen die Auslastungen der Hauptlaufkapazitäten. Die beste Auslastung wird vom Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. erreicht, die bei stabilen Abrufen (Abrufwahrscheinlichkeit 100 %) sogar im Durchschnitt eine Auslastung von 93 % erreicht. In Bezug auf die in dieser Arbeit entwickelten Auktionsverfahren sind zwei Dinge in Abbildung 8.9. anzumerken: Erstens, verglichen mit der Auslastung des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION ist die Auslastung für das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. im Durchschnitt höher. Zweitens, im Vergleich hierzu ist die Auslastung für das Auktionsverfahren HYBRID im Schnitt niedriger als die Auslastung des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION, obwohl die absoluten Gesamtkosten des Auktionsverfahrens HYBRID geringer sind. Das Verhalten des Auktionsverfahrens HYBRID kann damit nicht über die Auslastung erklärt werden.

Die zweite Ursache für den Rückgang der relativen Transportkosten sind die zu überbrückenden Gesamtdistanzen. Abbildung 8.10. zeigt die mittleren Gesamtdistanzen,

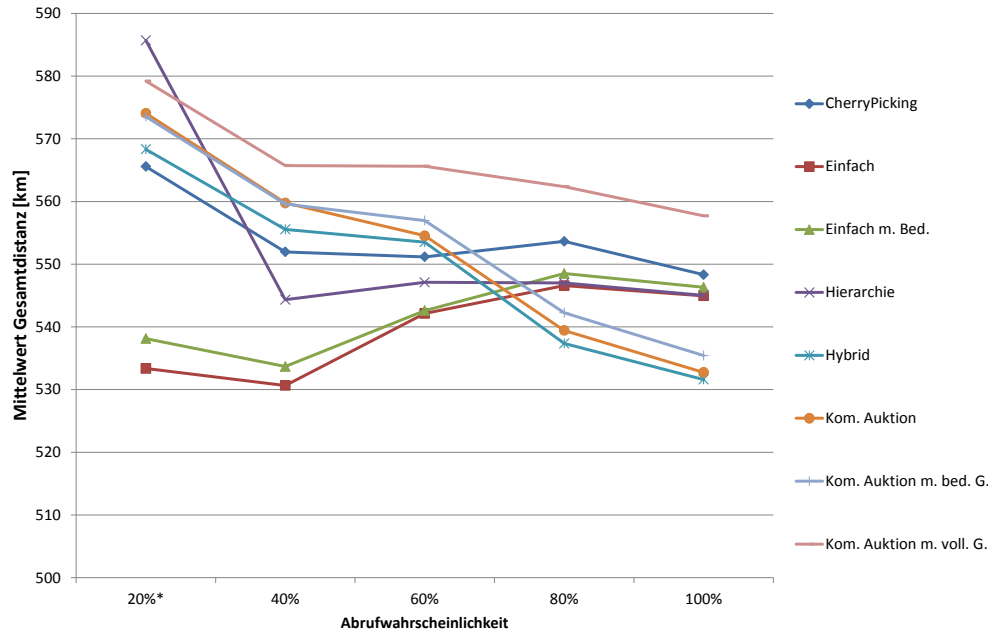


Abbildung 8.10.: Durchschnittliche Gesamtdistanz

die sich aus der Summe der Vorlauf- und Hauptlaufdistancen über alle Transportbedarfe ergeben. Für die Gruppe der kombinatorischen Auktionsverfahren ist mit der Zunahme der Abrufwahrscheinlichkeiten eine Abnahme der Gesamtdistanzen festzustellen. Die mittleren Gesamtdistanzen sind für das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. am größten. Innerhalb der Gruppe der kombinatorischen Auktionsverfahren besitzt das Auktionsverfahren HYBRID die geringsten Gesamtdistanzen. Das Verhalten des Auktionsverfahrens HYBRID lässt sich dadurch erklären, dass für die Interpolation der Gebietspreise die Gesamtdistanz als Faktor in die Schätzfunktion eingeht und entsprechend auch durch das Netzwerkdesignmodell minimiert wird.¹⁷

Es lässt sich schlussfolgern, dass die Trade-off-Entscheidung zwischen einer hohen Auslastung der Hauptläufe und der Minimierung der Gesamtdistanzen durch das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. und HYBRID unterschiedlich angegangen wird. Während das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. BED. G. Ergebnisverbesserungen gegenüber dem Auktionsverfahren KOM. AUKTION durch höhere Auslastungen erzielt, deren Konsequenz größere Umwege sind, sind die Ergebnisverbesserungen für

¹⁷Vgl. Regressionsgleichung 6.17.

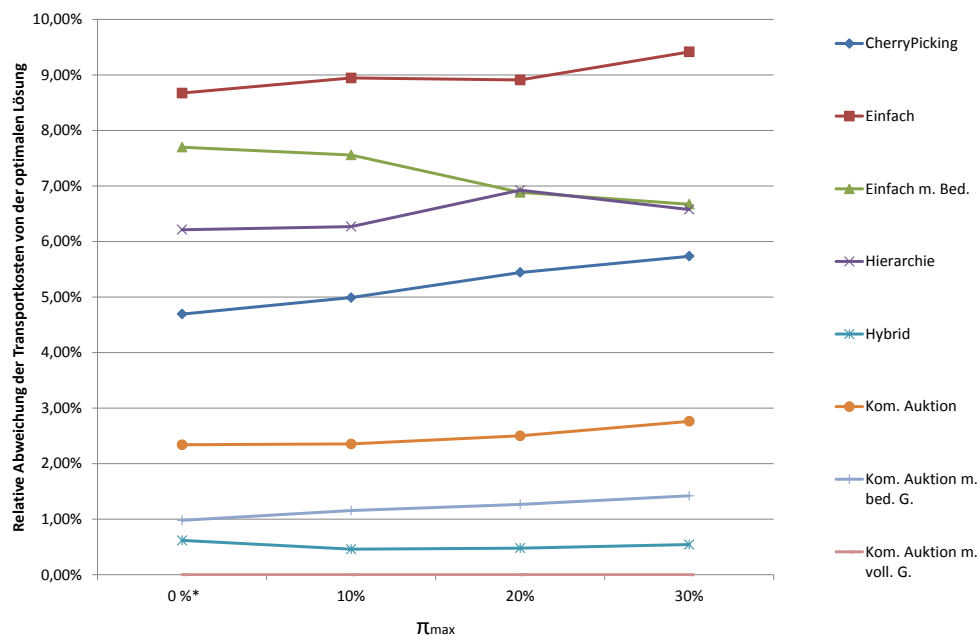


Abbildung 8.11.: Auswirkungen des maximalen Gewinnaufschlages (π_{max}) auf die relativen Gesamtkosten

das Auktionsverfahren HYBRID durch kürzere Gesamtdistanzen zu erklären, die zu einer Reduktion der Hauptlaufauslastungen führen.

8.2.4. Einfluss des Gewinnaufschlages

Bei unseren Analysen bezogen wir uns bisher nur auf den Fall, dass die Logistikdienstleister ihre Angebotspreise nur kostendeckend kalkuliert haben. Im Folgenden möchten wir untersuchen, inwieweit unterschiedliche Gewinnaufschläge Einfluss auf die Ergebnisse der Auktionsverfahren haben. In Abbildung 8.11. ist die relative Abweichung der Transportkosten von der optimalen Lösung in Abhängigkeit unterschiedlicher maximaler Gewinnaufschläge (π_{max}) visualisiert.

Es ist zu erkennen, dass für fast alle Auktionsverfahren mit Zunahme des mittleren Gewinnaufschlages die relativen Gesamtkosten zur optimalen Lösung steigen, d. h. die Gewinnaufschläge wirken sich auf die Auktionsverfahren im Vergleich zur optimalen Lösung stärker aus. Die einzigen Ausnahmen sind das Auktionsverfahren HYBRID und das Auktionsverfahren EINFACH M. BED. Beide Auktionsverfahren verringern mit

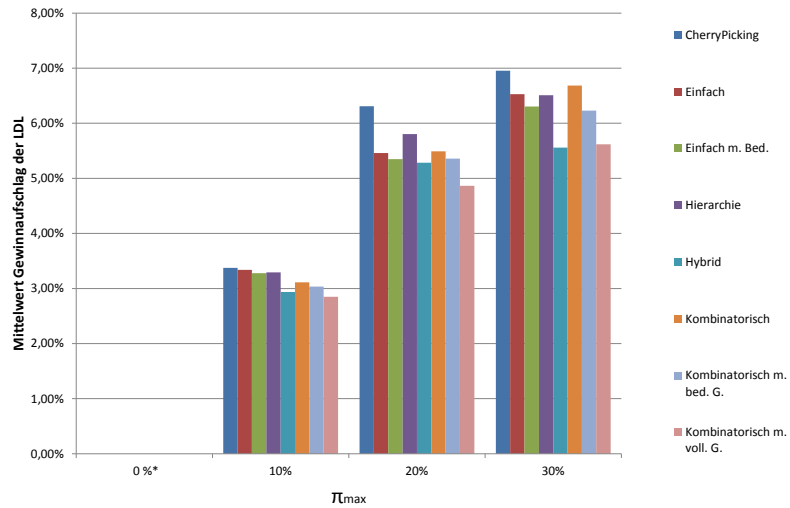


Abbildung 8.12.: Auswirkungen des maximalen Gewinnaufschlages (π_{\max}) auf die Gewinnmarge der LDL

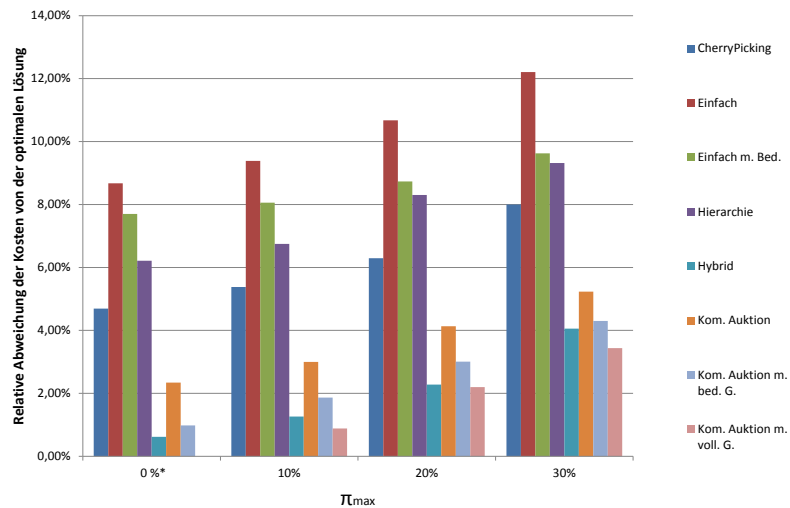


Abbildung 8.13.: Auswirkungen des maximalen Gewinnaufschlages (π_{\max}) auf die relativen Kosten

der Zunahme des mittleren Gewinnaufschlages den Abstand der relativen Kosten zu der optimalen Lösung. Analysiert man die Preissteigerungen, so werden zwei Effekte deutlich:

Der erste Effekt betrifft den eigentlichen Gewinnaufschlag der Logistikdienstleister, der auf die tatsächlichen Kosten aufgeschlagen wird (siehe Abbildung 8.12.). Es wird deutlich, dass die Auktionsverfahren die Preisaufschläge unterschiedlich aufnehmen. Die Gewinnaufschläge sind am geringsten beim Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G., gefolgt vom Auktionsverfahren HYBRID. Interessanterweise sind die Preisaufschläge beim Auktionsverfahren CHERRYPICKING am größten. Im Interesse der Logistikdienstleister wäre es folglich besser, wenn der Verlader das Auktionsverfahren CHERRYPICKING verwenden würde, da die Logistikdienstleister dadurch höhere Margen erzielen könnten.

Der zweite Effekt der Preissteigerung kommt daher, dass durch die unterschiedlichen Gewinnaufschläge die tatsächlichen Kosten im Angebotspreis verzerrt werden. Aus ökonomischer Sicht macht es am meisten Sinn, wenn Auktionsverfahren Lösungen mit niedrigen tatsächlichen Kosten bestimmen. Abbildung 8.13. vergleicht die verschiedenen Auktionsverfahren in Bezug zur relativen Abweichung der tatsächlichen Kosten der Logistikdienstleister von der kostenoptimalen Lösung.¹⁸ Der Vergleich zeigt, dass je größer die mittlere Gewinnmarge wird, desto mehr steigen auch die tatsächlichen Kosten des Logistiknetzwerkes. Selbst beim Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. steigen bei einem maximalen Gewinnaufschlag von 30 % die tatsächlichen Kosten der Logistikdienstleister um ca. 3 %. Aus der Abbildung 8.13. geht deutlich hervor, dass die tatsächlichen Kosten der kombinatorischen Auktionsverfahren im Unterschied zu den einfachen Auktionsverfahren auf einem niedrigen Niveau bleiben. Bei genauer Analyse ist zu erkennen, dass die relativen Kostensteigerungen für das Auktionsverfahren HYBRID und das Auktionsverfahren EINFACH M. BED. im Vergleich zum Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. abnehmen und sich damit die relativen Verbesserungen beider Auktionsverfahren erklären lassen.

8.2.5. Einfluss der Anzahl der Gebote

In diesem Abschnitt möchten wir vom Basisszenario ausgehend den Einfluss der Anzahl der Gebote auf die Ergebnisse der Auktionsverfahren analysieren, da die Anzahl an erforderlichen Geboten ein Hauptkritikpunkt von kombinatorischen Auktionen ist.

Wie bereits beschrieben, kann nur durch das Auktionsverfahren KOM. AUKTION M. VOLL. G. die Optimalität der Gebietsallokation garantiert werden. Der Nachteil dieses Auktionsverfahrens ist, dass die Anzahl der Gebote exponentiell mit der Anzahl der Gebiete wächst. Bei unserem Untersuchungsszenario mit 10 Gebieten ergeben sich 2^{10} –

¹⁸Die kostenoptimale Lösung ist die Lösung des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION M. VOLL. G. für das Basisszenario ohne Gewinnaufschlag.

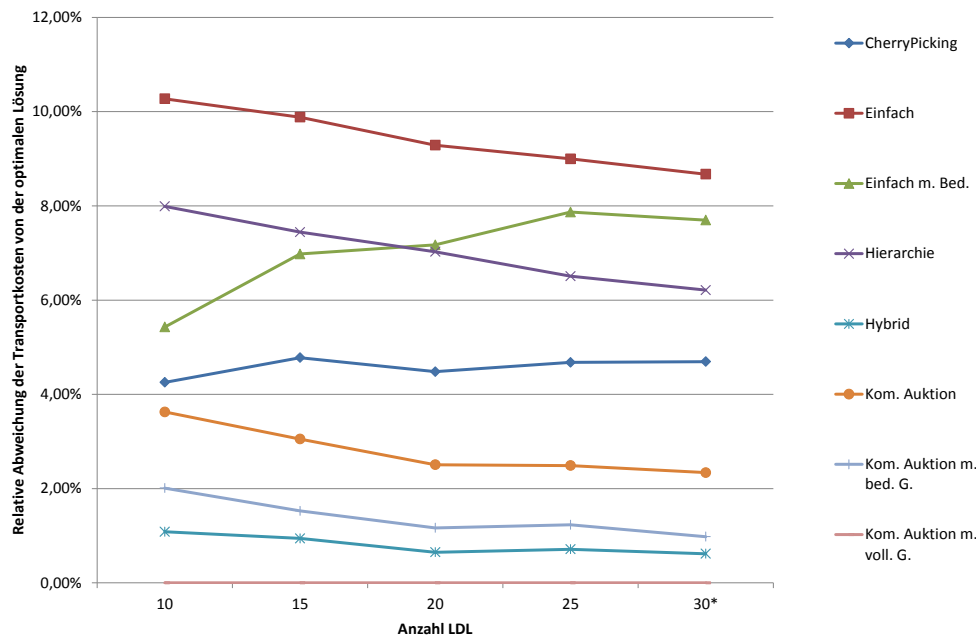


Abbildung 8.14.: Auswirkung der Anzahl der LDL

Auktionsverfahren	Mittelwert Anzahl Gebote
KOM. AUKTION	13,23
KOM. AUKTION M. BED. G.	15,64
HYBRID	7,58

Tabelle 8.5.: Anzahl der Gebote

1 = 1023 Gebote pro Logistikdienstleister.¹⁹ Tabelle 8.5. vergleicht hierzu die Anzahl der Gebote der anderen kombinatorischen Auktionsverfahren. Die durchschnittliche Anzahl der Gebote ist am geringsten für das Auktionsverfahren HYBRID. Aufgrund des selektiven Auswahlverfahrens werden für die Auktionsverfahren KOM. AUKTION und KOM. AUKTION M. BED. G. mindestens für alle Gebiete Einzelgebote abgegeben, sodass die Anzahl der Gebote entsprechend höher ist.

Um den Effekt der Anzahl der Gebote genauer zu analysieren, wird zuerst die Beschränkung der Anzahl der Logistikdienstleister betrachtet und anschließend die Be-

¹⁹Das leere Gebot ohne Gebiete wird nicht dazugezählt.

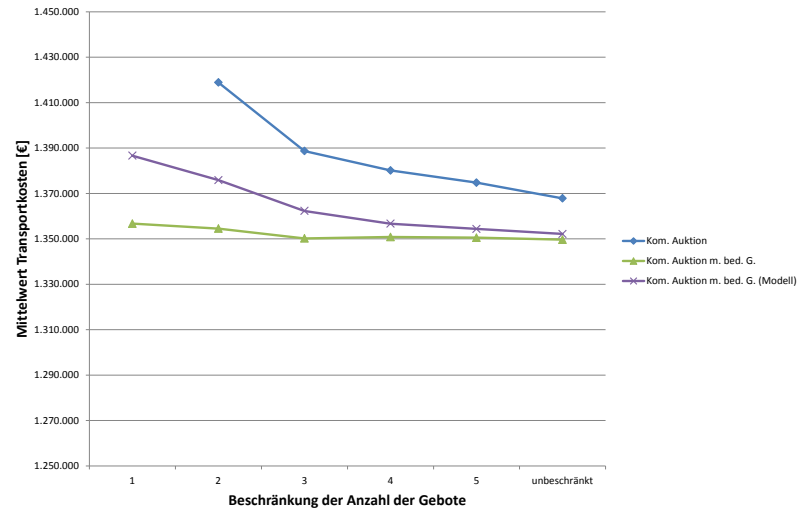


Abbildung 8.15.: Bedingte Gebote mit der Beschränkung der Anzahl der Gebote

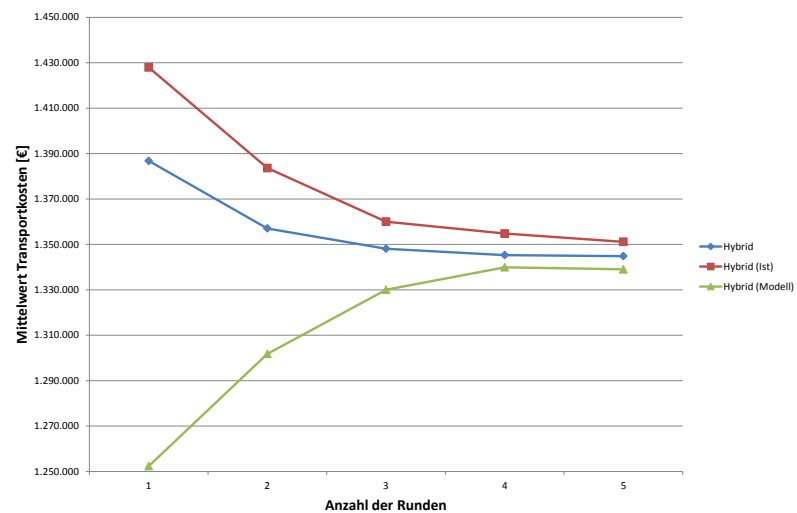


Abbildung 8.16.: Hybride Verfahren mit der Beschränkung der Anzahl der Runden

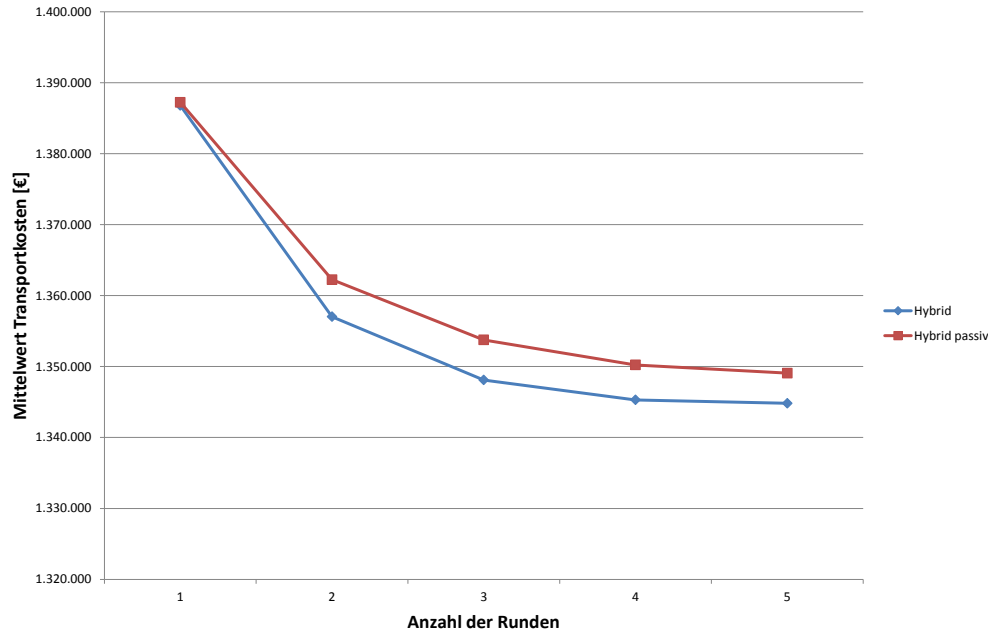


Abbildung 8.17.: Vergleich der Bieteraktivität

schränkung der Anzahl der abgegebenen Gebote pro Logistikdienstleister detaillierter untersucht.

In Abbildung 8.14. ist dargestellt, wie sich die Beschränkung der Anzahl der Logistikdienstleister auf die relative Abweichung der Transportkosten von der optimalen Lösung auswirkt. Es zeigt sich, dass sich durch die Beschränkung der Anzahl der Logistikdienstleister die Effizienz der Auktionsverfahren leicht verschlechtert. Die einzigen Ausnahmen sind die einfachen Auktionsverfahren CHERRY-PICKING und EINFACH M. BED., die bei einer geringeren Anzahl von Logistikdienstleistern relativ betrachtet sogar die Transportkosten verbessern. Die in dieser Arbeit entwickelten kombinatorischen Auktionsverfahren (KOM. AUKTION M. BED. G. und HYBRID) erzielen selbst bei einer geringeren Anzahl von Logistikdienstleistern stabile Ergebnisse. Insbesondere werden durch das Auktionsverfahren HYBRID nur geringe Abweichungen der Transportkosten zur optimalen Lösung (unter 1 %) festgestellt.

Um die Beschränkung der Anzahl abgegebener Gebote pro Logistikdienstleister zu untersuchen, wird damit begonnen, die Ergebnisse für die Auktionsverfahren KOM. AUKTION und KOM. AUKTION M. BED. G. durch die Beschränkung der Anzahl der

Gebote darzustellen, vgl. Abbildung 8.15.²⁰ Die Gebote der Logistikdienstleister wurden vor der Gebotsabgabe nach abnehmender Tarifmarge sortiert und der Reihe nach offenbart. Abbildung 8.15. zeigt, dass mit zunehmender Anzahl der Gebote die Transportkosten sinken, wobei die Transportkosten des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION stets höher sind als die Transportkosten des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION M. BED. G. Es wurde zusätzlich der Modellwert des Gewinnerermittlungsproblems mit bedingten Einzelgeboten angegeben.²¹ Es ist zu sehen, dass der Modellwert des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION M. BED. G. immer unterhalb der Transportkosten des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION liegt und der Modellwert das Ergebnis des Auktionsverfahrens KOM. AUKTION M. BED. G. von oberhalb annähert. Es gilt damit:

$$\begin{aligned} \text{KOM. AUKTION M. BED. G.} &\prec \text{KOM. AUKTION M. BED. (MODELL)} \\ &\prec \text{G. KOM. AUKTION} \end{aligned} \quad (8.4)$$

Dieser Zusammenhang wurde bereits in Kapitel 6.2.2. unter der Annahme von bedingten, monoton fallenden Preisfunktionen nachgewiesen.

Abbildung 8.16. stellt die Transportkosten für das Auktionsverfahren HYBRID über den Rundenverlauf dar. Es ist zu sehen, dass die Transportkosten für das Auktionsverfahren HYBRID mit der Anzahl der Runden fallen. Ein gutes Ergebnis ist bereits nach drei Runden erreicht. Für eine detaillierte Analyse wurden zusätzlich die Schätzwerte und die Ist-Werte der Anfragen des Auktionators mitangegeben. Die Schätzwerte des Auktionators verlaufen immer unterhalb der Ist-Werte der Anfragen des Auktionators, sodass die Schätzwerte die Ist-Werte einer Anfrage immer unterschätzen. Mit zunehmender Anzahl der Runden wird der Schätzfehler der Anfragen des Auktionators immer kleiner. Die Abnahme der Schätzfehler über den Rundenverlauf ist darauf zurückzuführen, dass durch die Schätzfehler vorangegangener Runden die Aufschlags- und Abschlagsfaktoren ansteigen und dadurch in den weiteren Runden Abweichungen von der aktuell besten Lösung immer stärker bestraft werden.

Eine interessante Fragestellung in diesem Zusammenhang ist, wie das Auktionsergebnis des Auktionsverfahrens HYBRID beeinflusst wird, wenn die Logistikdienstleister nur wenige Bündelgebote selbst definieren. Zu diesem Zweck wurde das hybride Auktionsverfahren zusätzlich mit passiven Bietern untersucht, die nur zu Beginn einer Gebietsauktion ein Bündelgebot abgeben und danach nur noch Gebote auf Anfragen des Auktionators reagieren. Abbildung 8.17. vergleicht die Ergebnisse beider Bietertypen über den Rundenverlauf. Die Ergebnisse zeigen, dass nur ein kleiner Unterschied bei den Transportkosten zwischen aktiven und passiven Bietern besteht.

In Ergänzung dazu stellt Tabelle 8.5. die Anzahl der abgegebenen Gebote für bei-

²⁰Der erste Wert für die kombinatorische Auktion fehlt, da die kombinatorische Auktion in zwei Simulationsinstanzen keine gültige Lösung lieferte, um alle Gebiete abzudecken.

²¹Vgl. Optimierungsmodell 6.34 bis 6.38.

Anzahl der Runden	1	2	3	4	5
aktiv	1,93	3,79	5,27	6,49	7,58
passiv	1,93	2,72	3,14	3,33	3,43

Tabelle 8.6.: Hybride Auktion mit interpolierten Geboten Anzahl der Gebote nach Runden

de Bietertypen über den Rundenverlauf gegenüber. Es ist anzumerken, dass aufgrund der hybriden Eigenschaft des Auktionsverfahrens bei den Simulationen in jeder Runde bis zu zwei neue Gebote abgegeben werden können.²² In der ersten Runde geben beide Bietertypen initiale Bündelgebote ab, weshalb die Anzahl der Gebote für beide Bietertypen gleich ist. Erst ab der zweiten Runde entwickelt sich die Anzahl der Gebote beider Bietertypen unterschiedlich. Während der aktive Bietertyp am Ende der fünften Runde bereits im Durchschnitt 7,58 Gebote abgegeben hat, liegt die Anzahl der Gebote, die der passive Bietertyp abgegeben hat, erst bei 3,43 Geboten.²³ Somit ist das hybride Auktionsverfahren auch dann geeignet, wenn die Bieter hohe Kosten bei der Generierung von Geboten haben und dadurch ein passives Bieterverhalten darlegen.

²²Zum einen kann der Bieter zu Beginn einer Runde ein selbst definiertes Gebot abgeben und zum anderen kann der Bieter Anfragen des Auktionators durch Gebote beantworten.

²³Es wurden nur neue Gebote gezählt. Wenn ein Bieter für ein Gebiet bereits ein Gebot abgegeben hatte, wurde es nicht gezählt.

9. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden zuerst die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit im Rückblick zusammengefasst (Abschnitt 9.1.). Danach wird ein Ausblick für weitere Forschungen auf diesem Gebiet gegeben (Abschnitt 9.2.).

9.1. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden kombinatorische Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen untersucht. Die Transportleistung des Gebietsspeditionssystems stellt eine Sonderform von Transportleistungen dar, deren Charakteristika und spezielles Logistiksystem in Kapitel 2 herausgearbeitet wurden. Für die Vergabe von Transportleistungen in einem Gebietsspeditionsnetz kommen zwei unterschiedliche Auktionsformen infrage:

Bei verladergetriebenen Bündelauktionen definiert der Verlader bereits im Vorfeld einer Gebietsauktion die Gebietsbündel und schreibt diese getrennt voneinander aus. Für die kostenoptimale Gebietsaufteilung werden Verlader durch Netzwerkdesignmodelle unterstützt. In Kapitel 3 wurde die relevante Literatur zu den Netzwerkdesignmodelle gesichtet. Die relevanten Modelle unterscheiden sich bezüglich der Annahmen zum Detaillierungsgrad der modellierten Transportkosten.

Im Unterschied zu den verladergetriebenen Auktionen definieren die Logistikdienstleister in dienstleistergetriebenen bzw. kombinatorischen Auktionen die Gebietsbündel selbst. Auf die Entwurfsprobleme von kombinatorischen Auktionen wurde in Kapitel 4 eingegangen. Das Problem der Präferenzoffenbarung gilt in der Literatur als das fundamentale Entwurfsproblem von kombinatorischen Auktionen, das beim Entwurf einer kombinatorischen Auktion zu berücksichtigen ist. Ferner wurden relevante Arbeiten aus dem Gebiet der Transportlogistik gesichtet, die kombinatorische Auktionen für die Vergabe von Transportleistungen verwenden.

Als Handlungsbedarf in der aktuellen Forschung wurden die Entwicklung von neuen Lösungsansätzen für kombinatorische Auktionen und die Ermittlung des Potenzials von kombinatorischen Auktionen gegenüber einfachen Auktionen identifiziert. Um den ermittelten Handlungsbedarf zu schließen, wurden in dieser Arbeit verschiedene Beiträge geleistet:

Es wurden zwei Lösungsansätze für kombinatorische Auktionen entwickelt, die das Problem der Präferenzoffenbarung in Gebietsauktionen adressierten. Als Erstes wurde ein iteratives Auktionsverfahren, das hybride Auktionsprotokoll mit interpolierten Gebietspreisen, entwickelt, das die direkten Offenbarungsmechanismen mit Netzwerkdesignmodellen kombiniert. Bei diesem Auktionsverfahren geben Logistikdienstleister

zu Beginn einer Runde neue selbst definierte Bündelgebote ab. Im Anschluss daran stellt der Verlader den Logistikdienstleistern Anfragen zu neuen Bündelgeboten. Für die Formulierung der Anfrage werden fehlende Gebietspreise mithilfe eines multiplen linearen Preismodells geschätzt. Die Schätzfehler der Bieter werden durch Korrekturfaktoren in den Gebotspreisen einkalkuliert. Für die geschätzten Gebietspreise wird dann ein Netzwerkdesignproblem gelöst, das die Anfragen an die Logistikdienstleister ergeben. Über die Mehrrundigkeit des Auktionsdesigns gelingt es dem Verlader, die Preisstruktur der Logistikdienstleister zu lernen und das Allokationsergebnis zu verbessern.

Als Zweites wurde die Gebotssprache der bedingten Gebote entwickelt, die den Logistikdienstleistern die Möglichkeit gibt, Abhängigkeiten zwischen Bündelgeboten in Gebietsauktionen präziser zu definieren. Eine Sonderform sind bedingte Einzelgebote, bei denen von einem Bündelgebot ausgehend, die Gebotspreise einzelner Gebiete präzisiert werden. Für das erweiterte Gewinnerermittlungsproblem mit bedingten Einzelgeboten wurde eine Modellformulierung angegeben. Ferner wurden Eigenschaften von bedingten Einzelgeboten untersucht.

Um die Entscheidungssituation eines Logistikdienstleisters in einer Gebietsauktion realitätsnah abzubilden, wurde ein Bewertungsmodell von Gebietsspeditionssystemen entwickelt, das für ein Teilnetz des Verladers die optimalen Kosten kalkuliert. Zur Abbildung der Entscheidungssituation wurde ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell angegeben. Um das Problem auch für realistische Instanzen zu lösen, wurde weiterhin eine Lösungsheuristik entwickelt.

Wir testeten die entwickelten Auktionsverfahren in einer umfangreichen numerischen Simulation und verglichen es mit bestehenden einfachen und kombinatorischen Bündelauktionen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass zum einen kombinatorische Auktionen Vorteile gegenüber einfachen Bündelauktionen bringen und zum anderen die Ergebnisse beider in dieser Arbeit entwickelten kombinatorischen Auktionsverfahren die Ergebnisse von geschlossenen kombinatorischen Auktionen übertreffen. Unter den untersuchten Auktionsverfahren weist das hybride Auktionsprotokoll mit interpolierten Gebietspreisen eine sehr effiziente Offenbarung von Gebotsinformationen auf, das bei einer kleinen Menge an abgegebenen Geboten vergleichbare Ergebnisse zur kostenoptimalen Lösung erzielt.

9.2. Ausblick

Nach der Auffassung des Autors wurden kombinatorische Auktionsverfahren für die Vergabe von Transportleistungen in Gebietsspeditionsnetzen bisher nicht untersucht. Diese Arbeit bildete daher den ersten Schritt, um das Potenzial und die praktische Umsetzbarkeit von kombinatorischen Auktionsverfahren aufzuzeigen. Dennoch bleiben einige Herausforderungen, die in zukünftigen Arbeiten zu untersuchen sind.

Das in dieser Arbeit entwickelte hybride Auktionsverfahren scheint ein vielverspre-

chender Ansatz zu sein, um mit dem Präferenzoffenbarungsproblem von kombinatorischen Auktionen umzugehen. Die numerischen Ergebnisse haben gezeigt, dass im Gegensatz zur kostenoptimalen Lösung Verbesserungen über die Gesamtdistanz der Transportwege erzielt werden, die Auslastung der Hauptläufe jedoch unberücksichtigt bleibt. Ein Forschungsbedarf besteht darin, Kapazitätsaspekte bei Interpolation der fehlenden Gebietspreise zu integrieren.

Ein kritischer Punkt beim hybriden Modell ist die Mehrrundigkeit. Aufgrund der beschränkten Ressourcen werden Logistikdienstleister nur dann Bündelgebote generieren, wenn dadurch ihre Erfolgswahrscheinlichkeiten steigen. Ein weiterer Forschungsbedarf besteht darin, neue Auktionsregeln zu untersuchen, die Anreize für den Logistikdienstleister geben, um Bündelgebote zu offenbaren. Ein möglicher Weg dazu sind Auktionsregeln, die in die nächste Runde nur einen Teil der Logistikdienstleister zulassen, sodass von Runde zu Runde die Anzahl der Bieter abnimmt und die Erfolgswahrscheinlichkeiten der verbliebenen Logistikdienstleister steigen.

Ferner ist zu überprüfen, ob das hybride Modell auch für die gebietsweise Vergabe von anderen Transportleistungen, wie Stückgutnetzen oder Komplettladungsnetzen, übertragbar ist, da in bisherigen Arbeiten für die Vergabe von Transportleistungen die Bündelung entweder durch den Dienstleister oder durch den Verlader betrachtet wurde.

Bei unseren Untersuchungen der Vergabeszenarien haben wir nur den Effekt von Gebietsauktionen eines Verladers zu einem bestimmten Zeitpunkt festgehalten. Caplice und Sheffi beschreiben die langfristigen Beziehungen zwischen Logistikdienstleistern und Verladern als sich periodisch wiederholende Auktionen.¹ Ein weiteres Potenzial von kombinatorischen Auktionen kann darin gesehen werden, sequenziell oder simultan stattfindende Verladerauktionen durch eine gemeinsame kombinatorische Auktion zu modellieren. Durch eine gemeinsame Lösung der Allokationsprobleme über mehrere Verlader könnten somit die größten Synergieeffekte realisiert werden, die quasi eine Branchenlösung darstellt.² Dafür müssten für die Verlader Anreize geschaffen werden, um an einer solchen simultanen Multi-Verladerauktion teilzunehmen, da kein Verlader schlechter dastehen darf als vorher. Die Auktion müsste in diesem Fall von einer vertraulichen, unabhängigen Organisation, beispielsweise von einem 4PL-Dienstleister, durchgeführt werden.

Alle in dieser Arbeit durchgeführten Auktionen basieren auf künstlichen Daten, die möglichst realitätsnah erzeugt wurden. Für die Generalisierbarkeit der Ergebnisse dieser Studie können zum einen Praxisdaten eines Logistiknetzwerkes herangezogen werden, zum anderen können Laborexperimente durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob durch das Verhalten der Marktteilnehmer vergleichbare Auktionsergebnisse zu den von uns durchgeführten Rechnersimulationen realisiert werden.

¹Vgl. Caplice und Sheffi (2006), S. 557.

²Vgl. Fuhrmann (1997), S. 51.

Literaturverzeichnis

- [An u. a. 2005] AN, N. ; ELMAGHRABY, W. ; KESKINOCAK, Pinar: Bidding Strategies and thier Impact on Revenues in Combinatorial Auctions. In: *Journal of Revenue & Pricing Management* 3 (2005), S. 337–357
- [Andersson und Norrman 2002] ANDERSSON, D. ; NORRMAN, A.: Procurement of logistic services- a minutes work or a multi-year project? In: *European Journal of Purchasing & Supply Management* 8 (2002), S. 3–14
- [Astradi 2014] ASTRADI: *Astradi Faltbroschüre*. 2014. – URL http://www.astradi.com/de/uploads/documents/Astradi_Faltbroschuere.pdf. – Zugriff am 23. Dezember 2014
- [BAG 2005] BAG: Marktbeobachtung Güterverkehr / Bundesamt für Güterverkehr. Februar 2005. – Forschungsbericht
- [BAG 2006] BAG: Marktbeobachtung Güterverkehr - Internetgestützt Frachtvermittlung / Bundesamt für Güterverkehr. Februar 2006. – Forschungsbericht
- [BAG 2010] BAG: Struktur der Unternehmen des gewerblichen Güterverkehrs und des Werksverkehrs / Bundesamt für Güterverkehr. November 2010. – Forschungsbericht
- [Baldacci u. a. 2008] BALDACCI, R. ; BATTARRA, M. ; VIGO, D.: Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles. In: GOLDEN, Bruce (Hrsg.) ; RAGHAVAN, S. (Hrsg.) ; WASIL, Edward (Hrsg.): *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* Bd. 43. Springer US, 2008, S. 3–27
- [Baldacci u. a. 2004] BALDACCI, R. ; HADJICONSTANTINO, E. ; MINGOZZI, A.: An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. In: *Operations Research* 52(5) (2004), S. 723–738
- [Baumol und Wolfe 1958] BAUMOL, W.J. ; WOLFE, P.: A Warehouse-Location Problem. In: *Operations Research* 6 (1958), S. 252–263
- [Bensel 2010] BENSEL, P.: *Geschäftsmodelle von Logistikdienstleistern im Umfeld des Ubiquitous Computing*. Technische Uni Berlin, 2010

- [Bichler 2010] BICHLER, M.: Combinatorial Auctions: Complexity and Algorithms. In: *Wiley Encyclopedia on Operations Research and Management Science*. Wiley, 2010
- [Bichler u. a. 2006] BICHLER, M. ; DAVENPORT, A. ; HOHNER, G. ; KALAGNANAM, J.: *Combinatorial Auctions*. Kap. Industrial Procurement Auctions, S. 593–612, The MIT Press, 2006
- [Bichler u. a. 2005] BICHLER, M. ; PIKOVSKY, A. ; SETZER, T.: Kombinatorische Auktionen in der betrieblichen Beschaffung – Eine Analyse grundlegender Entwurfsprobleme. In: *Wirtschaftsinformatik* 47 (2005), S. 126–134
- [Bretzke 2004] BRETZKE, R.: *Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik*. Kap. Vom Make zum Buy, S. 27–52, Gabler, 2004
- [Bretzke 2010] BRETZKE, R.: *Logistische Netzwerke*. Springer, 2010
- [Bräklings und Oidtmanns 2012] BRÄKLING, E. ; OIDTMANN, K.: *Power in Procurement*. Gabler, 2012
- [Buer 2011] BUER, T.: *Mehrkriterielle Zuschlagserteilung in kombinatorischen Transportausschreibungen*, FernUniversität Hagen, Dissertation, 2011
- [Caplice 1996] CAPLICE, C.: *An Optimization Based Bidding Process: A New Framework for Shipper-Carrier Relationships*, Massachusetts Institute of Technology, Dissertation, 1996
- [Caplice und Sheffi 2003] CAPLICE, C. ; SHEFFI, Y.: Optimization-based procurement for transportation services. In: *Journal of Business Logistics* 24 (2003), S. 109–128
- [Caplice und Sheffi 2006] CAPLICE, C. ; SHEFFI, Y.: *Combinatorial Auctions*. Kap. Combinatorial Auctions for Trucload Transportation, S. 539–571, MIT Press, 2006
- [Christopher 2005] CHRISTOPHER, M.: *Logistics and Supply Chain Management*. Financial Times Prentice Hall, 2005
- [Clarke und Wright 1964] CLARKE, G. ; WRIGHT, J. W.: Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. In: *Operations Research* 12(4) (1964), S. 568–581
- [Conen und Sandholm 2001] CONEN, W. ; SANDHOLM, T.: Preference Elicitation in Combinatorial Auctions. In: *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Electronic Commerce (EC-01)*, 2001, S. 256–259

- [Crainic 2000] CRAINIC, T.G.: Service network design in freight transportation. In: *European Journal of Operational Research* 122 (2000), S. 272–288
- [Current u. a. 2001] CURRENT, J. ; DASKIN, M. ; SCHILLING, D.: *Facility Location: Applications and Theory*. Edited by. Kap. Discrete Network Location Models, S. 83–120, Springer, 2001
- [DBResearch 2008] DBRESEARCH: Logistik in Deutschland / Deutsche Bank Research. 10 2008. – Forschungsbericht. Aktuelle Themen 432
- [Domschke u. a. 1997] DOMSCHKE, W. ; SCHOLL, A. ; VOSS, S.: *Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte*. Springer, 1997
- [Ebner 1997] EBNER, Gunnar: *Controlling komplexer Logistiknetzwerke*. Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e.V., 1997
- [Eichstädt 2008] EICHSTÄDT, T.: *Einsatz von Auktionen im Beschaffungsmanagement*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [Elender 2004] ELENDER, Thomas: *Winner Determination in Combinatorial Auctions: Market-based Scheduling*. Logos Berlin, 2004
- [Elmaghraby und Keskinocak 2005] ELMAGHRABY, W. ; KESKINOCAK, P.: *The practice of supply chain management. Where Theory and Application Converge*. Kap. Combinatorial Auctions in Procurement, S. 245–258, Springer, 2005
- [Feige 2008] FEIGE, D.: *Gabler Logistik Lexikon*. Kap. Modellkosten, S. 428–430, Gabler, 2008
- [Fleischmann 1979] FLEISCHMANN, B.: Distributionsplanung. In: *Proceedings in Operations Research* 8, 1979
- [Fleischmann 1993] FLEISCHMANN, B.: Designing distribution systems with transport economies of scale. In: *European Journal of Operational Research* 70 (1993), S. 31–42
- [Fleischmann 2008a] FLEISCHMANN, B: Grundlagen: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse. In: ARNOLD, D. (Hrsg.) ; ISERMANN, H. (Hrsg.) ; AXEL KUHN, A. (Hrsg.) ; TEMPELMEIER, H. (Hrsg.) ; FURMANS, K. (Hrsg.): *Handbuch Logistik*. VDI-Buch, 2008, S. 3–34
- [Fleischmann 2008b] FLEISCHMANN, B: *Handbuch Logistik*. Kap. Transport- und Tourenplanung, S. 137–153, VDI-Buch, 2008

- [Flender u. a. 2008] FLENDER, H. ; RIHA, I. ; REINHOLZ, A. ; SCHNEIDER, H.: Transportnetzplanung unter Betrachtung der Kosten-/Nutzenallokation am Beispiel der Versorgungslogistik eines Automobilherstellers / Universität Dortmund. 2008. – Forschungsbericht
- [Fohr 2009] FOHR, M.: Effizienzsteigerung in der automobilen Supply Chain - Mit Logistikkonzepten Volumenschwankungen begegnen. In: *Beschaffung aktuell* (2009), S. 44–45
- [Fuhrmann 1997] FUHRMANN, R.: *Vahlens Großes Logistiklexikon*. Kap. Gebietsspediteur, S. S.328–330, Verlag C.H. Beckmann, 1997
- [Gleißner und Femerling 2008] GLEISSNER, H. ; FEMERLING, J.C.: *Logistik. Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele*. Gabler, 2008
- [Goeree und Holt 2010] GOEREE, J. K. ; HOLT, C. A.: Hierarchical package bidding: A paper & pencil combinatorial auction. In: *Games and Economic Behavior* 70(1) (2010), S. 146–169
- [Golden u. a. 1984] GOLDEN, B ; ASSAD, A. ; LEVY, L. ; GHEYSENS, F.: The fleet size and mix vehicle routing Problem. In: *Computers & Operations Research* 11 (1984), S. 49–66
- [Gould 1969] GOULD, J.: The Size and Composition of a Road Transport Fleet. In: *Operational Research Quarterly* 20(1) (1969), S. 81–92
- [Göpfert und Grünert 2009] GÖPFERT, I. ; GRÜNERT, M.: *Logistik der Zukunft - Logistics for the future*. Kap. Logistiknetze der Zukunft - Das neue Hersteller-Zulieferer-Verhältnis in der Automobilindustrie., S. 127–166, Gabler, 2009
- [Guastaroba u. a. 2009] GUASTAROBA, G. ; MANSINI, R. ; SPERANZA, M.G.: *Innovations in Distribution Logistics*. Kap. Modeling The Pre-Auction Stage: The Truckload Case, S. 219–233, Springer, 2009
- [Gudehus 2010] GUDEHUS, T.: *Logistik : Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. Springer, 2010
- [Hakimi 1964] HAKIMI, S. L.: Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. In: *Operations Research* 12 (1964), S. 450–459
- [Hakimi 1965] HAKIMI, S. L.: Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. In: *Operations Research* 13, Nr.3 (1965), S. 462–475
- [Heinrichmeyer 1998] HEINRICHMEYER, H.: *Handbuch der Verkehrslogistik*. Kap. Grundlagen der Netzoptimierung, S. 185–199, Springer, 1998

- [Hudson und Sandholm 2004] HUDSON, B. ; SANDHOLM, T.: Effectiveness of Query Types and Policies for Preference Elicitation in Combinatorial Auctions. In: *International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems*, 2004
- [Iskan 2009] ISKAN, S.: *Verkehrsmittelwahl für internationale Lieferbeziehungen. Dargestellt am Beispiel der Automotive Industrie. Mit einer Studie zum türkischen Logistik-Markt und zur Automotive Industrie*. DVV MediaGroup, 2009
- [Jayaraman und Ross 2003] JAYARAMAN, V. ; ROSS, A.: A simulated annealing methodology to distribution network design and management. In: *European Journal of Operational Research* 144 (2003), S. 629–645
- [Jünemann und Schmidt 2000] JÜNEMANN, R ; SCHMIDT, T: *Materialflußsysteme: Systemtechnische Grundlagen*. Springer, 2000
- [Kempkes 2009] KEMPKE, J. P.: *Kostenoptimale Materialflüsse in der operativen Zulieferungslogistik der Nutzfahrzeugindustrie*, Universität Paderborn, Dissertation, 2009
- [Kille 2012] KILLE, C: *Gabler Lexikon Logistik*. Kap. KEP-Märkte und Dienste, S. 263–267, Springer Gabler, 2012
- [Kille und Schwemmer 2012] KILLE, C. ; SCHWEMMER, M.: *Die Top 100 der Logistik, Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer*. DVZ, 2012
- [Kirby 1959] KIRBY, D.: Is Your Fleet the Right Size? In: *Operational Research Quarterly* 10 (1959), S. 252
- [Klaus und Kille 2012] KLAUS, P. ; KILLE, C.: *Gabler Lexikon Logistik*. Kap. Kontraktlogistik, S. 285–289, Gabler, 2012
- [Klaus u. a. 2012] KLAUS, P. (Hrsg.) ; KRIEGER, W. (Hrsg.) ; KRUPP, M. (Hrsg.): *Gabler Lexikon Logistik*. Springer Gabler, 2012
- [Klein und Scholl 2011] KLEIN, R. ; SCHOLL, A.: *Planung und Entscheidung: : Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse*. Vahlen, 2011
- [Klose 2001] KLOSE, A.: *Standortplanung in distributiven Systemen: Modelle, Methoden, Anwendungen*. Physica., 2001
- [Klug 2010] KLUG, Florian: *Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau (VDI-Buch)*. Springer, 2010
- [Kraus 1997] KRAUS, S.: *Distributionslogistik im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie*. GVB Schriftreihe, 1997

- [Kwasnica u. a. 2005] KWASNICA, A. M. ; LEDYARD, J. O. ; PORTER, D. ; DEMARTINI, C.: A New and Improved Design for Multiobject Iterative Auctions. In: *Management Science* 51(3) (2005), S. 419–434
- [Lahaie und Parkes 2004] LAHAIE, S.M. ; PARKES, D.C.: Applying Learning Algorithms to Preference Elicitation. In: *EC'04 Proceedings on the 5th ACM Conference on Electronic Commerce*, May 2004
- [Laporte 1992] LAPORTE, G.: The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. In: *European Journal of Operational Research* 59 (1992), S. 345–358
- [Lauterbach u. a. 2014] LAUTERBACH, B. ; METZGER, D. ; SAUER, D. S. ; KAPPAUF, J. ; GOTTLIEB, J. ; SÜRLE, Christopher: *Transportation Management with SAP® TM*. Galileo Press, 2014
- [Ledyard u. a. 2002] LEDYARD, J.O. ; OLSON, M. ; PORTER, D. ; SWANSON, J.A. ; TORMA, D.P.: The First Use of a Combined-Value Auction for Transportation Services. In: *Interfaces* 32 (2002), S. 4–12
- [Lee u. a. 2006] LEE, Y.H. ; JUNG, J.W. ; LEE, K.M.: Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain. In: *Computers & Industrial Engineering* 51(2) (2006), S. 247–256
- [Lehmann u. a. 2006] LEHMANN, D. ; MÜLLER, R. ; SANDHOLM, T.: *Combinatorial Auction*. Kap. The Winner Determination Problem, S. 297–317, The MIT Press, 2006
- [Lischke 2008] LISCHKE, Melanie: *Umsetzung von 4PL-Konzepten in Logistikunternehmen. Am Beispiel der Supply Chain der Automobilindustrie*. Diplom.de, 2008
- [McAfee und McMillan 1987] MCAFEE, R. ; MCMILLAN, P. J.: Auctions and bidding. In: *Journal of Economic Literature* 25 (1987), S. 699–738
- [McAfee 1998] MCAFEE, R. P.: Four Issues in Market Design. In: *Revista Analisis Economico* 13 (1998), S. 7–24
- [McMillan 1994] MCMILLAN, J.: Selling spectrum rights. In: *Journal of Economic Perspectives* 8 (3) (1994), S. 145–162
- [Miemczyk und Holweg 2004] MIEMCZYK, J. ; HOLWEG, M.: Building cars to customer order - what does it mean for inbound logistic operations? In: *Journal of Business Logistics* 25 (2004)
- [Müller und Klaus 2009] MÜLLER, S. ; KLAUS, P.: *Die Zukunft des Ladungsverkehrs in Europa*. Deutscher Verkehrs-Verlag, 2009

- [Müller-Daupert 2009] MÜLLER-DAUPERT, B.: *Logistik-Outsourcing*. Kap. Ausschreibung und Vergabe von Logistikleistungen, S. 35–64, Vogel, 2009
- [Mole 1975] MOLE, R.H.: Dynamic Optimization of Vehicle Fleet Size. In: *Operational Research Quarterly* 26(1) (1975), S. 25–34
- [Moore u. a. 1991] MOORE, E. W. ; WARMKE, J. M. ; GORBAN, L. R.: The Indispensable Role of Management Science in Centralizing Freight Operations at Reynolds Metals Company. In: *Interfaces* 21(1) (1991), S. 107–129
- [Nagy und Salhi 2007] NAGY, G. ; SALHI, S.: Location-routing: Issues, models and methods. In: *European Journal of Operations Research* 177 (2007), S. 649–672
- [Nisan 2006] NISAN, N.: *Combinatorial Auctions*. Kap. Bidding Languages for Combinatorial Auctions, S. 215–231, The MIT Press, 2006
- [Paraschis 1989] PARASCHIS, I. N.: *Optimale Gestaltung von Mehrprodukt-Distributionsystemen*. Physica-Verlag Heidelberg, 1989
- [Parbel 1981] PARBEL, J.: *RKW-Handbuch Logistik*. Kap. Gebietsspediteur-Systeme in der Beschaffungs-Logistik. Kennziffer 8580., S. 1–13, Erich Schmidt Verlag, 1981
- [Parkes 2006] PARKES, D. C.: *Combinatorial Auctions*. Kap. Iterative Combinatorial Auctions, S. 41–77, MIT Press, 2006
- [Pekec und Rothkopf 2003] PEKEC, A. ; ROTHKOPF, M. H.: Combinatorial auction design. In: *Management Science* 49(11) (2003), S. 1485–1503
- [Pfohl 2003] PFOHL, H. C.: *Güterverkehr – Eine Integrationsaufgabe für die Logistik: Entwicklungen – Auswirkungen – Lösungsmöglichkeiten*. Erich Schmidt Verlag, 2003
- [Pfohl 2010] PFOHL, H. C.: *Logistiksysteme*. Springer, 2010
- [Pikovsky 2008] PIKOVSKY, A.: *Pricing and Bidding Strategies in Iterative Combinatorial Auctions*, TU München, Dissertation, 2008
- [Plummer 2003] PLUMMER, C.: *Bidder Response to Combinatorial Auctions in Truckload Procurement*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, Diplomarbeit, 2003
- [Porter u. a. 2003] PORTER, D. ; RASSENTI, S. ; ROOPNARINE, A. ; VERNON SMITH, V.: Combinatorial auction design. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2003, S. 11153–11157
- [Precht 2007] PRECHT, P.: *Neue Wege in der Automobillogistik. Die Vision der Supra-Adaptivität*. Kap. Ausschreibungen von Logistikdienstleistungen: Gegenüberstellung von Industrie- und Logistikdienstleister-Sicht, S. 259–270, Springer, 2007

- [Rothkopf u. a. 1998] ROTHKOPF, M. H. ; PEKEC, A. ; HARSTAD, R. M.: Computationally Manageable Combinational Auctions. In: *Management Science* 44(8) (1998), S. 1131–1147
- [Sandholm 2006] SANDHOLM, T.: *Combinatorial Auction*. Kap. Optimal Winner Determination Algorithms, S. 337–368, The MIT Press, 2006
- [Sandholm und Boutilier 2006] SANDHOLM, T. ; BOUTILIER, C.: *Combinatorial Auctions*. Kap. Preference Elicitation in Combinatorial Auctions, S. 233–264, MIT Press, 2006
- [Sandholm 2002] SANDHOLM, Tuomas: Algorithm for optimale winner determination in combinatorial auctions. In: *Artificial Intelligence* 135 (2002), S. 1–54
- [Scheffel u. a. 2012] SCHEFFEL, T. ; ZIEGLER, G. ; BICHLER, M.: On the Impact of Cognitive Limits on the Combinatorial Auctions: A Experimental Study in the Context of Spectrum Auctions Design. In: *Experimental Economics* 15 (2012), S. 667–692
- [Schittekat und Sørensen 2009] SCHITTEKAT, P. ; SÖRENSEN, K.: Supporting 3PL decisions in the automotive industry by generating diverse solutions to a large-scale location–routing problem. In: *Operations Research* 57(5) (2009), S. 1058–1067
- [Schmitz 2005] SCHMITZ, Michael ; KUHN, A. (Hrsg.): *Modellierung und Simulation von Gebietsspediteurnetzen in der Automobilindustrie*. Verlag Praxiswissen, 2005
- [Schöneberg 2013] SCHÖNEBERG, T.: *Selecting cost minimal Delivery Profiles and Assessing the Impact on Cost and Delivery Schedule Stability in Area Forwarding Inbound Logistics Networks in the Automotive Industry.*, Universität Paderborn, Dissertation, 2013
- [Schöneberg u. a. 2010] SCHÖNEBERG, T. ; KOBERSTEIN, A. ; SUHL, L.: An optimization model for automated selection of economic and ecologic delivery profiles in area forwarding based inbound logistic networks. In: *Flexible Services and Manufacturing Journal* 22 (2010), S. 214–235
- [Schöneberg u. a. 2013] SCHÖNEBERG, T. ; KOBERSTEIN, A. ; SUHL, L.: A stochastic programming approach to determine robust delivery profiles in area forwarding inbound logistics networks. In: *OR Spectrum* 35 (2013), S. 807–834
- [Schorb 2007] SCHORB, Ulrich: Synchronisation der Wertschöpfung versus kostengünstige Anlieferung - Ein Konflikt? Rhenus Logistics (Veranst.), 2007
- [Schwind 2007] SCHWIND, M.: *Dynamic Pricing and Automated Resource Allocation for Complex Information Services: Reinforcement Learning and Combinatorial Auctions*. Springer, 2007

- [Seiler 2012] SEILER, T.: *Operative Transportation Planning: Solutions in Consumer Goods Supply Chains*. Physica, 2012
- [Shannon 1998] SHANNON, R.E.: Introduction to the art and science of simulation. In: *Proceeding WSC '98 Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*, 1998
- [Sänger 2004] SÄNGER, Frank: *Elektronische Transportmärkte*. Deutscher Universitäts-Verlag, 2004
- [Spree 2009] SPREE, P.: Autoindustrie stellt die Auftragsvergabe um. In: *VerkehrsRundschau* 38 (2009), S. 20–21
- [Sung und Song 2003] SUNG, C. S. ; SONG, S. H.: Integrated Service Network Design for a Cross-Docking Supply Chain Network. In: *The Journal of the Operational Research Society* 54(12) (2003), S. 1283–1295
- [Syntetos und Boylan 2001] SYNTETOS, A. A. ; BOYLAN, J. E.: On the bias of intermittent demand estimates. In: *Int. J. Production Economics* 71 (2001), S. 457–466
- [Toregas u. a. 1971] TOREGAS, C. ; SWAIN, R. ; REVELLE, C. ; BERGMAN, L.: The Location of Emergency Service Facilities. In: *Operations Research* 19(6) (1971), S. 1363–1373
- [Toth und Daniele Vigo 2002] TOTH, P. ; DANIELE VIGO, D.: Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. In: *Discrete Applied Mathematics* 123 (2002), S. 487–512
- [Tripp 2003] TRIPP, C.: *Mittelstandskooperationen auf dem Prüfstand - Chancen und Risiken mittelständischer Stückgut-Kooperationen in Deutschland*. Fraunhofer Arbeitsgruppe für Technologien der Logistik-Dienstleistungswirtschaft ATL, 2003
- [Tripp 2004] TRIPP, Christoph: *Mittelstand und Kontraktlogistik: Chancen und Risiken mittelständischer Logistikdienstleister in der Kontraktlogistik*. Fraunhofer Arbeitsgruppe für Technologien der Logistik-Dienstleistungswirtschaft ATL, 2004
- [o. V. 2005] V. o.: *Güterfernverkehrsente. Unverbindliche Frachtvereinbarungstabellen für den Güterfernverkehr*. Verkehrsverlag Fischer, 2005
- [VDA 2008] VDA: VDA 5010. Standardbelieferungsformen der Logistik in der Automobilindustrie. / Verband der Automobilindustrie. 08 2008. – Forschungsbericht
- [VDA 2014] VDA: *Anzahl der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland von November 2013 bis November 2014*. Dezember 2014. – URL <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/76739/umfrage/>

- [neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/](#). – In Statista - Das Statistik-Portal. Zugriff am 15. Dezember 2014.
- [Wagner 2006] WAGNER, B.: *Hub&Spoke-Netzwerke in der Logistik: Modellbasierte Lösungsansätze für ihr Design*. DUV, 2006
- [Wannenwetsch 2009] WANNENWETSCH, H.: *Erfolgreiche Verhandlungsführung in Einkauf und Logistik: Praxiserprobte Erfolgsstrategien und Wege der Kostensenkung*. Springer, 2009
- [Weddewer 2007] WEDDEWER, M.: *Verrechnungspreissysteme Für Horizontale Speditionsnetzwerke: Simulationsgestützte Gestaltung und Bewertung*. DUV, 2007
- [Wen u. a. 2009] WEN, M. ; LARSEN, J. ; CLAUSEN, J. ; CORDEAU, J.F. ; LAPORTE, G.: Vehicle routing with cross-docking. In: *Journal of the Operational Research Society* 60 (2009), S. 1708 –1718
- [Werr und Scheuerer 2007] WERR, H. ; SCHEUERER, S.: *Management logistischer Netzwerke - Entscheidungsunterstützung, Informationssysteme und OR-Tools*. Kap. Reorganisation eines europäischen Distributions- und Beschaffungsnetzwerkes, S. 23–44, Physica-Verlag, 2007
- [Wieberneit 2008] WIEBERNEIT, N.: Service network design for freight transportation: a review. In: *OR Spectrum* 30 (2008), S. 77–112
- [Wiedmann 2006] WIEDMANN, J.: *Gebietsspediteurkonzept als Strategie der Beschaffungslogistik*, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen - Geislingen, Diplomarbeit, 2006
- [Wildemann 2001] WILDEMAN, H.: *Das Just-In-Time Konzept: Produktion und Zulieferung auf Abruf*. TCW Transfer-Centrum Verlag GmbH, München, 2001
- [Wildemann und Faust 2004] WILDEMAN, H. ; FAUST, P.: Partnerschaft nach Konzept. In: *Logistik Heute* 10 (2004), S. 36–37
- [Wittenbrink 2011] WITTENBRINK, Paul: *Transportkostenmanagement im Straßen-güterverkehr. Grundlagen - Optimierungspotentiale - Green Logistics*. Gabler, 2011
- [Wrobel und Klaus 2009] WROBEL, H. ; KLAUS, P.: *Projektanbahnung in der Kontraktlogistik: Eine empirische Studie zum Status Quo und zu den Erfolgsfaktoren im Vertrieb und dem Einkauf von Kontraktlogistikdienstleistungen*. Fraunhofer Verlag, 2009
- [Wyatt 1961] WYATT, J. K.: Optimal Fleet Size. In: *Operational Research Quarterly* 12 (1961), S. 186–187

- [Zadek 2003] ZADEK, H.: *Supply Chain Steuerung und Services*. Kap. Struktur des Logistik-Dienstleistungsmarktes, S. 15–28, Springer, 2003
- [Zhang und Li 2007] ZHANG, Y. ; LI, J.: Dynamic Optimal Model of Vehicle Fleet Size and Exact Algorithm. In: *Systems Engineering - Theory & Practice* 27(2) (2007), S. 83–91
- [Zinkevich u. a. 2003] ZINKEVICH, M. ; BLUM, A. ; SANDHOLM, T.: On Polynomial-Time Preference Elicitation with Value Queries. In: *Proceedings of the 4th ACM Conference on Electronic Commerce*, 2003, S. 176–185
- [Özkaya u. a. 2010] ÖZKAYA, E. ; KESKINOCAK, P. ; JOSEPH, V.R. ; WEIGHT, R.: Estimating and benchmarking Less-than-Truckload market rates. In: *Transportation Research Part E* 46 (2010), S. 667–682

Anhang A.

Datentabellen

Auktionsverfahren	Mittelwert Transportpreise
CherryPicking	1.399.299
Einfach	1.452.488
Einfach m. Bed.	1.439.459
Hierarchie	1.419.601
Hybrid	1.344.814
Kom. Auktion	1.367.838
Kom. Auktion m. bed. G.	1.349.658
Kom. Auktion m. voll. G.	1.336.564

Tabelle A.1.: Daten von Abbildung 8.3

Auktionsverfahren	Rel. abw. Transportkosten
CherryPicking	4,69%
Einfach	8,67%
Einfach m. Bed.	7,70%
Hierarchie	6,21%
Hybrid	0,62%
Kom. Auktion	2,34%
Kom. Auktion m. bed. G.	0,98%
Kom. Auktion m. voll. G.	0,00%

Tabelle A.2.: Daten von Abbildung 8.4

Rel. abw. Transportkosten	20%*	40%	60%	80%	100%
CherryPicking	4,69%	2,93%	2,45%	1,99%	1,40%
Einfach	8,67%	3,92%	2,22%	1,53%	1,04%
Einfach m. Bed.	7,70%	3,40%	1,89%	1,12%	0,71%
Hierarchie	6,21%	3,58%	2,09%	1,50%	1,02%
Hybrid	0,62%	0,43%	0,46%	0,45%	0,35%
Kom. Auktion	2,34%	1,49%	1,38%	1,26%	0,91%
Kom. Auktion m. bed. G.	0,98%	0,65%	0,60%	0,58%	0,39%
Kom. Auktion m. voll. G.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle A.3.: Daten von Abbildung 8.5

Anzahl Gebiete pro LDL	20%*	40%	60%	80%	100%
CherryPicking	2,7	2,31	1,98	1,89	1,79
Einfach	2	2	2	2	2
Einfach m. Bed.	2	1,96	1,97	2	1,94
Hierarchie	3,37	2,23	2,07	2,01	1,93
Hybrid	3,84	3,08	2,65	2,44	2,2
Kom. Auktion	3,59	3,01	2,52	2,23	2,08
Kom. Auktion m. bed. G.	4,27	3,49	3,1	2,83	2,57
Kom. Auktion m. voll. G.	4,71	3,81	3,34	3,12	2,66

Tabelle A.4.: Daten von Abbildung 8.6

€/tkm	20%*	40%	60%	80%	100%
CherryPicking	0,137	0,121	0,114	0,110	0,108
Einfach	0,142	0,123	0,114	0,110	0,108
Einfach m. Bed.	0,140	0,122	0,114	0,109	0,107
Hierarchie	0,139	0,122	0,114	0,110	0,108
Hybrid	0,131	0,118	0,112	0,109	0,107
Kom. Auktion	0,133	0,120	0,113	0,109	0,108
Kom. Auktion m. bed. G.	0,132	0,119	0,112	0,109	0,107
Kom. Auktion m. voll. G.	0,130	0,118	0,112	0,108	0,107

Tabelle A.5.: Daten von Abbildung 8.8

Hauptlaufauslastung	20%*	40%	60%	80%	100%
CherryPicking	71,5%	79,5%	83,2%	86,5%	88,9%
Einfach	68,9%	81,3%	86,9%	89,9%	91,9%
Einfach m. Bed.	68,1%	79,7%	85,4%	88,6%	90,9%
Hierarchie	73,1%	81,8%	86,9%	89,8%	91,8%
Hybrid	76,8%	84,4%	86,7%	89,0%	90,4%
Kom. Auktion	78,4%	85,2%	87,4%	89,0%	91,3%
Kom. Auktion m. bed. G.	81,4%	86,9%	89,5%	91,1%	92,3%
Kom. Auktion m. voll. G.	84,0%	89,1%	91,5%	92,8%	93,5%

Tabelle A.6.: Daten von Abbildung 8.9

Gesamtdistanz	20%*	40%	60%	80%	100%
CherryPicking	566	552	551	554	548
Einfach	533	531	542	547	545
Einfach m. Bed.	538	534	543	549	546
Hierarchie	586	544	547	547	545
Hybrid	568	556	553	537	532
Kom. Auktion	574	560	555	539	533
Kom. Auktion m. bed. G.	574	560	557	542	535
Kom. Auktion m. voll. G.	579	566	566	562	558

Tabelle A.7.: Daten von Abbildung 8.10

Rel. abw. Transportkosten	0 %*	10%	20%	30%
CherryPicking	4,69%	4,99%	5,44%	5,73%
Einfach	8,67%	8,94%	8,91%	9,41%
Einfach m. Bed.	7,70%	7,56%	6,88%	6,67%
Hierarchie	6,21%	6,27%	6,92%	6,58%
Hybrid	0,62%	0,46%	0,48%	0,54%
Kom. Auktion	2,34%	2,36%	2,50%	2,76%
Kom. Auktion m. bed. G.	0,98%	1,16%	1,27%	1,42%
Kom. Auktion m. voll. G.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle A.8.: Daten von Abbildung 8.11

Durchschn. Gewinnaufschlag	0 %*	10%	20%	30%
CherryPicking	0,00%	3,38%	6,31%	6,96%
Einfach	0,00%	3,34%	5,46%	6,53%
Einfach m. Bed.	0,00%	3,28%	5,35%	6,30%
Hierarchie	0,00%	3,29%	5,80%	6,51%
Hybrid	0,00%	2,94%	5,28%	5,56%
Kombinatorisch	0,00%	3,11%	5,49%	6,69%
Kombinatorisch m. bed. G.	0,00%	3,04%	5,36%	6,23%
Kombinatorisch m. voll. G.	0,00%	2,85%	4,86%	5,62%

Tabelle A.9.: Daten von Abbildung 8.12

Durchschn. LDL Kosten	0 %*	10%	20%	30%
CherryPicking	4,69%	5,38%	6,29%	8,00%
Einfach	8,67%	9,39%	10,67%	12,21%
Einfach m. Bed.	7,70%	8,06%	8,73%	9,63%
Hierarchie	6,21%	6,75%	8,30%	9,32%
Hybrid	0,62%	1,26%	2,28%	4,06%
Kom. Auktion	2,34%	3,00%	4,13%	5,23%
Kom. Auktion m. bed. G.	0,98%	1,87%	3,01%	4,30%
Kom. Auktion m. voll. G.	0,00%	0,88%	2,20%	3,44%

Tabelle A.10.: Daten von Abbildung 8.13

Rel. abw. Transportkosten	10	15	20	25	30*
CherryPicking	4,25%	4,78%	4,48%	4,68%	4,69%
Einfach	10,27%	9,88%	9,29%	9,00%	8,67%
Einfach m. Bed.	5,43%	6,98%	7,17%	7,87%	7,70%
Hierarchie	7,99%	7,44%	7,03%	6,51%	6,21%
Hybrid	1,08%	0,94%	0,65%	0,71%	0,62%
Kom. Auktion	3,63%	3,05%	2,51%	2,49%	2,34%
Kom. Auktion m. bed. G.	2,01%	1,53%	1,17%	1,23%	0,98%
Kom. Auktion m. voll. G.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle A.11.: Daten von Abbildung 8.14

Transportkosten	1	2	3	4	5	unbeschränkt
Kom. Auktion m. bed. G.	1.356.706	1.354.531	1.350.210	1.350.798	1.350.515	1.349.658
Kom. Auktion m. bed. G. (Modell)	1.386.620	1.375.873	1.362.297	1.356.673	1.354.378	1.352.158
Kom. Auktion	-	1.418.875	1.388.683	1.380.118	1.374.748	1.367.838

Tabelle A.12.: Daten von Abbildung 8.15

Transportkosten	1	2	3	4	5
Hybrid	1.386.772	1.357.020	1.348.101	1.345.294	1.344.814
Hybrid (Ist)	1.427.956	1.383.629	1.360.005	1.354.769	1.351.136
Hybrid (Modell)	1.252.352	1.301.803	1.330.026	1.339.916	1.339.014

Tabelle A.13.: Daten von Abbildung 8.16

Transportkosten	1	2	3	4	5
Hybrid	1.386.772	1.357.020	1.348.101	1.345.294	1.344.814
Hybrid passiv	1.387.236	1.362.245	1.353.749	1.350.225	1.349.064

Tabelle A.14.: Daten von Abbildung 8.17