

Strategische und operative Optimierung in der urbanen Logistik

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“
im Studiengang Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Wolter

Vorname: Felix

■■■■■■ ■■■■■■

■ ■■■■■■

Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 2. Oktober 2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iv
Listings	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
Symbolverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Urbane Logistik	3
2.2 Akteure und Treiber der urbanen Logistik	4
2.3 Handlungsfelder der urbanen Logistik	6
3 Forschungsmethodik	9
4 Stand der Forschung	10
4.1 Strategische Optimierungsmodelle	10
4.2 Operative Optimierungsmodelle	14
5 Strategisches Optimierungsmodell zur Last Mile Delivery	20
5.1 Modellübersicht	20
5.2 Modellannahmen	22
5.3 Nomenklatur und mathematisches Optimierungsmodell	24
5.4 Modellbeschreibung	28
6 Operatives Optimierungsmodell zur Last Mile Delivery	33
6.1 Modellübersicht	33
6.2 Modellannahmen	34
6.3 Nomenklatur und mathematisches Optimierungsmodell	35
6.4 Modellbeschreibung	38
7 Datenerfassung und Datengenerierung	43
7.1 Bestimmung der Hub- und Nachfragestandorte	43
7.2 Nachfrageschätzung	45
7.2.1 Paketanzahl	45

7.2.2	Paketgröße	48
7.3	Fahrzeugalternativen	49
7.4	Kostenapproximation eines Hubstandorts und Lohnkosten	53
8	Technische Implementierung in GAMS	55
8.1	Modellimplementierung	55
8.2	Reduktion der Modellkomplexität	60
9	Entwicklung einer Webapplikation mit Ruby on Rails	64
9.1	Anforderungen	64
9.2	Aufbau und Funktionen	64
9.3	Systemarchitektur	69
9.4	Verknüpfung der Webapplikation mit GAMS	71
10	Anwendungsfall - Stadt Hannover	76
10.1	Ausgangsszenario	76
10.1.1	Strategische Optimierung	76
10.1.2	Operative Optimierung	81
10.1.3	Vergleich der Ergebnisse	84
10.2	Benchmarking, Sensitivitätsanalyse und Diskussion	86
10.2.1	Tatsächliche Distanzen	86
10.2.2	Erhöhung der Nachfrage	88
10.2.3	Verschiebung der Nachfrage	91
10.2.4	Flächenkosten	93
10.2.5	Kleine Container	95
11	Kritische Würdigung	100
11.1	Modell und Modellannahmen	100
11.2	Datengrundlage	102
11.3	Modellimplementierung	104
12	Handlungsempfehlungen	105
13	Fazit und Ausblick	107
	Literatur	109
	Anhang	118
	Ehrenwörtliche Erklärung	173

1 Einleitung

Zur Einführung werden zunächst die Relevanz der Thematik sowie die Zielsetzung der Arbeit verdeutlicht. Im Anschluss wird auf den Aufbau der vorliegenden Arbeit eingegangen.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Zunehmender Online-Handel und eine stabile Wirtschaft gelten als die Haupttreiber dafür, dass die Anzahl der Kurier-, Express- und Paket (KEP)-Sendungen in Deutschland aber auch in anderen Ländern von Jahr zu Jahr steigen. Bis 2021 soll sich die Paketnachfrage um 5,9 % pro Jahr erhöhen. Vor allem das B2C-Segment nimmt dabei einen immer größeren Anteil am gesamten Sendungsaufkommen ein.¹

Gleichzeitig sorgt der Trend der zunehmenden Urbanisierung dafür, dass der Anteil der Menschen, die in Städten leben, bis zum Jahr 2050 weltweit auf bis zu 67 % steigen soll. Bereits heute werden 64 % aller Fahrwege in urbanen Gebieten zurückgelegt. Bis zum Jahr 2050 soll sich diese Strecke verdreifachen.²

Beide Entwicklungen tragen zu einem überdurchschnittlichen Wachstum der urbanen Güterdistribution bei, was besonders für die Inanspruchnahme von innerstädtischen Verkehrsflächen relevant ist. Durch die steigende Anzahl an Fahrzeugen nehmen die Belastungen durch Kohlendioxid (CO₂), Stickstoffoxide (NO_x) und Feinstaub immer weiter zu. Schon jetzt sind zwischen 8 und 10 % der weltweiten CO₂-Emissionen auf die Logistikbranche zurückzuführen. Darüber hinaus ist die erhöhte Verkehrsdichte mit Stauungen und einer Zunahme des Lärms verbunden. Die Folge sind negative Auswirkungen auf die Lebensqualität und die Verkehrssicherheit.³

Um dem entgegenzuwirken, definiert die Europäische Kommission das Ziel, bis zum Jahr 2050 die Stadtlogistik nahezu vollständig CO₂-emissionsfrei zu gestalten. Dazu soll einerseits auf konventionell angetriebene Fahrzeuge verzichtet bzw. diese gegen energieeffiziente Verkehrsträger ausgetauscht werden. Andererseits sollen die städtische Infrastruktur und der Verkehr durch Informationssysteme effizienter genutzt werden.⁴

Die Erreichung dieser Ziele erfordert eine Veränderung der bisherigen Strukturen von Logistikdienstleistern, Handelsunternehmen, Lieferanten und KEP-Diensten durch innovative, effiziente und individuelle Lösungen.⁵ Besonderer Forschungsbedarf besteht dabei in der sogenannten *Last Mile Delivery* (LMD), da diese den kostenintensivsten, ineffizientesten und umweltschädlichsten Teil der Lieferkette darstellt.⁶

¹ Vgl. Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) (2017a), S. 10 ff.

² Vgl. Van Audenhove et al. (2015), S. 3.

³ Vgl. Braun (2015), S. 37.

⁴ Vgl. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport (2011), S. 4 ff.

⁵ Vgl. Braun (2015).

⁶ Vgl. Sucky et al. (2015), S. 141.

Ziel dieser Arbeit ist zum einen die Vorstellung eines strategischen Entscheidungsunterstützungsmodells (EUM) für die LMD, welches die Kosten der Paketzustellung minimiert und auf diese Weise zu höherer Effizienz der LMD beiträgt. Zum anderen soll ein operatives Optimierungsmodell mit derselben Zielsetzung entworfen werden, welches in der Lage ist, die Resultate der vorausgehenden strategischen Ebene einzubeziehen. Im Zuge einer anschließenden Sensitivitätsanalyse sollen etwaige Schwächen und Verbesserungspotentiale beider Modellierungen offen gelegt werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im nachfolgende Abschnitt werden zunächst einige theoretische Grundlagen im Zusammenhang mit der urbanen Logistik vorgestellt, welche zum weiteren Verständnis der Arbeit beitragen sollen. Danach wird auf die zu Grunde liegende Forschungsmethodik eingegangen. Der vierte Abschnitt umfasst eine systematische Literaturanalyse und gibt Einblick in den gegenwärtigen Stand der Forschung bezüglich strategischer und operativer Optimierungsmodelle in der urbanen Logistik. Im fünften und im sechsten Abschnitt werden ein strategisches sowie ein operatives Optimierungsmodell zur LMD vorgestellt. Dazu erfolgt jeweils ein kurzer Überblick und die Vorstellung der wichtigsten Modellannahmen. Anschließend werden die verwendete Nomenklatur und die mathematische Modellformulierung präsentiert. Für eine möglichst präzise Berechnung der Modelle werden im Folgeabschnitt modellrelevante Daten akquiriert und das Vorgehen der Datenbeschaffung beschrieben. Anschließend wird das Vorgehen zur Implementierung der Modelle in GAMS beispielhaft erläutert. Der neunte Abschnitt beschreibt den Entwicklungsprozess sowie den Aufbau und die Funktionen einer Webapplikation, welche eine Anwendungsoberfläche für die betrachteten Optimierungsmodelle bereitstellt. Im Anschluss werden beide Modelle anhand eines Anwendungsfalls in der Stadt Hannover berechnet. Darüber hinaus erfolgt die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse sowie die Diskussion der Ergebnisse. Im Zuge der kritischen Würdigung werden verschiedene Limitationen und Unzulänglichkeiten der Arbeit aufgezeigt und diskutiert. Darauf aufbauend werden Handlungsempfehlungen für die weitere Forschung gegeben. Zum Abschluss werden im Fazit die elementaren Inhalte und die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst.

13 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Vorstellung eines strategischen Optimierungsmodells zur LMD und die Entwicklung eines darauf aufbauenden operativen Optimierungsmodells, welches dazu in der Lage ist, die Resultate der vorausgehenden strategischen Optimierung zu berücksichtigen. Ferner sollten die Schwachstellen und Verbesserungspotentiale beider Modellierungen im Zuge einer Sensitivitätsanalyse aufgezeigt werden.

Einleitend wurden zunächst die zum Verständnis dieser Arbeit notwendigen Grundlagen erläutert. Im Zuge dessen konnten die Maßnahmen der urbanen Logistik in vier Handlungsfelder unterteilt werden, welche als Grundlage für eine systematische Literaturanalyse hinsichtlich strategischer und operativer Optimierungsmodelle in der urbanen Logistik genutzt wurden. Innerhalb dieser wurden zum einen der gegenwärtige Forschungsstand offengelegt und zum anderen entsprechende Forschungslücken in den verschiedenen Themenbereichen aufgezeigt. Als Konsequenz für die Konzeption der Optimierungsmodelle wurde versucht, möglichst einen Großteil der identifizierten Handlungsfelder zu berücksichtigen.

Nachfolgend wurden die Optimierungsmodelle zur strategischen und zur operativen Planung der LMD vorgestellt, welche auf einem Mikro-Hub-Konzept beruhen. Bei diesem werden direkt im Stadtgebiet Paketdepots in Form von Containern eingerichtet, von denen aus die Belieferung der Nachfrageorte erfolgt. Im Zuge der strategischen Optimierung wird darüber entschieden, welche Hubstandorte eingerichtet werden, welche Nachfragestandorte den Hubs zugewiesen werden und wie sich die Fahrzeugflotte an den Hubs zusammensetzt. Das operative Optimierungsmodell liefert die Belieferungstouren für die an einem Hub stationierten Fahrzeuge und ist in der Lage, standortspezifische Zeitfenster zu berücksichtigen. Die Zielsetzung beider Modelle besteht in der Minimierung der insgesamt anfallenden Kosten. Überdies findet der Aspekt der Nachhaltigkeit durch die Einbeziehung alternativer Transportmittel sowie durch die Berücksichtigung eines maximalen Flottengrenzwerts für die CO₂-Emission Beachtung.

Zur Lösung der Modelle wurden zunächst die benötigten Daten erhoben und anschließend beide Modelle in GAMS implementiert. Dabei war es aufgrund hoher Rechenzeiten notwendig, sowohl beim strategischen als auch beim operativen Modell Vereinfachungen vorzunehmen, um die jeweilige Modellkomplexität zu reduzieren. Darauffolgend wurde eine Anwendungsoberfläche in Form einer Webapplikation mittels *Ruby on Rails* entworfen, welche die benutzerfreundliche Bedienung - insbesondere im Hinblick auf die Eingabe bzw. Änderung der Modellparameter - garantieren soll.

Beide Modelle wurden schließlich im Zuge eines Anwendungsfalls im Stadtgebiet Calenberger Neustadt in Hannover gelöst. Im Ergebnis der strategischen Optimierung zeigte sich, dass lediglich ein Hubstandort im betrachteten Gebiet eröffnet wird und die günstigste Fahrzeugalternative das ECBL darstellt. Weiterhin konnte der weitaus größte Anteil der Ge-

samtkosten auf die Lohnkosten, welche von der benötigten Auslieferungszeit abhängig sind, zurückgeführt werden. Mit dem nachfolgend durchgeführten operativen Optimierungsdurchlauf wurde die generelle Durchführbarkeit des operativen Modells auf Basis der Ergebnisse der strategischen Optimierung bewiesen.

Das Benchmarking und die Sensitivitätsanalyse zeigten die Varianz der Modellierungsergebnisse bei differierenden Szenarien auf, infolgedessen Vermutungen über den jeweiligen Einfluss der Parameterausprägungen und die Menge der Handlungsalternativen getroffen werden konnten. So konnte bspw. durch die Benutzung der tatsächlichen Distanzen in der operativen Optimierung gezeigt werden, dass das im strategischen Modell benutzte Verfahren zur Streckenschätzung im vorliegenden Anwendungsfall zu realitätsnahen Ergebnissen führt. Weiterhin wurde die Durchführbarkeit des operativen Modells auch bei einer Erhöhung bzw. einer Verschiebung des standortabhängigen Nachfrageaufkommens in einem gewissen Maß nicht beeinträchtigt. Insgesamt gilt es jedoch zu beachten, dass sich die resultierenden Erkenntnisse ausschließlich auf das im Anwendungsfall untersuchte Gebiet beziehen und daher bezogen auf die Allgemeinheit nur bedingte Aussagekraft besitzen.

Neben den Errungenschaften dieser Arbeit bleiben jedoch Limitationen und Unzulänglichkeiten der betrachteten Optimierungsansätze zu beachten, die zum Abschluss erläutert und evaluiert worden sind, um weitere Verbesserungspotentiale aufzudecken und unmittelbar erste Handlungsempfehlungen auszusprechen. Hervorzuheben ist dabei insbesondere die Beschaffung der für die Modelle benötigten Daten, welche durch mangelnde Verfügbarkeit erheblich erschwert wurde und der teilweise notwendige Annahmen zu Grund liegen, welche die Realitätsnähe der Modellierung einschränken.

Dieser Arbeit folgende Auseinandersetzungen mit der betrachteten Problematik sollten ihren Fokus zweifelsohne auf die Ausweitung des Untersuchungsraums bezüglich des designierten Gebiets legen, um Unzulänglichkeiten, die durch die geringen Dimensionen der hiesigen Untersuchung zustande kommen, zu unterbinden.

Letzten Endes bleibt festzuhalten, dass der Wunsch einer gänzlich optimalen und realitätsgetreuen Abbildung und Lösung der Verwirklichung der LMD eine utopische Erwartungshaltung darstellt. Dennoch stellt das Gesamtergebnis dieser Arbeit eine mögliche Annäherung an ein adäquates Grundgerüst zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungsmodells auf strategischer sowie auf operativer Ebene dar und bietet einen Ausgangspunkt für zukünftige Forschungen.