

Produktion und Logistik

RESEARCH

Cornelia Warmer

Analyse, Gestaltung und Optimierung des Transports von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr



Springer Gabler

Produktion und Logistik

Reihe herausgegeben von

B. Fleischmann, Augsburg, Deutschland
M. Grunow, München, Deutschland
S. Helber, Hannover, Deutschland
K. Inderfurth, Magdeburg, Deutschland
H. Kopfer, Bremen, Deutschland
H. Meyr, Stuttgart, Deutschland
T. S. Spengler, Braunschweig, Deutschland
H. Stadler, Hamburg, Deutschland
H. Tempelmeier, Köln, Deutschland
G. Wäscher, Magdeburg, Deutschland
C. Bierwirth, Halle, Deutschland
K. Schimmelpfeng, Stuttgart, Deutschland
M. Fleischmann, Mannheim, Deutschland
H.-O. Günther, Berlin, Deutschland

Diese Reihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten der Produktion und Logistik. Aufgenommen werden vor allem herausragende quantitativ orientierte Dissertationen und Habilitationsschriften. Die Publikationen vermitteln innovative Beiträge zur Lösung praktischer Anwendungsprobleme der Produktion und Logistik unter Einsatz quantitativer Methoden und moderner Informationstechnologie.

Kontakt

Professor Dr. Thomas S. Spengler
Technische Universität Braunschweig
Institut für Automobilwirtschaft
und Industrielle Produktion
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/12449>

Cornelia Warmer

Analyse, Gestaltung und Optimierung des Transports von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Herbert Meyr

 Springer Gabler

Cornelia Warmer
Hohenheim, Deutschland

Dissertation Universität Hohenheim, 2017

D100

Produktion und Logistik

ISBN 978-3-658-22849-1

ISBN 978-3-658-22850-7 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-22850-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Geleitwort

Die vorliegende Arbeit ist motiviert durch einen Anwendungsfall bei der Bosch-Gruppe (BG). Sie ist aber übertragbar auf andere Sachgüter produzierende oder vertreibende Unternehmen, die ein Logistiksystem benutzen müssen, das eine große Menge und Vielfalt von Waren in kleinen Auftragsgrößen und hohen Transportfrequenzen bzgl. Vor- und Nachlauf im Landverkehr und bzgl. Hauptlauf im interkontinentalen Seeverkehr abwickelt. In einem solchen Netz spielen Bündelungseffekte eine große Rolle. Typischerweise werden solche Transporte durch Logistikdienstleister (LDL) durchgeführt, die zwei unterschiedliche Arten von Transporttarifen anbieten: Ihre Kunden können für den Seeverkehr entweder volle Container anmieten (Full Container-Load, FCL) und einen Fixpreis für den Container als Ganzes in Anspruch nehmen oder einen linear vom Gewicht oder Volumen (im Folgenden vereinfachend kurz als „Menge“ bezeichnet) abhängigen Preis für eine Teilladung (Less-than-Container-Load, LCL) bezahlen. In diesem Fall kann der LDL den verbleibenden Platz des Containers für andere Aufträge dieses Kunden oder von Drittkunden nutzen, um weitere Kostendegressionseffekte zu erzielen, von denen lediglich er profitieren würde.

Typischerweise liegen die Stückkosten eines volla ausgelasteten FCL-Transportes deutlich unter den Stückkosten eines volla ausgelasteten LCL-Transportes. Aus Sicht eines Verladers wie der BG lässt sich damit eine Break-Even-Menge finden, ab der es günstiger ist, einen Transportauftrag nicht mehr im LCL-, sondern im FCL-Modus zu versenden. Es stellt sich deswegen für ihn die Frage, ob er mehrere kleine Transportaufträge zu einer größeren Ladung bündeln kann, die diese Break-Even-Menge überschreitet und noch in einen Container passt. Voraussetzung ist, dass alle Transportaufträge eines Containers zumindest den gleichen Abfahrts- und Ankunftshafen besitzen. Wenn sie zusätzlich noch denselben Be- und/oder Entladeort teilen, lassen sich eventuell noch weitere Einsparungen in den Landverkehren der Vor- und/oder Nachläufe erzielen. Diese Problematik wird sehr komplex, wenn sehr viele Be- und Entladeorte zu betrachten sind, die global über mehrere Kontinente verteilt sind. Dann stellt sich zudem die Frage, welche Abfahrts- und Ankunftshäfen als „Hubs“ genutzt werden sollen, an denen Umschlagmöglichkeiten zur Konsolidierung der Transportaufträge in Container eingerichtet werden sollen und von bzw. an denen die entsprechenden Seeverkehre starten bzw. landen sollen. Da auch die Einrichtung solcher Hubs Kosten verursacht (sowohl mengenabhängig als auch mengenunabhängig als „Fixkosten“)

entsteht ein zusätzlicher Trade Off: Um Fixkosten für die Einrichtung bzw. dauerhafte Nutzung von Hubs zu sparen, würde ein Verlader gerne nur eine geringe Anzahl an Hubs nutzen. Je weniger Hubs zur Verfügung stehen, desto länger werden aber die Transportwege im Vor- und Nachlauf zu diesen Hubs, was die Transportkosten erhöht. Offensichtlich sind die (strategisch bis taktischen) Planungsprobleme der Auswahl von Hubs und der Zuordnung von Be- und Entladeorten zu Hubs eng mit dem (eigentlich operativen) Planungsproblem der Konsolidierung von Transportaufträgen zu FCLs verbunden, so dass eine integrierte Betrachtung sinnvoll ist.

Dieser widmet sich die Autorin. Sie entwickelt Optimierungsmodelle, um diese Situation vereinfachend abzubilden und zu lösen, und testet deren Praxistauglichkeit an beispielhaften Daten der BG. Hierbei kann sie auf eine ausgereifte wissenschaftliche Literatur zu sog. „Hub-Location-Modellen“ zurückgreifen, die zur Standortoptimierung von Hubs in Flugnetzen und Gütertransportnetzen vorgeschlagen wurden. Diese nehmen aber typischerweise die Sicht des LDL ein, so dass ihnen die dem LDL für die Huberrichtung und Einrichtung/Abwicklung der Transporte tatsächlich entstehenden Kosten zugrunde liegen. Die Autorin nimmt dagegen die Sicht des Verladers ein, der die Fahrpläne der Reedereien für potentielle Hauptlaufverkehre nicht beeinflussen kann, dem die FCL- und LCL-Tarife eines (oder gegebenenfalls mehrerer konkurrierender) LDL vorgegeben sind und dem im Wesentlichen nur administrative Kosten für die Nutzung der Hubs entstehen, da die operativen Logistikprozesse selbst dort ebenfalls vom LDL durchgeführt werden. Insofern bestand hier tatsächlich eine Forschungslücke, in die die Autorin gestoßen ist.

Die Arbeit profitiert sehr von einer gelungenen Kombination aus wissenschaftlicher Theorie und Praxiserfahrung der Autorin. Bestehende Erkenntnisse der Wissenschaft werden anschaulich mit bisher nicht betrachteten Praxisanforderungen verknüpft. Wenn auch die abgeleiteten Handlungsempfehlungen des BG-Anwendungsfalles nicht direkt auf andere Unternehmen übertragbar sind, lässt sich doch die vorgeschlagene Vorgehensweise verallgemeinern. Ich empfehle dem/r interessierten Leser/in deswegen sehr die Lektüre dieses Buches und wünsche Frau Warmer eine weite Verbreitung ihres Werkes.

Prof. Dr. Herbert Meyr

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Projektleiter und Doktorand in der Zentralstelle Logistik bei der Robert Bosch GmbH und dem Lehrstuhl für Supply Chain Management an der Universität Hohenheim.

Ich möchte mich bei allen herzlich bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. Herbert Meyr, der mich während der Promotionszeit begleitet und die Arbeit hervorragend betreut hat. Die vielen ausführlichen Gespräche und konstruktiven Anmerkungen waren eine großartige Unterstützung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Katja Schimmelpfeng für ihre Bereitschaft bedanken, die Aufgabe des Zweitgutachters zu übernehmen. Ferner möchte ich Herrn Prof. Dr. Ernst Troßmann und Herrn Prof. Dr. Robert Jung danken, die ebenso Teil meiner Prüfungskommission waren. Ein weiterer Dank gilt den wissenschaftlichen Mitarbeitern am Lehrstuhl, die als Ansprechpartner stets zur Verfügung standen.

Für die Initiierung und Förderung der Arbeit sowie die vielen zielführenden Diskussionen möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Helmut Wleek bedanken. Er hat mir großes Vertrauen entgegengebracht und mich bis zum Abschluss dieser Arbeit begleitet und motiviert. Darüber hinaus haben mich viele weitere Kollegen während der Promotionszeit bei Bosch unterstützt, insbesondere gilt mein Dank Frau Christine Mezger-Behan und Herrn Marcus Schick.

Mein größter Dank gilt jedoch Gerd und meiner Familie für ihre Liebe und bedingungslose Unterstützung.

Cornelia Warmer

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	v
Vorwort	vii
Inhaltsverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xv
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	3
2 Grundlagen zur Planung von Transportnetzen	7
2.1 Transportstrukturen	8
2.1.1 Transportnetze	9
2.1.2 Kombiniertes Verkehr	10
2.1.3 Konsolidierung	19
2.1.4 Akteure	21
2.2 Planungsaufgaben	24
2.3 Entscheidung und Optimierung	26
2.3.1 Entscheidungstheorie	26
2.3.2 Operations Research	29
3 Praxisproblem	39
3.1 Rahmenbedingungen der Bosch-Gruppe	39
3.2 Planungsproblem	43
3.3 Anforderungen an ein Optimierungsmodell	47
3.4 Eingrenzen des Betrachtungsgegenstandes	51

4	Modellierung und Optimierung von Transportnetzen	53
4.1	Grundlagen und Begriffe	53
4.2	Das Hub Location Problem (HLP)	58
4.2.1	Das p-Hub Median Problem	61
4.2.2	Das Hub Location Problem mit Fixkosten	65
4.2.3	Das p-Hub Center Problem	66
4.2.4	Das Hub Covering Problem	67
4.3	Literaturüberblick	70
4.4	Ausgewählte Aspekte der Modellierung	77
4.4.1	Festlegung der Hubstandorte	77
4.4.2	Zuordnung	78
4.4.3	Kapazitätsbeschränkung	78
4.4.4	Unvollständiges Netzwerk	79
4.4.5	Nichtlineare Transportkosten	80
4.4.6	Berücksichtigung von Transportkosten und Transportzeit	84
4.4.7	Unsicherheit	86
4.4.8	Lagerung	87
4.5	Diskussion und Analyse	90
5	Optimierungsmodelle	93
5.1	Anforderungen und Abgrenzung der Problemstellung	93
5.2	Basisformulierung	95
5.2.1	Pfad-orientierte Formulierungsvariante	96
5.2.2	Stufen-orientierte Formulierungsvariante	105
5.3	Erweiterung der Basisformulierung	112
5.3.1	Modell bei Risiko	113
5.3.2	Modell mit multipler Allokation	116
5.3.3	Modell mit Lagerung	117
5.3.4	Modell „LCL ohne Hub möglich“	120
5.4	Diskussion und Analyse	121
6	Anwendung der Optimierungsmodelle	125
6.1	Herleitung der relevanten Daten	125
6.1.1	Sendungsdaten	126
6.1.2	Transportkosten	127
6.1.3	Hubstandorte und deren Kosten	133
6.1.4	Aufbereitung und Validierung der Daten für das Praxisproblem	135
6.2	Herleitung der Fallstudien	137

6.3	Demonstration der Optimierungsmodelle anhand eines kleinen Beispiels	139
6.3.1	Basisformulierung	140
6.3.2	Modell bei Risiko	142
6.3.3	Modell mit multipler Allokation	145
6.3.4	Modell mit Lagerung	146
6.3.5	Modell „LCL ohne Hub möglich“	147
6.4	Demonstration zum Umgang mit Unsicherheit	148
6.4.1	Untersuchung von Unsicherheitsfaktoren	148
6.4.2	Umgang mit unsicheren Bedarfen	154
6.4.3	Umgang mit Unsicherheit - Skalierbarkeit	160
6.5	Untersuchung verschiedener Netzwerkstrukturen	164
6.6	Lösung des Praxisfalls	168
6.7	Diskussion und Analyse	178
7	Zusammenfassung und Ausblick	179
	Literaturverzeichnis	183

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau der Arbeit	4
2.1	Allgemeine Struktur eines Leistungs- und Logistiksystems	8
2.2	Dreistufiges Transportnetz mit Sammel- und Verteilstationen	11
2.3	Weltweiter Containerumschlag in den Häfen	13
2.4	Entwicklung TEU-Kapazitäten der Vollcontainerflotte nach Größenbereichen	14
2.5	Intermodale Transportkette für maritime Containerlogistik	16
2.6	Exemplarischer Ausschnitt der Hafenanfahrtsreihenfolge der Dienste AE5 und AE9 Eastbound der Reederei Maersk	16
2.7	Exemplarischer Fahrplan der Route Asia-Europe (AE2) Westbound der Reederei Maersk	20
2.8	Arten der Konsolidierung	22
2.9	Übersicht verschiedener Logistikdienstleisterkonzepte	23
2.10	Planungsaufgaben des Netzwerkmanagements	26
2.11	Entscheidungsfeld mit Aktionsraum, Zustandsraum, Ergebnisraum	28
2.12	Lösungsbaum	32
3.1	Darstellung des Praxisproblems	40
3.2	Weltweite Verteilung der Sender und Empfänger von Teilladungen	42
3.3	Tarifgraphik für LCL- und FCL-Sendungen	42
3.4	Lösungsansatz mit Konsolidierungskonzepten	44
4.1	Darstellung eines einfachen Transportnetzwerkes	59
4.2	Flusserhaltung für Strom aus i am Knoten k	65
4.3	Darstellung einer linearen und konkaven Kostenfunktion	81
4.4	Stückweise lineare Approximierung	81
4.5	Kostenfunktion mit Fixkosten	84
5.1	Pfad-orientierte Formulierungsvariante	97
5.2	Zahlenbeispiel für reine BC und eine Kombination von BC und MC	105
5.3	Eingut-Fall bei der Stufen-orientierten Formulierung	106

5.4	Beispiel zum Eingut-Fall bei der Stufen-orientierten Formulierung	107
5.5	Mehrgut-Fall mit fiktiven Produkten	107
5.6	Mehrgut-Fall bei der Stufen-orientierten Formulierung	108
5.7	Beispiel zum Mehrgut-Fall bei der Stufen-orientierten Formulierung	109
6.1	Lineare Regression: Transportkosten Nachlauf FCL	130
6.2	Lineare Regression: Transportkosten Hauptlauf LCL	131
6.3	Lineare Regression: Transportkosten Hauptlauf FCL	132
6.4	Übersicht der betrachteten Fallstudien mit Sender-Empfänger-Verhältnis	138
6.5	Transportnetz von Fallstudie 1 mit allen zulässigen Relationen	140
6.6	Ermittelte Hubkonfiguration und Transportwege für KW3	141
6.7	Selektion der Hubstandorte bei Schwankung der Bedarfe	150
6.8	Abweichung der Zielfunktionswerte bei Hubfixierung	151
6.9	Einfluss der Sender-Empfänger-Konstellation auf die Variablenanzahl	166
6.10	Einfluss der Sender-Empfänger-Konstellation auf das Laufzeitverhältnis	167
6.11	Empfehlung für ein Konsolidierungsnetzwerk für Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr	173

Tabellenverzeichnis

2.1	Top 20 der größten Containerhäfen der Welt nach Umschlagsvolumen in Mio. TEU	15
2.2	Übersicht Fahrplaneinträge für die Relation Shanghai nach Hamburg	17
2.3	Symbolverzeichnis eines allgemeinen Optimierungsmodells	30
2.4	Symbolverzeichnis zum Wagner-Whitin-Losgrößenmodell	35
3.1	Unternehmenstypologie für das Praxisproblem	51
4.1	Modellvarianten des Hub Location Problems mit Ausprägungen	56
4.2	Symbolverzeichnis zum Hub Location Problem	59
4.3	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum p-Hub Median Problem	62
4.4	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zur Stufen-orientierten Formulierung	64
4.5	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum Hub Covering Problem	68
4.6	Gegenüberstellung der großen Problemklassen des Hub Location Problems	69
4.7	Literaturübersicht zur Herleitung des Forschungsbedarfs	72
4.8	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum HLP mit unvollständigem Hub-Netzwerk	79
4.9	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum HLP mit Kostendegression	82
4.10	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum HLP mit stochastischen Bedarfen	86
4.11	Symbolverzeichnis zum Inventory Routing Problem	88
5.1	Übersicht Abdeckung der Anforderungen an die Modellformulierung	96
5.2	Symbolverzeichnis zur Pfad-orientierten Formulierungsvariante	99
5.3	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum MC Konzept der Pfad-orientierten Formulierungsvariante	103
5.4	Symbolverzeichnis zur Stufen-orientierten Formulierungsvariante	109
5.5	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum MC Konzept der Stufen-orientierten Formulierungsvariante	111
5.6	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum Modell bei Risiko	113
5.7	Symbolverzeichnis zur multiplen Allokation und nichtlinearen Transportkosten im Vorlauf	116
5.8	Ergänzung des Symbolverzeichnisses zum Modell mit Lagerung	118
5.9	Überprüfung der Anforderungen im Hinblick auf die Modellformulierungen	122

6.1	Bestandteile der Transportkosten und Verrechnungsbasis	128
6.2	Symbolverzeichnis Kostenfunktion Streckenverkehr	129
6.3	Kennzahlen der Fallstudien	137
6.4	Basiskonfiguration	139
6.5	Lösung der Pfad-orientierten Formulierungsvariante	140
6.6	Lösung der Stufen-orientierten Formulierungsvariante	140
6.7	Historische Nachfragedaten für Fallstudie 1	142
6.8	Lösung für historische Nachfragedaten für Fallstudie 1	143
6.9	Häufigkeitsverteilung von Fallstudie 1	144
6.10	Nachfrageszenarien generiert über Wahrscheinlichkeitsverteilungen	144
6.11	Lösung der stochastisch linearen Optimierung für Nachfrageszenarien S	145
6.12	Lösung bei multipler Allokation und nichtlinearen Vorlaufkosten	146
6.13	Dynamische Losgrößenplanung mit Lagerung bei Empfängern	147
6.14	Lösung bei Optimierung für Modell „LCL ohne Hub möglich“	148
6.15	Auswahl an Hubstandorten bei Schwankung der Transportbedarfe	149
6.16	Auswirkung volatiler Hauptlaufkosten bei Fallstudie 5	152
6.17	Auswahl an Hubstandorten bei Schwankung der Handlingfee	153
6.18	Lösung bei Optimierung für Repräsentant	155
6.19	Lösung bei Optimierung für durchschnittlichen Bedarf	156
6.20	Anwendung der Entscheidungsregeln auf die Basiskonfiguration	157
6.21	Absolute und relative Bedauernsmatrix (BM)	158
6.22	Lösung bei Optimierung für Modell bei Risiko	159
6.23	Zustände mit korrespondierenden Aktionen	162
6.24	Anwendung der Minimax-Regret-Regel auf Fallstudie 8	162
6.25	Laufzeiten zur Ermittlung des Entscheidungsfelds für Fallstudie 8	162
6.26	Stochastische Optimierung für Fallstudie 8 bei unsicheren Bedarfen	163
6.27	Kennzahlen des Lösungsverhaltens des Pfad-Modells	164
6.28	Kennzahlen des Lösungsverhaltens des Stufen-Modells	165
6.29	Übersicht der Kennzahlen der unterschiedlichen weltweiten Szenarien (Fallstudie 9)	169
6.30	Basisformulierung: Selektierte Abfahrtshubs je Szenario	170
6.31	Basisformulierung: Selektierte Ankunftshubs je Szenario	170
6.32	Modell „LCL ohne Hub möglich“: Selektierte Abfahrtshubs je Szenario	170
6.33	Modell „LCL ohne Hub möglich“: Selektierte Ankunftshubs je Szenario	171
6.34	Selektion Abfahrtshubs für Fallstudie 9	174
6.35	Selektion Ankunftshubs für Fallstudie 9	175
6.36	Analyse der Lösungsvariablen für KW1	176

6.37 Entscheidungsfeld und Bedauernsmatrix zur Anwendung der Minimax-Regret- Regel zur Lösung des Praxisfalls	177
--	-----



1 Einleitung

Im Rahmen der Globalisierung werden von Unternehmen zunehmend Waren von weltweit anässigen Lieferanten bezogen oder an Kunden versandt. Die Logistikkosten stellen dabei einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der Gesamtkosten eines Unternehmens dar, wobei die Höhe der Logistikkosten je nach Branche variiert. In der Industrie betragen diese zwischen 5 und 15 % des Umsatzes und im Handel liegen diese sogar mit 15 bis über 25 % des Umsatzes noch deutlich höher (vgl. Gudehus (2010), S. 141). Der Anteil der Transportkosten stellt eine entscheidende Komponente an den Logistikkosten dar. Laut einer BME¹-Umfrage aus dem Jahr 2013 liegt diese bei 30 % der befragten Unternehmen zwischen 40-50 % und bei 20 % der Unternehmen beträgt sie über 60 % der Logistikkosten (vgl. Wittenbrink (2014), S. 43). Daraus ergibt sich, dass die Transportkosten in vielen Branchen 2-15 % des Umsatzes ausmachen. Als einen weiteren Kostentreiber lässt sich das gebundene Kapital in den Beständen identifizieren, woraus der Bedarf an einem Versand der Waren in kleineren Mengen resultiert.

1.1 Motivation

Unternehmen sind immer auf der Suche nach Möglichkeiten der Kostenreduzierung, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Weltweit agierende Unternehmen mit einer Vielzahl an Lieferanten, Fertigungsstandorten und Kunden, die Waren versenden und empfangen, verfügen über ein gewisses Transportaufkommen entlang der Lieferkette. In der betrieblichen Praxis werden die Transporte zur Beförderung von Frachten häufig an sogenannte Logistkdienstleister fremdvergeben (vgl. Kapitel 2.1.4).

Die Logistkdienstleister wiederum optimieren ihre Transportnetze mit den Sendungen ihrer Kunden. Sie realisieren, insbesondere durch Bündeln von Teilladungen, Kosteneinsparungen. Teilladungen sind Sendungen, die hinsichtlich Gewicht oder Volumen zu gering sind, um einen ganzen Container auszulasten. Im Rahmen von Verhandlungen mit den Logistkdienstleistern versuchen die Unternehmen Potentiale zu erschließen, um die Transportpreise zu reduzieren.

Im Zuge eines Projektes bei der Bosch-Gruppe hat der Verfasser der vorliegenden Arbeit persön-

¹Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (BME).

lich die Erfahrung gemacht, dass die Abgabe des Transportaufkommens an einen Logistikdienstleister zu einem Verlust der Transparenz über die Transportströme führen kann, d.h. Unternehmen wissen teilweise nicht, ob es möglich wäre, von ein und demselben Lieferanten Fracht für verschiedene räumlich beieinanderliegende Empfangswerke abzuholen oder ob Frachten von verschiedenen Lieferanten über einen gemeinsamen Empfänger verfügen. Das Problem der Transparenz und der mangelnden Kontrolle über die Transportflüsse wird noch verstärkt durch dezentrale Organisationsformen, die in mehreren Unternehmen zu finden sind.

Es ergibt sich daraus die Fragestellung, wie Unternehmen mit einem relativ hohen Transportaufkommen selbst Kosteneinsparungspotentiale heben können. Dies kann beispielsweise durch den Aufbau eines unternehmensinternen Konsolidierungsnetzwerkes zur Bündelung der eigenen Teilladungen erfolgen. In der vorliegenden Arbeit wird ein konkreter Anwendungsfall zur Gestaltung eines internen Konsolidierungsnetzwerkes betrachtet. Dieser hat Gültigkeit für eine ganze Klasse an Unternehmen.

Im interkontinentalen Transport von Gütern ist der Seeverkehr nicht wegzudenken (vgl. 2.1.2). Bei Bosch wurde der Bereich der Konsolidierung von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr nur teilweise bzw. nicht bearbeitet. Ist ein gewisses Volumen an Teilladungen mit einer regelmäßigen Transportfrequenz vorhanden, ist durch Konsolidierung von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr eine Kosteneinsparung im unteren zweistelligen Prozentbereich möglich. Dies konnte im Rahmen eines Projektes in der Bosch-Gruppe gezeigt werden.

Die Kostenreduzierung ist möglich, da die Transportkosten pro frachtpflichtigem Gewicht bei einer Teilladung höher liegen als die Transportkosten pro Kubikmeter für einen Container. Die Einsparungen resultieren aus der Verrechnung ganzer Container anstelle einzelner Sendungen, wobei zusätzlich durch eine verbesserte Auslastung der Container die Transportkosten pro beförderte Einheit sinken. Darüber hinaus können durch den Einsatz größerer Transportmittel weitere Skalenerträge realisiert werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, mittels quantitativer Methoden eine strategische Netzwerkplanung zur Gestaltung eines unternehmensinternen Konsolidierungsnetzwerkes für Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr durchzuführen. Die Modellformulierung soll ganzheitlich und praxisnah erfolgen, d.h. im Modell sollen realistische Transportkosten abgebildet sowie die Transportzeit integriert sein. Weiter ist die Robustheit bei Schwankungen der Eingangsgrößen, unter anderem Mengenschwankungen, zu berücksichtigen. Darüber hinaus soll das Modell für praxisrelevante Größenordnungen lösbar sein und den Praxistransfer der Ergebnisse ermöglichen.

Als Ergebnis der Optimierung erfolgt die Ermittlung der Anzahl und Lage von Hubstandorten sowie die Allokation der Sender und Empfänger zu den jeweiligen Hubs mit einer festen Zuordnung zur einfacheren operativen Abwicklung bei minimalen Kosten. Neben der Berücksichtigung der expliziten Anforderungen der Bosch-Gruppe soll das Modell auch auf andere Unternehmen anwendbar sein und somit einen allgemeingültigen Charakter aufweisen.

In der Literatur findet sich keine Modellformulierung, die für das in der Arbeit betrachtete Praxisproblem verwendet werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Modelle entwickelt werden, die diesen Anwendungsfall abbilden und lösen können und somit diese Forschungslücke schließen. Dabei soll nicht nur eine Lösung für den Praxisfall gefunden werden, sondern auch ein Beitrag zur aktuellen Forschung an ganzheitlichen und realitätsbezogenen Modellen für praxisrelevante Größenordnungen geleistet werden.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit ist, wie in Abbildung 1.1 dargestellt, folgendermaßen aufgebaut: Das zweite Kapitel befasst sich mit der Darstellung der Grundlagen zum Transport von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr. Zum Verständnis werden Transportstrukturen erläutert und die mit dem Transport einhergehenden Planungsaufgaben beschrieben. Planung dient dazu, Entscheidungen vorzubereiten. Aus diesem Grund werden die damit verbundenen Herausforderungen, wie die Unkenntnis von Inputdaten und die Auswahl der besten Alternative aus einer Vielzahl von möglichen Handlungsalternativen, näher betrachtet.

Eine ausführliche Vorstellung des zugrunde liegenden Praxisproblems erfolgt in Kapitel 3. Zuerst werden die Rahmenbedingungen der Bosch-Gruppe beschrieben. Darauf aufbauend werden das Planungs- und Optimierungsproblem zum Transport von Teilladungen im interkontinentalen Seeverkehr erläutert sowie die Anforderungen definiert, welche die Bosch-Gruppe an das zu entwickelnde Optimierungsmodell hat. Weiter wird dargestellt, dass die vorliegende Problemstellung nicht nur für die Bosch-Gruppe relevant ist, sondern auch für andere Unternehmen Bedeutung hat und auf diese angewandt werden kann.

In Kapitel 4 wird aufgezeigt, dass Hub Location Probleme (HLP) dazu geeignet sind, den vorliegenden Anwendungsfall abzubilden. Die vier großen Problemklassen der HLP werden vorgestellt und daraus ein Basismodell für das Praxisproblem gewählt. Danach wird die relevante Literatur zur Abbildung des Praxisfalls betrachtet und anhand der Anforderungen aus dem Praxisfall eingeordnet sowie der Forschungsbedarf aufgezeigt. Des Weiteren werden einzelne Modellformulierungen aus der Literatur präsentiert, welche für die Optimierungsmodelle in Kapitel 5 interessant sind.

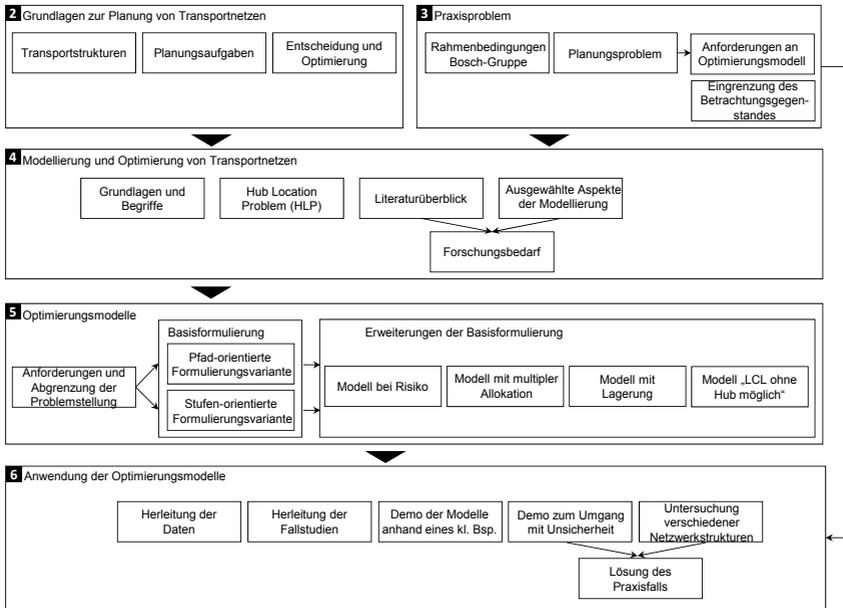


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

Die in den vorherigen Kapiteln gewonnenen Informationen bilden die Grundlage für die Optimierungsmodelle im fünften Kapitel. Das Modell wird in zwei verschiedenen Formulierungsvarianten und für unterschiedliche Komplexitätsstufen des Planungsproblems formuliert. Die beiden Basisformulierungen werden nachfolgend erweitert. Es wird eine Modellformulierung bei Risiko vorgestellt, welche die Unsicherheit hinsichtlich der zu transportierenden Mengen abbildet, sowie ein weiteres Modell, bei dem die Lieferanten ihre Frachten über verschiedene Hubstandorte versenden können. Darüber hinaus wird ein Modell mit integrierter Lagerhaltung und eine Modellvariante präsentiert, welche den Versand von Teilladungen ohne Errichtung von Hubstandorten ermöglicht.

In Kapitel 6 werden zuerst die Daten hergeleitet, die zur Lösung des Problems erforderlich sind. Die vorgestellten Modellformulierungen werden anhand eines kleinen Beispiels demonstriert. Darüber hinaus wird der Umgang mit Unsicherheit bei den Eingangsgrößen untersucht. Des Weiteren erfolgt ein Vergleich der beiden Basisformulierungen anhand von verschiedenen Netzwerkstrukturen hinsichtlich ihrer Lösungseigenschaften mit dem Ziel, die geeignetere Modellformulierung zur