

Berichte aus der Betriebswirtschaft

**Andreas Schmidthöfer**

**Taktische Bestimmung von Tourgebieten  
für die expeditionelle Tourenplanung**

Shaker Verlag  
Aachen 2004

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

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

Zugl.: Augsburg, Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2579-X

ISSN 0945-0696

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Geleitwort

Das zunehmende Outsourcing von Logistikleistungen seitens der Industrie hat auch die Verantwortung für die Organisation und Planung der Transportnetze und -prozesse auf die Logistikdienstleister (LDL) verschoben. Aus deren Sicht stellen sich veränderte Planungsaufgaben in einem umfassenderen Netz, in dem die Transportströme vieler Auftraggeber zu bündeln sind. Die Entwicklung geeigneter Planungsmodelle und -methoden für diese veränderte Situation steht noch in den Anfängen. Während es für die strategische Ebene, etwa die Gestaltung von Hub-and-Spoke-Netzen, und für die tägliche operative Planung des Fahrzeugeinsatzes einige neuere Ansätze gibt, ist die taktische Ebene in der Forschung noch weitgehend unbeachtet geblieben. Die taktische Planung hat aber für LDL besondere Bedeutung, da hier die Operationen nach einem straffen, mittelfristig festgelegten Rahmenplan ablaufen: Für die Fernverkehre gibt es Linien mit täglich gleichem Fahrplan, die Sammel- und Liefertouren im Nahbereich eines Depots laufen in täglich gleichen Tourgebieten. Die Bestimmung dieser Rahmenpläne ist einerseits sehr komplex und aufwendig und hat andererseits großen Einfluss auf die Kosten. Hierfür fehlt es noch an praktikablen Planungsverfahren.

Die vorliegende Arbeit schließt diese Lücke für die Planung von Tourgebieten, die besonders für Paketdienstleister von großer Bedeutung ist. Ausgehend von den Anforderungen in der Praxis analysiert der Autor die Problemstellung, für die es im Gegensatz zur klassischen Tourenplanung noch keine standardisierten Problemtypen gibt, und ordnet sie im Bereich der stochastischen Tourenplanung ein. Charakteristikum der Tourgebietsplanung ist dabei, dass mittelfristig nicht nur die Bedarfe jedes Kunden, sondern auch die Menge der anzufahrenden Kunden zufällig schwanken, dann aber kurzfristig, zu Beginn der Touren, bekannt sind.

Der Autor entwickelt ein neues Verfahren für die Planung von Tourgebieten, das verschiedene Ideen aus der deterministischen und der stochastischen Tourenplanung geschickt kombiniert und originell erweitert. Erstmals wird hier ein Verfahren vorgestellt, das eine Reihe praktischer Anforderungen erfüllt:

- (1) Die Tourgebiete werden auf Basis von Postleitzahlen definiert.
- (2) Außer den Restriktionen der Fahrzeugkapazität werden solche für die Dauer der Tour eingeführt, wobei der Zeitbedarf der Touren mit neu entwickelten Schätzverfahren modelliert wird.
- (3) Es wird ein heterogener Fuhrpark betrachtet, so dass mit den Tourgebieten zugleich die Zusammensetzung des Fuhrparks aus Fahrzeugen verschiedener vorgegebener Typen geplant wird.
- (4) Die Bedarfe und die Anzahl Kunden je PLZ sind stochastisch und die Nebenbedingungen werden als "Chance Constraints" mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit erfüllt. Die Praktikabilität des Verfahrens wird anhand einer Fallstudie mit realen Daten eindrucksvoll demonstriert.

Insgesamt bietet dieses Buch für eine aktuelle schwierige Problemstellung von großer praktischer Bedeutung ein neues Planungsverfahren, das über die wenigen Verfahren der Literatur in der Beachtung wichtiger Anforderungen weit hinausgeht. Ich wünsche ihm eine weite Verbreitung und Beachtung in Wissenschaft und Praxis.

Augsburg, im Dezember 2003  
Prof. Dr. Bernhard Fleischmann

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktion und Logistik an der Universität Augsburg. Sie stellt das Ergebnis meiner Forschungstätigkeit dar und wurde im September 2003 an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät als Dissertation angenommen. Das Werk bedeutet gleichzeitig den Abschluß meiner wissenschaftlichen Tätigkeit und damit den Beginn meiner Laufbahn in der Praxis.

An dieser Stelle möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Bernhard Fleischmann, für die ausgezeichnete Betreuung und den wertvollen Input danken. Der intensive Kontakt hat wesentlich zum Erfolg meiner Arbeit beigetragen.

Mein ganz besonderer Dank gilt auch dem Vorsitzenden meiner Disputation, Herrn Prof. Dr. Otto Opitz, der mich vor fünf Jahren erst auf die Idee gebracht hatte, aus dem Berufsleben den Schritt zurück zur Universität als Lehrstuhlmitarbeiter zu wagen. Diese wegweisende Entscheidung hat mein Leben maßgeblich positiv beeinflusst.

Meinen Dank bekunde ich auch Herrn Prof. Dr. Axel Tuma für die Bereitschaft, das Zweitgutachten zu übernehmen. Der Kontakt zu ihm und seinen Mitarbeitern im Rahmen von gemeinsamen Projekten wie auch von Doktorandenseminaren war durch besonders freundschaftliche Zusammenarbeit geprägt.

Auch meinen Lehrstuhlkollegen, unserer Sekretärin Doris Rochelle und einer Vielzahl von studentischen Hilfskräften, die mich bei einigen Aufgaben tatkräftig unterstützt haben, möchte ich meinen Dank aussprechen. Hervorheben möchte ich die konstruktiven Gespräche mit Dipl.-Ökonom Michael Böhnhardt und der externen Doktorandin Dipl.-Kffr. Sonja Ferber, die mir während der gesamten Lehrstuhlzeit jederzeit für fachliche Diskussionen, aber auch für private Gespräche zur Verfügung standen.

Schlußendlich möchte ich vor allem meinen Eltern danken, die mir erst den Weg von Abitur über Studium bis hin zum Promotionsstudium ermöglicht und nie am erfolgreichen Abschluß der Arbeit gezweifelt haben.

Stuttgart, im Dezember 2003  
Andreas Schmidhöfer

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit	3
<b>2 Distributionsplanung in KEP-Unternehmen</b>	<b>5</b>
2.1 Begriffsabgrenzung	5
2.2 Entwicklung der KEP-Dienste	6
2.3 Organisation von Paketdiensten	9
2.4 Ablauf der Paketauslieferung	10
2.5 Sammelgutspeditionen	11
2.6 Planungsprobleme	13
2.6.1 Strategische Planung	13
2.6.2 Taktische Planung	16
2.6.3 Operative Planung	18
<b>3 Grundlagen der stochastischen Tourenplanung</b>	<b>21</b>
3.1 Klassifizierung von Tourenplanungsproblemen	21
3.1.1 Deterministische Tourenplanung	21
3.1.2 Standardtouren- und Tourgebiete	24
3.1.3 Stochastische Tourenplanung	30
3.1.4 Einordnung der Standardtouren- und Tourgebietsplanung	37
3.2 Überblick über stochastische Tourenplanung	40
3.2.1 Stochastische Programmierung	40
3.2.2 Exakte Verfahren	48
3.2.3 Heuristische Verfahren	51
3.2.4 Zusammenfassung	54

<b>4</b>	<b>Standardtouren- und Tourgebietsplanung</b>	<b>63</b>
4.1	Verfahren in der Literatur . . . . .	63
4.1.1	Literaturüberblick . . . . .	63
4.1.2	Anforderungen an ein Verfahren . . . . .	76
4.1.3	Beurteilung der Verfahren . . . . .	78
4.1.4	Weitere Verfahren . . . . .	80
4.2	Fuhrparkplanung . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Abschätzung von Tourlängen</b>	<b>83</b>
5.1	Überblick . . . . .	83
5.2	Literaturüberblick . . . . .	85
5.2.1	Flächenbasierte Ansätze . . . . .	85
5.2.2	Ringmodell . . . . .	94
5.2.3	Berücksichtigung von Kundenzeitfenstern . . . . .	96
5.2.4	Zusammenfassung . . . . .	100
5.3	Entwicklung eines Ansatzes zur Tourabschätzung . . . . .	103
5.3.1	Grundidee . . . . .	104
5.3.2	Distanzen innerhalb der PLZ . . . . .	105
5.3.3	Distanzen zwischen benachbarten Postleitzahlen . . . . .	107
5.3.4	Distanzen zwischen nicht benachbarten Postleitzahlen . . . . .	111
5.3.5	Berücksichtigung der Depotentfernung . . . . .	113
5.3.6	Zusammenfassung . . . . .	115
5.3.7	Numerische Ergebnisse . . . . .	115
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines Location-Allocation Verfahrens</b>	<b>123</b>
6.1	Grundidee . . . . .	123
6.2	Planungsannahmen . . . . .	129
6.3	Modellierung . . . . .	130
6.3.1	Tourlängenabschätzung . . . . .	131
6.3.2	Zeitfenster . . . . .	133
6.3.3	Stochastische Nebenbedingungen . . . . .	134
6.3.4	Zielfunktion . . . . .	139
6.3.5	Modell . . . . .	143
6.4	Verfahren . . . . .	145
6.4.1	Wahl der Seedstandorte . . . . .	145
6.4.2	Verbesserung der Seedstandorte . . . . .	150
6.4.3	Allocation Schritt . . . . .	152
6.4.4	Zusammenfassung . . . . .	153

---

<b>7</b>	<b>Fallstudie</b>	<b>157</b>
7.1	Planungsgrundlage . . . . .	157
7.1.1	Planungsdaten . . . . .	157
7.1.2	Datenanalyse . . . . .	159
7.1.3	Anpassungen . . . . .	160
7.2	Ergebnisse . . . . .	162
7.2.1	Wahl der Seed-Standorte . . . . .	162
7.2.2	Planungsalternativen . . . . .	165
7.2.3	Testergebnisse . . . . .	166
7.3	Bewertung der Ergebnisse . . . . .	170
7.3.1	Zulässigkeit der Touren . . . . .	170
7.3.2	Fuhrpark . . . . .	172
7.3.3	Kosten . . . . .	173
7.4	Sensitivitätsanalyse . . . . .	173



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Weg eines Pakets . . . . .	12
2.2	Rasterstruktur . . . . .	14
2.3	Hub-and-Spoke Struktur . . . . .	15
2.4	Mehrhub-Struktur . . . . .	15
3.1	Stochastische Tourenplanung . . . . .	34
4.1	Schema für die Bestimmung von Seed nach Wong & Beasley (1984) . . . . .	69
4.2	Form eines Tourgebiets . . . . .	70
4.3	Einteilung in Sektoren, Ringe und Tourgebiete . . . . .	73
4.4	Gitternetz nach Novaes & Gracioli (1999) in einem Beispiel . . . . .	74
4.5	Sektoreneinteilung . . . . .	75
4.6	Ring- und Tourgebieteinteilung . . . . .	76
4.7	Ausrichtung der Tourgebiete . . . . .	77
5.1	Streifen der Breite $w$ , horizontale und vertikale Bewegung $X$ und $Y$ . . . . .	88
5.2	Streifen der Breite $2w$ : Erhöhung von $X$ . . . . .	89
5.3	Streifen der Breite $w/2$ : Erhöhung von $Y$ . . . . .	89
5.4	Streifen der optimalen Breite $w^*$ . . . . .	90
5.5	Berücksichtigung von Zeitfenstern nach Daganzo (1987b) . . . . .	97
5.6	Heterogene Kundencluster . . . . .	105
5.7	Berücksichtigung der Entfernung zwischen den Hauptorten . . . . .	108
5.8	Entfernung zwischen zwei Clustern . . . . .	108
5.9	Günstigste Position der Elementarflächen . . . . .	109
5.10	Ungünstigste Position der Elementarflächen . . . . .	109
5.11	Erwarteter Abstand des Mittelpunkts eines Quadrats zum Rand . . . . .	110
5.12	Kreisförmige Elementarflächen . . . . .	110
5.13	Nicht benachbarte Kundencluster . . . . .	112
5.14	Doppelzählung innerhalb der Postleitzahl . . . . .	112
5.15	Distanz zwischen zwei Postleitzahlen . . . . .	114
5.16	quadratische Grundfläche . . . . .	118
5.17	rechteckige Grundfläche . . . . .	119
6.1	Umweg nach Fisher & Jaikumar (1981) . . . . .	125
6.2	Schema für ein iteratives Location-Allocation Verfahren . . . . .	128

---

6.3	Modifizierung der Umwegsdefinition von Fisher & Jaikumar (1981) . . . . .	141
6.4	Beispiel für Indifferenz . . . . .	142
6.5	Beispiel für Ermittlung des maximalen Radius $r_i$ . . . . .	148
6.6	Schema für die Auswahl von Seed-PLZ unter Berücksichtigung von Zeit- und Kapazitätsrestriktionen bei homogenen Fuhrpark . . . . .	149
6.7	Beispiel . . . . .	150
6.8	Schematische Darstellung des Location-Allocation Verfahrens . . . . .	155
7.1	Fuhrpark bei Luftlinienentfernungen (1.1.1. - 1.1.3.) . . . . .	169
7.2	Fuhrpark bei Strassenentfernungen (1.2.1. - 1.2.3.) . . . . .	169
7.3	Fuhrpark bei Luftlinienentfernungen (2.1.1. - 2.1.3.) . . . . .	171
7.4	Fuhrpark bei Strassenentfernungen (2.2.1. - 2.2.3.) . . . . .	172
7.5	Tourgebietsplanung - Grafische Darstellung . . . . .	173
7.6	Fuhrpark bei variierendem $\alpha$ (Strassenentfernungen) . . . . .	175

# Tabellenverzeichnis

2.1	Sammelgut- und KEP-Dienstleistungen . . . . .	12
3.1	Strategien bei der Tourenplanung . . . . .	22
3.2	Heuristiken für die stochastische Tourenplanung . . . . .	54
3.3	Übersichtsliteratur zur stochastischen Tourenplanung . . . . .	56
3.4	Literatur zum VRPST . . . . .	57
3.5	Literatur zum VRPSD . . . . .	59
3.6	Literatur zum VRPSCD . . . . .	61
5.1	Literatur zur Tourabschätzung . . . . .	103
5.2	Mittlere prozentuale Abweichung von der tatsächlichen Tourlänge ( $\emptyset MAPF$ bzw. $\emptyset MPF$ ) ohne Depot . . . . .	119
5.3	Mittlere prozentuale Abweichung von der tatsächlichen Tourlänge ( $\emptyset MAPF$ bzw. $\emptyset MPF$ ) mit Depot . . . . .	120
5.4	Mittlere prozentuale Abweichung von der tatsächlichen Tourlänge ( $\emptyset MAPF$ bzw. $\emptyset MPF$ ) mit Depot bei unzusammenhängendem Tourgebiet . . . . .	121
7.1	Fuhrparktypen . . . . .	158
7.2	Daten und Parameter für die Planung . . . . .	160
7.3	Berechnung der dispositiven Bedarfe . . . . .	162
7.4	Ladung der zusätzlichen Fahrzeuge . . . . .	162
7.5	Analyse der PLZ (Luftlinienentfernungen) . . . . .	163
7.6	Analyse der PLZ (Strassenentfernungen) . . . . .	164
7.7	Testscenarien . . . . .	166
7.8	Abkürzungen . . . . .	167
7.9	Testergebnisse Umwegsfunktion $u^1$ . . . . .	168
7.10	Testergebnisse Umwegsfunktion $u^2$ . . . . .	170
7.11	Sensitivitätsanalyse . . . . .	174