

**Performance Vergleiche verschiedener Optimierungsverfahren für  
die Last-Mile-Delivery**

**Masterarbeit**

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

vorgelegt von

Name: Schmidt



Vorname: Kristina



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Rethmar, den 02.10.2017

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Listings.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung .....	1
2 Literaturüberblick.....	3
3 Mathematisches Problem und Modellbeschreibung.....	10
3.1 Problemstellung und Annahmen .....	10
3.2 Notation und Optimierungsmodell .....	10
3.3 Anwendungsbeispiel .....	14
4. Vergleich verschiedener Optimierungsverfahren .....	17
4.1 Antigone .....	18
4.2 BONMIN .....	20
4.3 LGO .....	22
4.4 PATHNLP .....	24
4.5 SCIP .....	25
4.6 Vergleich der Solver.....	27
5. Beschreibung der Webapplikation .....	30
5.1 Anforderungen an die Webapplikation .....	30
5.2 Beschreibung der Webapplikation.....	31
5.2.1 Start der Oberfläche .....	31
5.2.2 Anwendung durch den Benutzer.....	34
5.3 GAMS-Implementierung und Systemarchitektur .....	45
5.3.1 Verknüpfung von GAMS mit der Webapplikation .....	45
5.3.2 Datenbankmodell .....	47
5.3.3 Anwendungsszenario .....	49
5.4 Test-Suit mit Hilfe von RSpec .....	51
6. Limitationen und Handlungsempfehlungen.....	56
7. Fazit und Ausblick .....	59
Literaturverzeichnis .....	61
Anhang.....	64

# 1 Einleitung

Aufgrund der Verbreitung neuer Technologien und des ökonomischen und sozialen Wandels, erfährt die Kurier-, Express- und Paket- (KEP) Industrie ein beträchtliches globales Wachstum. Services wie Tür-zu-Tür oder Lieferung am selben/nächsten Tag werden immer populärer und tragen zu diesem Wachstum bei.<sup>1</sup> In Deutschland wuchs das Volumen von gelieferten Gütern vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2015 über 74%.<sup>2</sup>

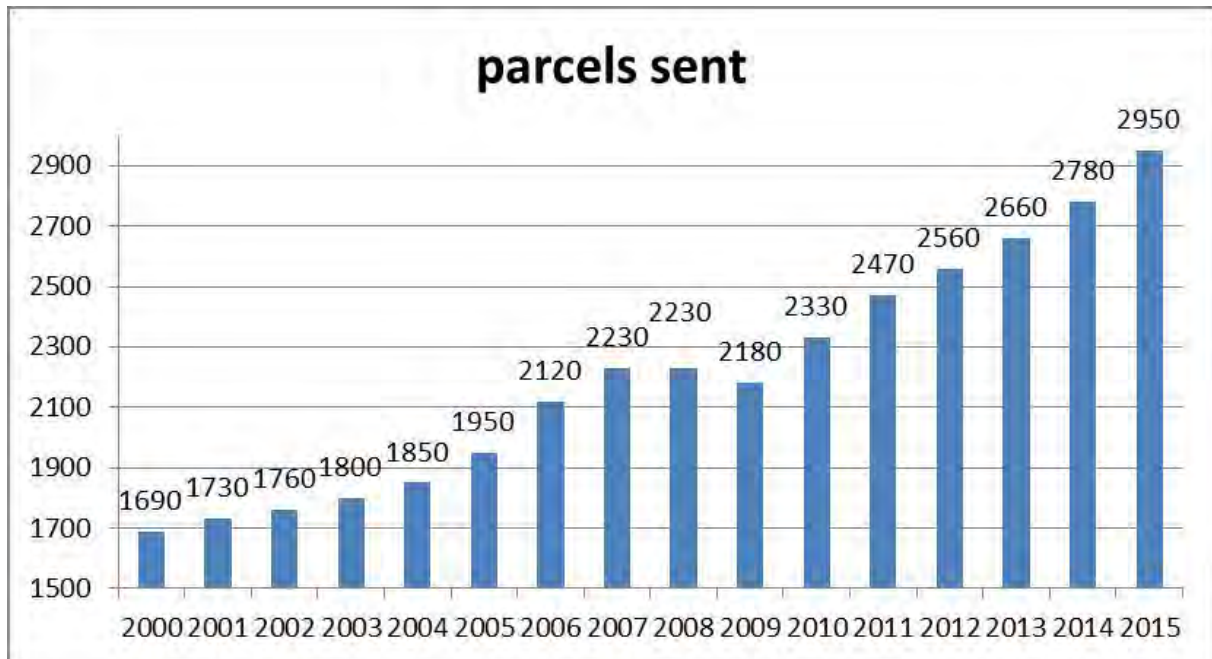


Abbildung 1: Paketversand in Deutschland (in Mio.)<sup>3</sup>

Abbildung 1 zeigt, dass im Jahr 2015 2.950 Millionen Pakete versendet wurden. Ein höheres Volumen, verbunden mit einem ineffizienten Liefersystem in der letzten Meile, kann zu einem substantiellen Anstieg von gefahrenen km, besonders im städtischen Umfeld, führen. Dies resultiert nicht nur in hohen Kosten, sondern ebenfalls in einem erhöhten Ausstoß von Emission, einer erhöhten Verkehrsbelastung sowie einer Senkung der Lebensqualität.<sup>4</sup> Weiterhin ist die letzte Meile, mit 30 % der Kosten einer der teuersten Abschnitte der Lieferkette.<sup>5</sup> Unter der Last-Mile oder auch letzte Meile wird der Lieferabschnitt vom Lager oder dem Verteilerzentrum zum endgültigen Empfänger bezeichnet. Dies kann entweder der Wohnsitz oder ein Sammelpunkt, wie beispielsweise ein Einzelhandelsgeschäft, wo der Kunde das Paket abholen kann, sein. Aufgrund der hohen Kosten der letzten Meile, ist dieser Teil der Schwächste Part der Lieferkette.<sup>6</sup> Die Kosten, können nur durch ein durchdachtes Design der

<sup>1</sup> Vgl. Park et al. 2016, S. 115.

<sup>2</sup> Vgl. Otter et al. 2017, S. 461.

<sup>3</sup> Otter et al. 2017, S. 461.

<sup>4</sup> Vgl. Reyes et al. 2017, S. 71.

<sup>5</sup> Vgl. Otter et al. 2017, S. 462.

<sup>6</sup> Vgl. Lin et al. 2016, S. 230.

Lieferkette substantiell gesenkt werden.<sup>7</sup> Aus diesem Grund, sehen sich KEP-Akteure mit dem Thema der letzten Meile konfrontiert.<sup>8</sup>

Das Design eines Netzwerkes für die letzte Meile, wirft mehrere kombinatorische Optimierungsprobleme auf, die Standortwahl des Lagers oder Umschlagplatzes, die Bestimmung der Kunden, die von diesem Bedient werden und die entsprechenden Routen für die Bedienung.<sup>9</sup> Die daraus entstehenden Optimierungsprobleme sind jedoch so komplex, dass diese zu den NP-schweren Problemen zählen. Dies führt zu der Problematik der Lösbarkeit dieser Probleme. Eine exakte Lösung ist schon bei kleinen Problemgrößen nicht möglich, weswegen hierfür auf Heuristiken zurückgegriffen werden muss.<sup>10</sup> Die Anzahl an verfügbaren Lösungsverfahren hierfür ist äußerst umfangreich und wächst kontinuierlich an, was die Auswahl einer solchen für die Problemlösung erschwert. Für die Anwendung dieser Lösungsverfahren kann ein Entscheidungsunterstützungssystem, wie beispielsweise das General Algebraic Modeling System (GAMS), verwendet werden. Dieses besitzt jedoch den Nachteil, dass keine graphische Benutzeroberfläche die Bedienung für Laien ermöglicht.

Ziel dieser Arbeit, ist der Vergleich verschiedener Lösungsverfahren bezüglich der Lösungszeit, am Beispiel eines Optimierungsmodells der Last-Mile-Delivery. Weiterhin soll eine Webapplikation programmiert werden, welche die Lösung mittels der verschiedenen Lösungsverfahren für Menschen ohne Programmierkenntnisse ermöglicht. Aus dieser Zielsetzung ergeben sich folgende Forschungsfragen für diese Arbeit:

*Welches Lösungsverfahren bietet die beste Lösung für ein Optimierungsmodell der Last-Mile-Delivery, in einem gegebenen Zeitraum?*

*Wie kann ein Prototyp einer Webapplikation aussehen, damit das Optimierungsproblem der Last-Mile-Delivery gelöst und umgesetzt werden kann?*

In Kapitel 2 dieser Arbeit wird zunächst ein Überblick über die verschiedenen Problemstellungen der letzten Meile gegeben, woraufhin in Kapitel 3 das daraufhin ausgewählte Modell vorgestellt wird. Das vierte Kapitel befasst sich mit der Vorstellung und dem Vergleich der in dieser Arbeit verwendeten Lösungsverfahren. Kapitel 5 stellt anschließend den Prototyp der Webapplikation und seine Funktionsweise vor. Anschließend werden im fünften Kapitel die Limitationen und Handlungsempfehlungen aufgezeigt, bevor im letzten Kapitel mit einem Fazit geschlossen wird.

---

<sup>7</sup> Vgl. Prodhon und Prins 2014, S. 1.

<sup>8</sup> Vgl. Park et al. 2016, S. 115.

<sup>9</sup> Vgl. Prodhon und Prins 2014, S. 1.

<sup>10</sup> Vgl. Boyer et al. 2009, S. 186.

## 7. Fazit und Ausblick

Das Themengebiet der letzten Meile umfasst eine große Anzahl an NP-schweren Optimierungsmodellen, deren exakte Lösung kaum möglich ist. Um diese trotzdem lösen zu können, müssen Heuristiken herangezogen werden, welche eine näherungsweise Lösung ermitteln. Aufgrund der vielen Problemstellungen, gibt es eine große Anzahl an verfügbaren Heuristiken die hierfür verwendet werden können. Aus diesem Grund beschäftigte sich der erste Abschnitt diese Arbeit mit dem Vergleich der verschiedenen Optimierungsverfahren. Hierfür wurde ein Optimierungsmodell von Leyerer verwendet, welches eine Kombination eines VRP mit einem Location Problem darstellt. Ziel dieses Modells ist die tägliche Bedienung einer Nachfrage zu minimalen Kosten. Bei diesem Optimierungsmodell, handelt es sich um ein MINLP, aufgrund der verwendeten Binärvariablen und einiger nichtlinearer Nebenbedingungen. Für den Vergleich der verschiedenen Optimierungsverfahren wurde ein fiktives Anwendungsbeispiel in der Region Hannover entwickelt, welches aus 40 Nachfragestandorten, fünf potentiellen Hubs und vier verschiedenen Fahrzeugtypen besteht. Ferner wurde zur Lösungsunterstützung ein Distanzberechnungsprogramm entwickelt, welches die Berechnung der Entfernung von Hub- und Nachfragestandorten für den Anwender übernimmt. Für den Vergleich wurden die in GAMS implementierten Solver Antigone, BONMIN, LGO, PATHNLP und SCIP verwendet, welche anhand von drei unterschiedlich großen Probleminstanzen getestet wurden. Antigone, LGO, PATHNLP sowie SCIP weisen eine hohe Abweichung auf. Lediglich BONMIN konnte mit einer geringen Abweichung und einem niedrigen Zielfunktionswert, bei einer mittelfristigen Laufzeit, überzeugen. Jedoch versagt BONMIN wenn der Lösungszeitraum zu eng definiert ist. Hier können sowohl Antigone, als auch LGO und PATHNLP eine Lösung generieren, im Gegensatz zu BONMIN. Daraus resultiert die Schlussfolgerung, dass für eine mittelfristige bis lange Laufzeit BONMIN als Solver ausgewählt werden sollte. Im Gegensatz dazu, wird bei einer kurzen Laufzeit die Verwendung von entweder Antigone, LGO oder PATHNLP empfohlen.

Ein Nachteil der Optimierung durch die Software GAMS ist die fehlende graphische Benutzeroberfläche. Um diesen Nachteil aufzuheben, wurde eine Webapplikation entwickelt, welche eine Lösung des vorgestellten Modells ohne Programmierkenntnisse ermöglicht. Durch die Verknüpfung der Webapplikation mit GAMS, können alle erforderlichen Daten für die Optimierung der letzten Meile über die graphische Oberfläche der Webseite eingegeben und danach per Knopfdruck an GAMS übermittelt werden. Ein Zugriff auf die Optimierung ist jedoch nur für registrierte Nutzer möglich. Da es sich bei dem Prototyp um eine Firmensoftware handelt, kann jeder eingeloggte Nutzer auf die Daten und Ergebnisse der Optimierung zugreifen und diese verändern. Aufgrund dessen, dass die Optimierung die einzige Anwendungsmöglichkeit dieser Webapplikation darstellt, ist die Startseite der Optimierung das Zentrum der App, von wo aus alle Funktionen angesteuert werden können. Als zusätzliche Funktion bietet die App die Möglichkeit den Solver für die Optimierung, sowie die maximale Lösungszeit selbst zu wählen. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse übersichtlich auf der Webseite präsentiert. Die Funktion dieser Webapplikation wurde daraufhin mittels des

Anwendungsszenarios aus Kapitel 3.3 getestet. Dies konnte die Funktionsfähigkeit der App verifizieren.

Ein Ansatzpunkt für weitere Forschung, ist die Performance des Solver BONMIN bei größeren Anwendungsszenarien. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass anderer Solver, welche in dieser Arbeit nicht getestet wurden, eine bessere Performance als BONMIN zeigen. Aus diesem Grund wird ein weiterer Vergleich empfohlen. In Kapitel 6 wurden einige Erweiterungen für das hier verwendete Modell vorgestellt, wie z.B. die variablen Größen der Hub-Standorte. Diese sollten weiterführend ebenfalls programmiert und das verbesserte Modell hinsichtlich seiner Lösungszeit untersucht werden. Der Prototyp der hier vorgestellten Webapplikation kann mittels kleiner Modifikationen zu einer allgemein verwendbaren Webapplikation umgebaut werden.