

# Analyse der Optimierungspotentiale 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: Leyerer



Vorname: Max



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30.09.2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abstrakt.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Relevanz und Zielsetzung .....	1
1.2 Aufbau der Arbeit .....	2
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Definition – „Urbane Logistik“ .....	4
2.2 Elemente der urbanen Logistik .....	6
2.3 Akteure der urbanen Logistik .....	11
2.4 Chancen und Herausforderungen .....	14
2.5 Begriffsabgrenzung zu verwandten Bezeichnungen .....	15
<b>3. Forschungsmethodik .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Handlungsfelder, Best Practices und Optimierungsmodelle in der urbanen Logistik.....</b>	<b>20</b>
4.1 Regulierung und Raumplanung .....	20
4.2 Infrastruktur.....	21
4.3 Finanzielle Anreize.....	23
4.4 Technologie und Ausrüstung .....	24
4.5 Optimierungsmodelle – Stand der Forschung.....	27
<b>5. Optimierungsmodell zur Kostenminimierung der städtischen „Last Mile Delivery“ .....</b>	<b>38</b>
5.1 Modellüberblick .....	38
5.2 Modellannahmen .....	40
5.3 Nomenklatur.....	41
5.4 Mathematisches Optimierungsmodell .....	43

5.5 Technische Implementierung in GAMS.....	50
5.6 Mögliche Modellerweiterungen .....	59
<b>6. Anwendungsfall – Stadt Hannover .....</b>	<b>62</b>
6.1 Datenzuweisung in der Ausgangssituation .....	62
6.2 Ergebnispräsentation .....	68
6.3 Benchmarks und Sensitivitätsanalysen.....	71
6.3.1 Maximale Hub-Distanz .....	71
6.3.2 Hub-Kosten .....	73
6.3.3 Nachfrage-Volumina.....	74
6.3.4 Zustellfahrzeuge.....	76
<b>7. Kritische Würdigung .....</b>	<b>80</b>
7.1 Diskussion des Optimierungsmodells .....	80
7.2 Implikationen.....	82
7.3 Limitationen.....	84
<b>8. Handlungsempfehlungen.....</b>	<b>90</b>
8.1 Handlungsempfehlungen für die Praxis .....	90
8.2 Handlungsempfehlungen für die Forschung .....	91
<b>9. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>93</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>XVIII</b>
A – GAMS IDE File .....	XVIII
B – Include File .....	XIX
C – Detaillierte Ergebnisse der Benchmarks.....	XXIV

## Abstrakt

*Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels und der zukünftigen Verknappung fossiler Ressourcen gilt es die städtischen Logistikaktivitäten möglichst effizient und nachhaltig zu gestalten. Die urbane Logistik umfasst dabei unter anderem die Aufgabe der Paketzustellung auf der letzten Meile (Last Mile Delivery). Bezüglich dieser Thematik wird ein mathematisches Optimierungsmodell entwickelt, welches auf die Minimierung der monatlichen Gesamtkosten abzielt. Dabei erfolgt die Ermittlung von optimalen Umschlagsplatz-Standorten, welche der Bündelung von Sendungsobjekten dienen, um dadurch die Effizienz der Paketzustellung zu maximieren. Darüber hinaus weist das Modell den Hubs Transportmittel zu, damit die gesamte Paket-Nachfrage kostenminimal bedient wird. Dabei können die verschiedenen Fahrzeug-Typen gleichzeitig, oder auch einzeln untersucht werden. Das entwickelte Optimierungsmodell wird außerdem mittels GAMS-Software implementiert, sodass eine computergestützte Lösungsberechnung erfolgt. Der behandelte Anwendungsfall weist mit Hannover-Mitte ein städtisches Betrachtungsgebiet auf. Anhand der hinterlegten Parameter-Werte ermittelt das Modell den PKW als kostenminimierendes Transportmittel. Als umweltfreundliche Alternative besteht hierbei das elektrisch unterstützte Lastenfahrrad, welches im Vergleich zum PKW monatlich etwa 116,2 € Mehrkosten verursacht (+8,4%). Daher resultiert die Erkenntnis, dass eine Umstellung von konventionellen auf nachhaltige Transportmittel unter derzeitigen Bedingungen mit einem Kostenanstieg verbunden ist.*

**Schlagworte:** *Urbane Logistik, City Logistik, Nachhaltige Mobilität, Elektrisches Lastenfahrrad, Optimierungsmodell, Entscheidungsunterstützungsmodell, Last Mile Delivery, Operations Research.*

# 1 Einleitung

Um in das Gebiet der urbanen Logistik einzuführen, werden zunächst die Relevanz und Motivation der Thematik dargelegt. Daneben erfolgt die Beschreibung der Ziele sowie eine Vorstellung des Aufbaus der vorliegenden Arbeit.

## 1.1 Relevanz und Zielsetzung

Seit dem Jahr 2010 leben weltweit mehr Menschen in Städten als in ruralen Gebieten (vgl. Taniguchi und Thompson, 2015, S. 1). Dieser Trend der zunehmenden Urbanisierung wird in der nahen Zukunft stetig anhalten, sodass 2030 etwa 60% und 2050 ca. 67% der Weltbevölkerung in städtischen Gebieten leben werden. Diese Entwicklung führt zu zahlreichen Herausforderungen. Beispielsweise (bspw.) wird sich die Summe der jährlich zurückgelegten Kilometer innerhalb der Städte bis 2050 verdreifachen, verglichen zum Bezugsjahr 2010. Dies resultiert aus dem steigenden Mobilitätsbedarf der Bevölkerung und der entsprechenden Güternachfrage. Durch die steigende Anzahl an Fahrzeugen im urbanen Raum verschärfen sich die Probleme der überlasteten Straßen, Luftverschmutzung und Lärm-Emissionen. Diese Faktoren führen zwangsweise zu negativen Einflüssen bezüglich (bzgl.) der Sicherheit, Lebensqualität und Wettbewerbsfähigkeit der Verkehrsnetzwerke innerhalb der urbanen Räume (vgl. Van Audenhove et al., 2015, S. 3). Ein weiterer Trend der letzten Jahre besteht durch den steigenden Business-to-Consumer (B2C) E-Commerce. In Deutschland ist bspw. ein Umsatzwachstum von 23,9 Mrd. Euro (2010) auf 41,7 Mrd. Euro (2015) zu verzeichnen (vgl. HDE, 2015, S. 3).

Bedingt durch die dargestellten Entwicklungen müssen zunehmend mehr Güter innerhalb der städtischen Gebiete transportiert werden, wodurch der dortige Wirtschaftsverkehr ansteigt. Dem World Economic Forum zufolge haben die Logistikaktivitäten derzeit einen Anteil von 5,5 % an den vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen von insgesamt 50.000 Megatonnen CO<sub>2</sub>e/Jahr. Dabei entfallen ca. 89% der Emissionen auf den Transport und die restlichen 11 % auf logistische Gebäude. Hierbei hat der Straßentransport mit etwa 1.600 Megatonnen CO<sub>2</sub>e/Jahr den größten Anteil (ca. 64%) der verschiedenen Verkehrswege (vgl. WEF, 2009, S. 4).

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels und der Verknappung fossiler Ressourcen ist die Politik zunehmend dazu angehalten, das nachhaltige Handeln in sämtlichen Gesellschaftsbereichen voranzutreiben. Bzgl. der urbanen Logistik besteht das Bestreben, zukünftig einen umweltfreundlichen Wirtschafts- und Güterverkehr zu realisieren. Mit dem Whitepaper (2011) formuliert die Europäische Kommission das Ziel,

bis zum Jahr 2050 sämtliche konventionell betriebenen Zustellfahrzeuge in den Städten durch nachhaltige Fahrzeug-Typen zu substituieren, um dadurch CO<sub>2</sub>-freie Stadtzentren zu erreichen. Dies soll dadurch ermöglicht werden, indem der Einsatz von herkömmlichen Lieferfahrzeugen bis 2030 halbiert wird. Das übergeordnete Ziel besteht hierbei darin, bis 2050 mindestens 60% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 einzusparen (vgl. EUC, 2011, S. 4ff.).

Insgesamt steht die urbane Logistik somit vor der Herausforderung, den steigenden Bedarf nach Transportaktivitäten zu bedienen und gleichzeitig den Aspekt der Nachhaltigkeit zu forcieren. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht daher in der ausführlichen Darstellung der verschiedenen Bereiche des Themenfelds sowie in der Entwicklung eines mathematischen Optimierungsmodells. Hierbei sollen die Kosten der städtischen Paketzustellung auf der letzten Meile minimiert werden, um somit eine möglichst hohe Effizienz der Transportvorgänge zu erreichen. Gleichwohl findet der Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit bei der Simulation eine entsprechende Berücksichtigung, indem alternative Transportmittel einbezogen und analysiert werden.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Eine essentielle Voraussetzung zur näheren Untersuchung der urbanen Logistik stellen die theoretischen Grundlagen dar, deren Präsentation im zweiten Kapitel erfolgt. Dabei werden eine entsprechende Begriffsdefinition und die verschiedenen Elemente der urbanen Logistik vorgestellt, sodass sämtliche Leistungsprozesse, Instrumente und Rahmenbedingungen eine angemessene Berücksichtigung finden. Um das betroffene Ökosystem in seiner Gesamtheit abzubilden, erfolgt die Darstellung der teilnehmenden Akteure, welche sich durch ihre Interessen und Aufgaben unterscheiden. Außerdem werden die Chancen und Herausforderungen des Themas gegenübergestellt sowie verwandte Begriffsbezeichnungen erläutert. Neben dem Ausdruck „urbane Logistik“ existieren schließlich weitere Termini, welche inhaltliche Überschneidungen aufweisen und in der Literatur teilweise synonym verwendet werden.

In Kapitel drei wird die zugrundeliegende Forschungsmethodik erläutert, wobei der Ansatz von Hevner et al. (2007) Verwendung findet. Das Forschungsobjekt richtet sich dabei sowohl an der thematischen Umgebung als auch an der bestehenden Wissensbasis aus, sodass dessen Relevanz und Innovation stetig sichergestellt sind. Hierbei werden drei bestimmte Zyklen definiert, welche kontinuierlich durchlaufen werden. Das Ziel dieses sogenannten (sog.) „Design Science Research“-Ansatzes ist hierbei die iterative Verbesserung des Forschungsobjektes.

Das vierte Kapitel beinhaltet die detaillierte Vorstellung der möglichen Handlungsfelder in

## 9. Fazit und Ausblick

Durch die vorliegende Arbeit wurde die Thematik der urbanen Logistik zunächst grundlegend vorgestellt sowie das entsprechende Ökosystem mit sämtlichen Elementen und Akteuren präsentiert. Hierbei wird deutlich, dass innovative Maßnahmen, Projekte, Konzepte usw. in verschiedenen Bereichen ansetzen können, um die städtischen Logistikaktivitäten nachhaltiger und effizienter zu gestalten. Es erfolgte die Kategorisierung von vier Handlungsfeldern, welche gleichzeitig die Grundlage für die systematische Literaturrecherche bezüglich formaler Optimierungsmodelle in der urbanen Logistik darstellte. Dabei zeigten sich zwischen den einzelnen Themengebieten große Unterschiede hinsichtlich der bisherigen wissenschaftlichen Betrachtungstiefe, sodass entsprechende Forschungslücken identifiziert wurden. Mit der Intention, ein mathematisches Optimierungsmodell zu entwickeln, wurde schließlich die inhaltliche Kombination der Aspekte einer optimalen Standortfindung für Umschlagsplätze sowie einer Verwendung alternativer Transportmittel als spezielle Thematik ausgewählt.

Das entwickelte EUM stellt dabei zunächst ein formales Optimierungsproblem zur Kostenminimierung der städtischen „Last Mile Delivery“ dar, welches aus einer Zielfunktion und 16 einzuhaltenden Nebenbedingungen besteht. Dabei können verschiedene Fahrzeug-Typen hinsichtlich ihrer Eigenschaften (Kosten, Reichweite, Transport-Kapazität etc.) verglichen werden, um die kostenminimale Kombination aus den hinterlegten Transportmitteln innerhalb eines urbanen Umfelds zu bestimmen. Weiterhin gilt es sämtliche Nachfrage-Standorte zu bedienen und die optimalen Positionen für Umschlagsplätze zu ermitteln. Darüber hinaus gelingt es, das formale EUM innerhalb der Software GAMS abzubilden, um das Optimierungsproblem computergestützt zu lösen. Die technische Implementierung ermöglicht schließlich die Betrachtung eines beispielhaften Anwendungsfalls, welcher die Funktionsfähigkeit des EUMs beweist.

Anhand des entwickelten GAMS-Tools wurde das Betrachtungsgebiet Hannover-Mitte abgebildet, wobei der *PKW* mit monatlichen Gesamtkosten von 1.390,7 € als kostenminimierendes Transportmittel identifiziert wurde. Dabei wird ein Umschlagsplatz errichtet, von welchem die insgesamt 137 Nachfrage-Standorte beliefert werden. Dieses Ergebnis wurde mittels Simulation verschiedener Parameter-Variationen bestätigt. Die Benchmarks zeigten weiterhin, dass unterschiedliche ECB-Arten signifikante Differenzen bzgl. der resultierenden Gesamtkosten aufweisen, was primär durch die ungleichen Transport-Kapazitäten und Reichweiten zu erklären ist. Hierbei stellt sich das *ECB\_m* als das Lastenfahrrad mit der höchsten Konkurrenzfähigkeit heraus, weil dieses mit Mehrkosten i.H.v. 116,2 €/Monat (+8,4%) gegenüber dem *PKW* das zweitgünstigste Transportmittel unter den betrachteten Fahrzeug-Typen darstellt. Diese Erkenntnisse beziehen sich somit auf das definierte Betrachtungsgebiet und die zugewiesenen

Parameter-Werte, weshalb die Aussagekraft einer entsprechenden Begrenzung unterliegt.

Das entworfene EUM kann durch seine offene Entwicklungsumgebung zukünftig verändert werden, um die „Last Mile Delivery“ verbessert abzubilden. Diesbezüglich wird das Optimierungsproblem im Allgemeinen diskutiert und bestehende Limitationen beschrieben. Mit den möglichen Modellerweiterungen in Kapitel 5.6 werden bereits zahlreiche Vorschläge zu denkbaren Änderungen aufgezeigt.

Grundsätzlich lässt sich jedoch aus den Ergebnissen des Anwendungsfalls und der Benchmarks ableiten, dass ein entsprechender Umstieg von konventionellen auf umweltfreundliche Transport-Fahrzeuge unter derzeitigen Bedingungen mit einem Anstieg der Gesamtkosten verbunden ist. Das Ziel der Europäischen Kommission, den Einsatz der herkömmlichen Lieferfahrzeuge bis 2030 zu halbieren, kann daher nur erreicht werden, sofern die alternativen Transportmittel wirtschaftlicher bzw. subventioniert werden. Weiterhin gilt es mögliche Synergieeffekte durch die Kombination von Maßnahmen verschiedener Handlungsfelder zu erschließen, um den Einsatz umweltfreundlicher Transportmittel voranzutreiben. Hierbei stellt die Verknüpfung von Hubs und ECBs lediglich einen denkbaren Ansatz dar. Um die aufgezeigten Herausforderungen zu bewältigen und die urbane Logistik in Zukunft nachhaltig zu gestalten, sind die Städte dazu angehalten ganzheitliche Konzepte zu entwickeln, welche die innovativen Ideen sämtlicher Handlungsfelder verbinden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich durch das entwickelte EUM ein Teil der Optimierungspotentiale in der urbanen Logistik erschließen lässt. Dabei wird die Effizienz der städtischen „Last Mile Delivery“ hinsichtlich des Kosten-Aspekts maximiert. Zukünftig gilt es jedoch weitere innovative Konzepte sowie ganzheitliche Ansätze theoretisch zu entwerfen, technisch zu implementieren und in der Praxis zu realisieren, um die urbane Logistik vollständig zu optimieren.