
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. Stadtler, 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 Umschlagsmöglichkeiten 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
--	-----