

Fachwissenschaftliche Projektarbeit

Einsatz von Simulation bei horizontaler Kollaboration in der City-Logistik

Name: Fabienke, Raphael
Studiengang: Masterstudiengang Logistik
Matrikel-Nr.: 149494

Name: Jocksch, Jan Dominik
Studiengang: Masterstudiengang Logistik
Matrikel-Nr.: 149238

Ausgegeben am: 18.10.2016
Eingereicht am: 18.04.2017

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Markus Raabe
Betreuer: M.Sc. Astrid Klüter

Kurzfassung [RF]

Die hier vorliegende Projektarbeit befasst sich mit Simulationen im Kontext der City-Logistik. Ziel der Arbeit ist es, die zunehmende Relevanz der Simulation durch die Anzahl der Veröffentlichungen im Zeitkontext zu belegen. Ferner sollen ausgewählte Arbeiten detaillierter beschrieben werden. Zur Umsetzung der Aufgabe wurde eine umfassende Literaturrecherche über wissenschaftliche Suchmaschinen durchgeführt. Bei der Auswahl der zu beschreibenden Texte wurde auf die Diversität des Inhaltes Wert gelegt. Weitergehend wurde zur systematischen Erfassung der vorliegenden Werke ein morphologisches Merkmalschema entwickelt. Dieses wurde angewandt, um die Literatur nach festgelegten Kriterien zu erfassen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Kurzfassung [RF] | 1 |
| Inhaltsverzeichnis | 1 |
| 1 Einleitung [JDJ] | 1 |
| 2 Grundlagen [JDJ] | 3 |
| 2.1 Kollaboration und horizontale Kollaboration [JDJ] | 3 |
| 2.1.1 Kollaboration und Kooperation..... | 3 |
| 2.1.2 Theoretische Ansätze zur Entstehung von Kollaboration | 4 |
| 2.1.3 Arten von Kollaboration..... | 5 |
| 2.1.4 Anwendung von HC in der Logistik | 6 |
| 2.1.5 Vor- und Nachteile von HC..... | 7 |
| 2.2 City-Logistik [RF] | 8 |
| 2.2.1 Begriff der City-Logistik..... | 8 |
| 2.2.2 City | 8 |
| 2.2.3 Verkehre | 8 |
| 2.2.4 Stakeholder..... | 9 |
| 2.2.5 Maßnahmen in der City-Logistik | 10 |
| 2.2.6 Last-Mile-Problem | 11 |
| 2.2.7 Historie | 11 |
| 2.3 Vehicle-Routing-Problem [RF] | 12 |
| 2.3.1 Vehicle-Routing-Problem-with-Time-Window | 12 |
| 2.3.2 Multi-Depot-Vehicle-Routing-Problem | 12 |
| 2.3.3 Lösungsverfahren für Vehicle-Routing-Probleme | 12 |
| 2.3.4 Savings-Verfahren nach Clarke und Wright | 13 |
| 2.3.5 Insertion-Heuristic..... | 13 |
| 2.4 Einsatz von Simulation in der City-Logistik [JDJ]..... | 13 |
| 2.4.1 Begriff und Anwendung der Simulation | 13 |
| 2.4.2 Gründe für den Einsatz von Simulation | 14 |
| 2.4.3 Simulationseinsatz bei der Verkehrs- und Routenplanung..... | 15 |
| 2.4.4 Simulationseinsatz bei der horizontalen Kollaboration..... | 15 |
| 2.4.5 Multi-Agenten-basierte-Simulation..... | 15 |
| 3 Literaturübersicht und Beschreibung ausgewählter Beispiele [RF] | 17 |
| 3.1 Publikationsübersicht [Gemeinschaftsleistung]..... | 17 |
| 3.2 Merkmalsübersicht für verschiedene Simulationsstudien [JDJ]..... | 22 |
| 3.3 An Alternative Framework for Urban Good Distribution: Consolidation (McDermott; 1975) [JDJ] | 24 |
| 3.3.1 Problembeschreibung und Intention des Autors..... | 24 |
| 3.3.2 Simulation der Distribution über ein Konsolidierungslager..... | 24 |
| 3.3.3 Ergebnisse der Simulationsexperimente..... | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.4 | Vergleich zu aktuelleren Arbeiten..... | 25 |
| 3.4 | Simulation of underground freight transport system (J.H.R. van Duin, 1998) [RF]..... | 26 |
| 3.4.1 | Problembeschreibung und Intention des Autors..... | 26 |
| 3.4.2 | Beschreibung der Simulation | 27 |
| 3.4.3 | Schlussfolgerungen | 28 |
| 3.5 | Konsolidierungspotenziale von Speditionskooperationen: Eine simulationsgestützte Analyse (Erdmann 1999) [JDJ]..... | 28 |
| 3.5.1 | Problembeschreibung und Intention der Autorin | 28 |
| 3.5.2 | Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen | 29 |
| 3.5.3 | Ergebnisse der Simulationsexperimente..... | 29 |
| 3.5.4 | Beschreibung der Leistungsverrechnung..... | 29 |
| 3.6 | Simulationsbasierte Optimierung kollaborativer Transportlösungen in Transportnetzwerken (Schwind, Kunkel; 2009) [RF] | 30 |
| 3.6.1 | Problembeschreibung und Intention des Autors..... | 30 |
| 3.6.2 | Beschreibung der Simulation | 31 |
| 3.6.3 | Schlussfolgerungen | 31 |
| 3.7 | Design and scenario assessment for collaborative logistics and freight transport systems (Gonzalez-Feliu et al. 2013) [JDJ]..... | 32 |
| 3.7.1 | Problembeschreibung Intention..... | 32 |
| 3.7.2 | Integrierter Ansatz mit Simulation der Alternativen | 32 |
| 3.7.3 | Anwendungsbeispiel City-Logistik mit Ergebnissen | 33 |
| 3.8 | Multi-Agent Modeling for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Urban Distribution Centre (Wangapisit Ornkamon; Eiichi Taniguchi 2013) [RF]..... | 34 |
| 3.8.1 | Problembeschreibung und Intention des Autors..... | 34 |
| 3.8.2 | Beschreibung der Simulation | 35 |
| 3.8.3 | Schlussfolgerungen | 36 |
| 3.9 | A Simheuristic Algorithm For Horizontal Cooperation In Urban Distribution: Application To A Case Study in Coumbia (Quintero-Araújo, Juan, Montoya-Torres 2016) [JDJ] | 36 |
| 3.9.1 | Problembeschreibung und Intention..... | 36 |
| 3.9.2 | Vorgehensbeschreibung der Simulationsstudie..... | 37 |
| 3.9.3 | Ergebnisse der Simulationsstudie..... | 38 |
| 3.10 | Towards an agent-based modeling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centers (van Duin et al. 2016) [RF] | 38 |
| 3.10.1 | Problembeschreibung und Intention des Autors..... | 38 |
| 3.10.2 | Beschreibung der Simulation | 39 |
| 3.10.3 | Schlussfolgerungen | 41 |
| 4 | Fazit..... | 42 |
| 5 | Literaturverzeichnis | 43 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 48 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 48 |

Erklärung.....49

1 Einleitung [JDJ]

Die zunehmende Verstädterung und das daraus resultierende Wachstum des urbanen Lebensraumes, der mit einer höheren Bevölkerungsdichte im städtischen Raum einhergeht, stellt eine bedeutende Herausforderung dar. Laut der statistischen Erfassung der Vereinten Nationen lebten 1950 noch über 70 Prozent der Weltbevölkerung auf dem Land. Bereits im Jahre 2010 lebte eine knappe Mehrheit der Weltbevölkerung in Städten. Prognosen gehen davon aus, dass dieser Trend anhalten wird und in absehbarer Zeit geschätzte 66 Prozent der Menschheit in der Stadt leben wird (Vereinte Nationen 2014). Aus dieser Entwicklung resultieren diverse Folgen, auf die verschiedene Stakeholder dringend reagieren müssen. So resultiert aus der höheren Bevölkerungsdichte im städtischen Raum deterministisch ein gesteigertes Verkehrsaufkommen, insbesondere für den Güterverkehr. Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Städteplanung und Politik sind hierbei in der Verantwortung Konzepte und Lösungen zu erarbeiten, wie diese Herausforderungen bewältigt werden können (Lehmacher 2015). Ein in der Literatur diskutierter Ansatz, um eine effizientere Bewältigung der Probleme der City-Logistik zu ermöglichen, stellt der Einsatz von horizontaler Kollaboration dar. Hierunter wird die intensive Zusammenarbeit von verschiedenen Partner auf der gleichen Wertschöpfungsstufe und oft auch der gleichen Branche verstanden (Ellerkmann 2002). Hierdurch können diverse Ziele erreicht werden wie die Reduktion der Umweltschädigung, eine Verringerung des Verkehrsaufkommens und das Einsparen von Kosten (Erdmann 1999). Diesen unbestreitbaren Vorzügen stehen jedoch Nachteile gegenüber, die in einem erhöhtem Koordinationsaufwand und individuellen Risiken für Teilnehmer von Kollaborationsnetzwerken liegen (Ellerkmann 2002). Dabei stellt die Quantifizierung der Kosten und Nutzen und die Optimierung des Einsatzes von horizontaler Kollaboration im Bereich der City-Logistik eine schwierige Aufgabe dar. Um die sich aus diesem Spannungsfeld ergebenden komplexen Systeme angemessen untersuchen und optimieren zu können, kann Simulation als ein wirksames Analyse- und Prognosewerkzeug eingesetzt werden (März und Weigert 2011).

In der Fachliteratur finden sich bereits eine größere Gruppe an Veröffentlichungen, die unterschiedliche Problemstellungen mit diversen Lösungsansätzen verfolgt haben, um über Simulation neue Erkenntnisse für den Umgang mit den geschilderten Herausforderungen und Problemen zu erlangen. Intention der Arbeit ist es, einen Überblick über die diesbezüglichen Publikationen zu erstellen. Hierfür soll die vorliegende Arbeit zwei Aufgaben lösen.

Die erste ist es dabei, einen Überblick über die erschienene Fachliteratur zu geben und anhand der Zeitpunkte der Veröffentlichungen zu analysieren, welche Bedeutung dem Thema im Lauf der Zeit zugekommen ist und zusätzlich Prognosen abzuleiten, wie sich die Bedeutung in der Zukunft verhält. Die zweite ist es, an ausgewählten Beispielen aufzuzeigen, wie sich horizontale Kollaboration im Feld der City-Logistik simulieren lässt und welche Erkenntnisse dabei gewonnen werden können. Durch die kombinierte Betrachtung beider Aspekte soll eine Betrachtung des Stands der Forschung möglich sein.

Der methodische Aufbau der Arbeit gliedert sich dabei in zwei Teile. In dem ersten sollen die theoretischen Grundlagen und relevanten Fachbegriffe, die für die Analyse der genannten Fachliteratur nötig sind, ausführlich behandelt werden. Hierzu gehören eine Einführung in das Themenfeld der Kollaboration und den Anwendungsmöglichkeiten für horizontale Kollaboration, die Definition und Beschreibung der relevanten Probleme der City-Logistik, eine Einführung in Vehicle-Routing-Probleme und die Definition von Begriffen der Simulation sowie die Beschreibung von Anwendungsmöglichkeiten der Nutzung für horizontale Kollaboration in der City-Logistik. Im zweiten Teil folgt eine Auflistung fachlich relevanter Publikationen und bedeutender Fallstudien, die für das beschriebene Themenfeld erschienen sind. Aus dieser werden einige ausgewählte Beispiele ausführlicher erörtert, um einen tieferen Einblick in die Methodik und Untersuchungsergebnisse der Arbeit zu geben. Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben, welche zu erwartenden Entwicklungen sich aus der Historie und Gegenwart der Forschung ableiten lassen.

2 Grundlagen [JDJ]

In diesem Teil der Arbeit sollen Grundlagen, die für das Zusammentragen und Zusammenfassen der Literatur für den Einsatz von Simulationen im Bereich der horizontalen Kollaboration für den Sektor der City-Logistik benötigt werden, gelegt werden. Die erörterten Begriffe und theoretischen Konzepte bilden dabei den Überbau, der nötig ist, um im dritten Hauptkapitel einzelne Veröffentlichungen vorstellen und erläutern zu können.

Hierfür soll im ersten Abschnitt definiert und ausgeführt werden, was horizontale Kollaboration ist, wie sie zum Einsatz kommt und welche Vor- und Nachteile mit ihr verbunden sind. Anschließend werden im zweiten Abschnitt die begrifflichen Grundlagen für den Bereich der Citylogistik erläutert und bedeutende Stakeholder sowie Konzepte zu ihrer Umsetzung benannt und erklärt. Um spezifische Probleme, die in der Literatur aufgegriffen werden, erläutern zu können, sollen dann im dritten Abschnitt bedeutende Vehicle-Routing-Probleme und oft benutzte Ansätze für deren Lösung vorgestellt werden. Im letzten Abschnitt des Grundlagenteils werden außerdem Grundbegriffe der Simulation erläutert und erklärt, wie Kollaboration und Vehicle-Routing-Probleme im Rahmen von Simulationen Berücksichtigung finden.

2.1 Kollaboration und horizontale Kollaboration [JDJ]

In diesem Abschnitt soll die Definition und die Beschreibung der Begriffe Kollaboration und horizontale Kollaboration (im Englischen *horizontal Collaboration*; im Folgenden als *HC* abgekürzt) erfolgen. Dabei erfolgt eine Gliederung in vier Kapitel. Im ersten soll eine Erläuterung des Begriffs der Kollaboration erfolgen, um im zweiten Kapitel verschiedene Kollaborationsformen vorzustellen, wobei der Schwerpunkt auf der HC liegt. Im dritten Kapitel sollen dann Anwendungsfelder für HC mit dem Schwerpunkt auf den Bereich der Citylogistik (vgl. 2.2.1) vorgestellt werden. Im vierten Abschnitt soll schließlich noch auf Vor- und Nachteile von HC eingegangen werden.

2.1.1 Kollaboration und Kooperation

In diesem Kapitel soll eine Definition des Begriffs der Kollaboration erfolgen, wobei diese insbesondere vom Begriff der Kooperation abgegrenzt werden soll. Dabei erfolgt eine Eingrenzung auf ein Verständnis der Begriffe im wirtschaftswissenschaftlichen Verständnis.

Kooperation ist dabei nach Bidlingmaier folgendermaßen definiert:

„Kooperation liegt immer dann vor, wenn zwei oder mehrere Unternehmungen aufgrund freiwilliger vertraglicher Abmachungen gewisse Aufgaben gemeinsam erfüllen in der Erwartung, hierdurch einen – gegenüber dem jeweils individuellen Vorgehen – höheren Grad der Zielerfüllung zu erreichen.“ (Bildingmeier 2013, S. 358) Ellerkmann nennt weiterhin die wirtschaftliche Abhängigkeit, die rechtliche Selbstständigkeit, die Zweckorientierung und den Scheinwiderspruch zwischen Autonomie und Abhängigkeit als die vier Kriterien, um Kooperation zu beschreiben (Ellerkmann 2002).

Kollaboration hingegen wird von Monczka als *“the process by which partners adopt a high level of purposeful cooperation to maintain a trading relationship over time. The relationship is bilateral; both parties have the power to shape its nature and future direction over time. Mutual commitment to the future and a balanced power relationship are essential to the process.”* (Monczka et al. 1998, S. 144) definiert. Es liegt also eine Beziehung vor, die durch eine zeitliche Entwicklung und einen intensiven Charakter gekennzeichnet ist. Auch der Ansatz, dass ein Kräftegleichgewicht vorliegt, ist ein Charakteristikum.

Allerdings wird in der deutschsprachigen Fachliteratur oft nicht zwischen Kollaboration und Kooperation differenziert und beide Begriffe synonym verwendet, was auf die Übersetzung des englischen Wortes „collaboration“ mit „Zusammenarbeit“ zurückzuführen ist (Klüter 2016).

Aus den Definitionen lässt sich schlussfolgern, dass beide Begriffe sich mit der Beschreibung der Zusammenarbeit von mehreren selbstständigen Unternehmen befassen, jedoch Kollaboration mehr umfasst, einmal in Bezug auf die Enge der Zusammenarbeit und auch von der Stärke der Bindung und schließlich auch darin, dass ein Gleichgewicht der Kräfte vorliegt.

2.1.2 Theoretische Ansätze zur Entstehung von Kollaboration

In der Literatur werden mehrere Entstehungsansätze für das Zustandekommen von horizontaler Kollaboration diskutiert, die beiden wichtigsten stellen dabei der Transaktionskostenansatz und die spieltheoretische Betrachtung dar (Royer 2000, S.100-105).

Ziel des Transaktionskostenansatzes ist es, zu bestimmen, welche Form der Zusammenarbeit zwischen zwei Unternehmen die effizienteste ist. Dabei werden zwei Extremfälle unterschieden: Die Hierarchie und der Markt.

Während beim Markt eine Zusammenarbeit nur über Kaufverträge erfolgt und keine weitere Zusammenarbeit stattfindet, also möglichst wenig Zusammenarbeit bei möglichst hoher Autonomie zum Einsatz kommt, stellt die Hierarchie, die eine Fusion zwischen den Unternehmen voraussetzt, nach der eine zentrale Steuerung für beide Unternehmen erfolgt, die Aufgabe von Autonomie bei maximaler Zusammenarbeit dar (Ellerkmann 2002).

Als entscheidende Zielgrößen dafür, bei welcher Form die Transaktionskosten geringer sind, werden in der Literatur die Spezifität und die Unsicherheit angeführt. Während die Spezifität einer Transaktion den Wertverlust beschreibt, der dadurch entsteht, dass eine Ressource einer alternativen Anwendung als ursprünglich geplant zugeordnet wird, beschreibt die Unsicherheit das Ausmaß und die Anzahl der unvorhersehbaren Aufgabenänderungen, die sich im Rahmen der Transaktionsbeziehung ergeben können. Dabei ist die Hierarchie bei hoher Spezifität und hoher Unsicherheit vorzuziehen, während der Markt bei niedriger Spezifität und niedriger Unsicherheit effizient ist (Picot et al. 2001, S. 50).

Zwischen diesen beiden Extremen existiert die Kooperation bzw. die Kollaboration als eine langfristige intensive Form der Kooperation (vgl. Kapitel 2.1.1), als hybride Transaktionsformen, die Vorteile und Nachteile der beiden Extremfälle vereinen. Eine Kollaboration ist mithin bei einer Spezifität und Unsicherheit wirtschaftlich, die zu hoch für die Hierarchie, aber noch nicht hoch genug für eine Marktbeziehung ist. Aufgrund der intensiveren und langfristigeren Zusammenarbeit ist eine Kollaboration bei einer höheren Spezifität wirtschaftlicher als eine Kooperation (Royer 2000, S.100-105).

Eines der Kerninteressen bei der Aufnahme einer horizontalen Kollaboration bildet die Fragestellung, wie stabil die Zusammenarbeit ist. Eine Möglichkeit, diese Frage vom theoretischen Standpunkt aus zu beantworten, bildet das Gefangenendilemma, ein bedeutendes Paradigma innerhalb der Spieltheorie, dessen ausführliche Behandlung im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen soll. Kerngedanke dieser Betrachtung ist die Interpretation der möglichen Kollaborationspartner als Spieler, die sich kooperativ oder nicht kooperativ verhalten können und überlegen, wie sich ihre Entscheidungen auswirken, wenn die anderen Kollaborationspartner bestimmte Entscheidungen treffen. Um die Situation zu vermeiden, dass die Partner im Rahmen von Kollaboration Entscheidungen treffen, die zum eigenen Nachteil führen, führt diese Betrachtung dazu, dass die Partner nur zusammenarbeiten, wenn sie von einer „win-win“-Situation ausgehen. Hieraus lassen sich Erkenntnisse herleiten, unter welchen Umständen einzelne Teilnehmer bereit sind, kritische Informationen, wie z.B. die eigene Wettbewerbsstrategie offenzulegen (Royer 2000, S.100-105).

2.1.3 Arten von Kollaboration

Eines der gängigsten Verfahren, um verschiedene Kollaborationsarten zu untergliedern, stellt eine Differenzierung gemäß der beteiligten Wertschöpfungsstufen dar. Dabei wird oft zwischen horizontaler und vertikaler Kollaboration unterschieden (Gonzalez-Feliu et al. 2013). Alternativ kann auch noch eine komplementäre Beziehung der Wertschöpfungsstufen als eigenständige Unterform interpretiert werden (Ellerkmann 2002).

Eine vertikale Kollaboration umfasst die Zusammenarbeit von verschiedenen Unternehmen, die sich auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen einer Supply Chain befinden und auch aus verschiedenen Branchen kommen können (Wertz 2000). Es handelt sich folglich um ein vor- oder ein nachgelagertes Verhältnis und mithin um eine Zulieferer-Hersteller-, bzw. Hersteller-Abnehmer-Beziehung. In einem Verbund konzentriert sich ein Unternehmen hierbei auf einen Schritt im Wertschöpfungszyklus, bei dem es seine eigene Kernkompetenz einbringt (Schulteis 2000, S. 44-55). Eine Zusammenarbeit über mehrere Wertschöpfungsstufen hinweg bietet dabei vor allem für KMU eine Chance, sich eine langfristige Absatzperspektive zu sichern. Ein mögliches Einsatzgebiet im Rahmen der Citylogistik (vgl. Kapitel 2.2) stellt dabei die Auslagerung von Transportdienstleistungen an eine Spedition dar (Ellerkmann 2002).

In Abgrenzung zur vertikalen Kollaboration stellt die horizontale Kollaboration eine „*Zusammenarbeit zwischen Wettbewerbern der gleichen Wirtschaftsstufe, die gleichartige oder eng substituierbare Güter anbieten*“ (Arendt und Egge 1997) dar. Es kann dabei häufig vorkommen, dass die verschiedenen Unternehmen aus der gleichen Branche kommen (Klüter 2016). Daher kann es häufig vorkommen, dass vormalig eine Konkurrenzbeziehung zwischen den verschiedenen Kollaborationspartnern vorlag. Besonders vorteilhaft ist die horizontale Kollaboration vor allem, wenn es für mehrere KMUs darum geht, eine bessere Verhandlungsposition gegenüber einem Großkunden oder Lieferanten zu erhalten (Wallner 1999). Dies wird durch eine Gleichrichtung der Aktivitäten erreicht, um so die Einflüsse der Kooperationspartner zu bündeln und somit Skaleneffekte zu erzielen (Töpfer 2005, S. 1291). Auf die Anwendungsfelder der horizontalen Kollaboration im Bereich der Logistik wird im folgenden Kapitel intensiv eingegangen (vgl. Kapitel 2.1.4).

Neben vertikaler und horizontaler Kollaboration kann auch der Fall einer komplementären Zusammenarbeit vorliegen. Unter dieser sind „*Zusammenschlüsse mehrere Unternehmen [...] die*

aus unterschiedlichen Branchen stammen, bzw. verschiedene Gewerke betreiben und deren Einzelleistungen sich zu einem neuen Leistungsangebot verbinden“ (Ellerkmann 2002, S.57) zu verstehen. Komplementäre Kollaboration findet sich vor allem bei innovativen Dienstleistungen. Bei diesen können durch das Zusammenführen unterschiedlichen Wissens gegenseitige Impulse für neue Anwendungsfelder erwirkt werden.

2.1.4 Anwendung von HC in der Logistik

Horizontale Kollaboration kann im Rahmen der Logistik in verschiedenen Teildisziplinen Anwendung finden. Drei mögliche Anwendungsfelder stellen der Einkauf, die Lagerwirtschaft und die Distribution dar (Ellerkmann 2002). Diese sollen in diesem Kapitel kurz aufgezeigt werden, wobei der Schwerpunkt auf der Distribution liegt, da diese im Bereich der City-Logistik besonders relevant ist.

Im Bereich der Distribution ergeben sich mehrere mögliche Ansatzpunkte, um eine Kollaboration einzusetzen. Erstens kann ein Informationsaustausch erfolgen, in dessen Rahmen sich die Partner über Schwierigkeiten, Anforderungen und Chancen des Marktes austauschen. Hieraus können Vorteile bei der Dienstleistungsqualität resultieren. Zweitens kann eine Steigerung der Kundendienstbereitschaft durch einen zentralisierten Außendienst realisiert werden. Hieraus wird ein wesentlich erhöhter Lieferantenservicegrad erreicht. Drittens können durch eine gemeinsame Nutzung der Absatzwege und der Errichtung einer gemeinsamen Organisationseinheit zur Warenverteilung eine erhöhte Auslastung und eine verbesserte Kapazitätsanpassung erreicht werden. Realisieren die Partner eine hohe Kooperationsfähigkeit, so lässt sich auch durch Zugriff auf die Bestände der Partner eine erhebliche Steigerung der Verfügbarkeit realisiert werden. Dies erfordert jedoch eine sehr intensive zwischenbetriebliche Zusammenarbeit (Ellerkmann 2002).

Auch im Bereich der Lagerwirtschaft lassen sich Synergieeffekte erzielen. Einerseits lässt sich auch hier ein Erfahrungsaustausch realisieren, um über aktuelle und kommende Probleme zu reden, um durch den Erkenntnisgewinn Vorteile bei der Lagerauslastung und der Lagerhaltungskosten zu realisieren. Intensiviert man diese Zusammenarbeit, so lassen sich die Lagerhaltungskosten und Bestände durch die Nutzung von vom Partner bereitgestellten freien Lagerkapazitäten senken. Eine noch engere Zusammenarbeit lässt sich realisieren, wenn man grundsätzlich den freien Zugriff auf die kundennahen Lagerkapazitäten der Kooperationspartner zulässt. Dadurch erfolgt der Zugriff immer im dem Lager, welches dem Kunden am nächsten gelegen ist. Dieses Vorgehen ermöglicht Zeit- und Kostenvorteile, die Zusammenarbeit bleibt dabei dem Kunden allerdings verborgen (Ellerkmann 2002).

Auch die Zusammenarbeit im Einkauf kann sinnvoll sein. Hierbei bietet sich neben dem Erfahrungsaustausch über Lieferanten vor allem die Bündelung von Einkaufsmengen an, um durch Skaleneffekte Reduzierungen der Absatzpreise zu realisieren. Auch der unmittelbare Warenaustausch zwischen den Kooperationspartnern ist eine Möglichkeit, die HC für den Einkauf zu nutzen (Ellerkmann 2002).

2.1.5 Vor- und Nachteile von HC

Die Zusammenarbeit mehrerer Logistikdienstleister im Bereich geht mit einer Fülle an Vor- und Nachteilen einher. Diese lassen sich nach den Gebieten Risiko, Kosten, Ergebnis und Ressourcen einteilen. Im Folgenden werden zuerst die Vorteile, die mit der HC einhergehen, erörtert, bevor die Nachteile behandelt werden.

Da bei der HC Unternehmen der gleichen Wertschöpfungsstufe und Branche zusammenarbeiten (vgl. 2.1.3), zeichnen sie sich durch eine vergleichbare Leistungserstellung und ähnliche Kundenmerkmale aus. Hierdurch entsteht die Möglichkeit, Kosteneinsparungen über Synergien durch Spezialisierungs- und Volumeneffekte zu realisieren. Auch können Kosten durch Doppelstrukturen vermieden werden (Royer 2000, S.11-18).

Risikominimierung kann innerhalb der HC durch das Streuen von Investitionsrisiken auf die verschiedenen Kollaborationspartner erfolgen, wodurch Markteintrittsbarrieren vermindert werden können. Auch können Wettbewerbsrisiken, die bspw. durch die Fusion oder die Zusammenarbeit von Konkurrenten entstehen, durch die Kollaboration mit Mitbewerbern aufgefangen werden (Royer 2000, S.11-18).

Eine weitere Möglichkeit, Vorteile aus der Kollaboration zu ziehen, stellt die gemeinsame Erschließung und Nutzung von Ressourcen dar. Hieraus können bspw. Zeitvorteile resultieren, weil Wissen nicht erst aufgebaut werden muss. Zudem wird das Unternehmen flexibler, weil bei Engpässen auf die Ressourcen der Kollaborationspartner zugegriffen werden kann. (Rupprecht-Däullary, 1994)

Schließlich können auch Ergebnisvorteile erzielt werden. Diese können z.B. darin begründet sein, dass Aufgaben aufgrund ihrer hohen Kapazitätsanforderungen oder einer zu hohen technischen Komplexität nicht mehr von einem Unternehmen alleine bewältigt werden können (Royer 2000, S.11-18). Folglich müssen diese Aufgaben in Kollaboration mit anderen Unternehmen bewältigt werden.

Diesen Vorteilen stehen jedoch Nachteile gegenüber. So müssen neue Risiken eingegangen werden, die z.B. in der Gefahr der Ausnutzung durch den Kollaborationspartner entstehen können. Auch der ungewollte Abfluss von Know-How an die Partnerunternehmen, die hieraus Wettbewerbsvorteile erreichen, kann kritisch sein, da die Kollaborationspartner auf horizontaler Ebene gleichzeitig Konkurrenten sind (Royer 2000, S.11-18) Auch müssen die kollaborierenden Unternehmen ihre Markstrategie offen legen, was zu Wettbewerbsnachteilen führen kann (Ellerkmann 2002).

Auch auf Kostenebene können diese Nachteile resultieren, z.B. durch Kosten für Kommunikationsprobleme, längere Entscheidungszeiten und Vertragskosten (Ellerkmann 2002). Betrachtet man die Ergebnisebene, so können Wettbewerbsvorteile nicht mehr alleine genutzt werden. Schließlich können auch auf Ressourcenebene Nachteile entstehen, z.B. weil für ein Kollaborationsprojekt eigene Ressourcen bereits gebunden sind (Ellerkmann 2002).

Aus den beschriebenen Vor- und Nachteilen lässt sich konkludieren, dass eine Kollaboration nur dann erfolgreich sein kann, wenn ein ausreichendes Vertrauen zwischen den Partnern besteht, sowohl die operative als auch die strategische Ebene harmonisieren, eine Organisationsstruktur für die Zusammenarbeit besteht und ein angemessenes Anreiz- und Beitragsmodell besteht (Oswald 2010).

2.2 City-Logistik [RF]

Nachdem im vorherigen Abschnitt eine Einführung in die horizontale Kollaboration erfolgt ist sollen in diesem Abschnitt theoretische Grundlagen der City-Logistik erklärt werden. Hierzu werden bedeutende Begriffe des Themenfeldes der City-Logistik erläutert (vgl. Kapitel 2.2.1-2.2.4). Anschließend sollen in den Kapiteln 5 Maßnahmen vorgestellt werden, die im Rahmen des Managements von City-Logistik-Systemen benötigt werden. Nachfolgend soll noch der Begriff des Last-Miles-Problems eingeführt werden, was das bedeutendste Themenfeld für den Einsatz von HC im Bereich der City-Logistik darstellt. Den Abschluss des Abschnittes stellt eine kurze Abhandlung der Historie der City-Logistik dar.

2.2.1 Begriff der City-Logistik

Der Begriff der City-Logistik wurde in Deutschland in den 1990er Jahren geprägt. In dieser Dekade wurden ca. zweihundert Projekte mit Bezug auf städtische Wirtschaftsverkehre initiiert. Ausgangspunkt dieser Welle von Projekten und der Fokussierung auf die City-Logistik war die gewollte Eindämmung der ökologischen Auswirkungen sowie die Verteidigung der Innenstädte gegen die Verkaufszentren auf grüner Fläche. City-Logistik beschreibt sowohl die Versorgungslogistik, als auch Entsorgungslogistik in Bezug auf Ballungsräume (Kaupp 1997, S7).

2.2.2 City

Als City werden jegliche urbane Gebiete betrachtet, die sowohl eine hohe industrielle Produktion von Gütern als auch einen hohen Konsum dieser bewerkstelligen. Ferner fällt auch ein hohes Maß an Dienstleistungen in diesen Bereich. Der Begriff „City“ ist hier distanziert von politischen Verwaltungsgebieten zu betrachten, sondern beschreibt viel mehr ein großes Areal mit hoher Bevölkerungsdichte und einer gewissen Multifunktionalität.

In der Literatur wird der Begriff der City-Logistik unterschiedlich detailliert beschrieben und beachtet unterschiedliche Aspekte. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass City-Logistik die Bereitstellung und Entsorgung von Realgütern beinhaltet. Weitergehend ist der Begriff der Effizienz zu beachten und dementsprechend die Absicht ökonomisch sinnvoll zu agieren. Damit übereinstimmend wird auch von der Bündelung von Verkehren und einer verkehrsverträglichen Belastung der Straßen geschrieben. In dem Zusammenhang wird an Kollaboration in Bezug auf Zulieferkonzepte gedacht. Dem gegenüber finden ökologische Aspekte nur teilweise eine Beachtung bei der Definition der City-Logistik. Neben der Beachtung von CO₂-Emission finden hier auch Lärmbelästigung, sowie Stau- und Unfallaufkommen in Innenstädten Beachtung. (Erd 2015, S.30ff.)

2.2.3 Verkehre

In Bezug auf die City-Logistik spielen die innerstädtischen Verkehre eine große Rolle. Daher ist es wichtig, verschiedene Arten zu identifizieren und voneinander abzugrenzen. In erster Instanz werden zwei Arten von Verkehren unterschieden, Privat- und Wirtschaftsverkehre. Beide Arten haben jeweils drei weitere Unterkategorien, die sich wie folgt gliedern:

- Privatverkehre:
 - Güterverkehr
 - Güter-/Personenverkehr
 - Personenverkehr

- Wirtschaftsverkehr:
 - Güterverkehr
 - Serviceverkehr
 - Dienstleistungsverkehr

Privatverkehre dienen, ihrem Namen entsprechend, zur Befriedigung privater Bedürfnisse. Private Güterverkehre umfassen Einkaufsverkehre; Personenverkehre beinhalten sowohl Freizeit-, als auch Berufsverkehre. Abschließend stellt die Kategorie Güter-/Personenverkehr die Kombination der beiden vorangegangenen Erläuterungen dar. Die Definition von Wirtschaftsverkehren stellt sich als komplex dar, Kaupp definiert sie wie folgt: „*alle Beförderungen von Gütern, Personen und Nachrichten, die im Vollzug erwerbswirtschaftlicher und dienstlicher Tätigkeiten durchgeführt werden und die im verkehrlichen Funktions- und Planungsfeld von Städten ablaufen*“ (Kaupp 1990, S.7). Güterverkehre umfassen alle Warentransporte von Handel, Industrie und Verkehrsdienstleistern. Serviceverkehre beschreiben die Fahrten von Dienstleistungsgüter- und Handelsverkehr, sowie die Fahrten von Kundendiensten. Abschließend bezeichnet Dienstleistungsverkehr Geschäftsreisen und andere Dienstleistungsverkehre. Für Projekte rund um die City-Logistik sind vor allem wirtschaftliche Güterverkehre von entscheidender Bedeutung. (Oexler 2002; S.19 ff.)

2.2.4 Stakeholder

In diesem Kapitel wird auf die Stakeholder, die an den Wirtschaftsverkehren beteiligt sind, eingegangen. Hier findet eine Unterteilung in vier Kategorien statt:

- Kommunen
- Ansässige
- Empfänger
- Güterbefördernde Stakeholder

Kommunen haben planerische und koordinierende Aufgaben. Ihr Handeln wirkt sich direkt auf die anderen drei Stakeholder aus. Ferner steht die Kommune zwischen dem öffentlichen und dem wirtschaftlichen Interesse. Das hat zur Folge, dass diese bei vielen ihrer Entscheidungen abwägen muss, wem geschadet und wem geholfen wird. Beispielweise kann eine Geschwindigkeitsbeschränkung im Sinne der Kommune sein, aber die Liefertreue der Wirtschaft gefährden. Die Kategorie Ansässige umfasst alle Menschen, die in der Innenstadt wohnen und arbeiten. Sie sind am meisten vom städtischen Lieferverkehr betroffen, profitieren aber auch von Entscheidungen der Kommune. In Bezug auf die City-Logistik sind Einzelhandelsunternehmen die größte und wichtigste Gruppe der Empfänger. Sie definieren sich primär durch wirtschaftliches Handeln, das bedeutet, dass ihr Ziel die Minimierung von Kosten ist. Dies kann z.B. durch die Einsparung von Lagerplatz geschehen. Um dies zu realisieren, bestellen Empfänger kleinere Sendung in kürzeren Abständen. Der Begriff güterbefördernde Stakeholder umfasst Speditionen, Frachtführer, Werksverkehrausführende und KEP-Dienstleister. Ihre Interessen beinhalten vor allem eine möglichst

wirtschaftliche Gestaltung der Transporte. Dabei sollen die genutzten Fahrzeuge möglichst optimal ausgelastet werden, ferner versuchen sie, sich zeitlich flexibel zu präsentieren, um die Ansprüche der Empfänger zu erfüllen (Taniguchi 2010), (Kaupp 1997, S.17ff.),

2.2.5 Maßnahmen in der City-Logistik

Da die Infrastruktur der Innenstädte immer größeren Belastungen ausgesetzt ist und die Ansprüche der Empfänger komplexe Anforderungen an die güterbefördernden Stakeholder stellen, gibt es diverse Konzepte, die diese Entwicklung tragen.

- City-Maut
- Zugangsregelung
- Be- und Entladezonen
- Kollaboration von Transportunternehmen
- Fahrzeuginnovation
- Urbane Distributionszentren
- Unterirdische Logistiksysteme

City-Maut bezeichnet im Wesentlichen das Road-Pricing nach englischem Vorbild. Es werden Gebühren bei der Nutzung der innerstädtischen Infrastruktur erhoben. Dabei kann es sich nur auf bestimmte Teilnehmer oder Strecke beziehen. Durch die City-Maut sollen sich die Nutzer an dem Unterhalt für die Straßen beteiligen, ferner soll durch sie der urbane Verkehr reguliert werden. Zugangsregulierungen sind Maßnahmen, die nur durch Kombinationen mit anderen Maßnahmen Sinn ergeben. Sie können in ihrer Auslegung unterschiedlich definiert sein, beispielsweise können sie sich auf Uhrzeiten oder auf Fahrzeugtypen beziehen. Ein sinnvolles Gegenstück zur Zugangsregulierung ist das urbane Distributionszentrum. So müssen die Spediteure auf das Distributionszentrum zurückgreifen und können nicht direkt liefern (Vgl. OECD (2003), S.127.)

Die Verkehrsbehinderung durch Lieferfahrzeuge kann durch festgelegte Be- und Entladezonen verhindert werden. Durch die für Lieferfahrzeuge vorgesehen Flächen sind diese nicht dazu gezwungen, auf der Fahrbahn zu halten (Vgl. Allen, J./ Thorne, G./ Browne, M. (2007), S.16.)

Die Kollaboration von Transportunternehmen beschäftigt sich primär mit der Bündelung von Lieferungen. Dadurch könnte eine höhere Auslastung der Fahrzeuge bei weniger Fahrzeugaufkommen realisiert werden. Es gibt zwei Arten von Bündelung: Sendungsverdichtung und Tourenverdichtung. Sendungsverdichtung beschreibt die Zusammenlegung mehrere Sendungen von verschiedenen Transporteuren, welche für einen Empfänger bestimmt sind. Bei der Tourenverdichtung werden die geplanten Touren mehrerer Transporteure neu aufgeteilt, sodass die Abstände zwischen den Empfängern minimiert werden. Allerdings gehen die Unternehmen ungern solche Kollaborationen ein, da sie sich im Wettbewerb miteinander befinden. Bei der Anbahnung einer Kollaboration muss sich zeigen, dass der potenzielle Partner sich qualitativ eignet. Ferner treten Kosten für die Anbahnung auf. Abschließend besteht die Angst, Know-how- oder Serviceverlust durch eine Zusammenarbeit zu erleiden (Allen, J./ Thorne, G./ Browne, M. (2007), S.26.).

Durch Fahrzeuginnovationen sollen CO₂-Emissionen und Lärmbelästigung minimiert werden. Dafür eignet sich vor allem eine Umrüstung auf Elektromotoren. Ferner werden für die Belieferung der Innenstädte nun kleine Fahrzeuge benutzt, um den Trends von kleinen Lieferungen in kurzen Intervallen gerecht zu werden (Vgl. Allen, J./ Thorne, G./ Browne, M. (2007), S.27).

Urbane Distributionszentren dienen der Bündelung von Lieferungen von unterschiedlichen Speditionen. Diese Lieferungen können dann von einem neutralen Frachtführer in die Innenstadt transportiert werden. Durch dieses Vorgehen soll die Infrastruktur der Innenstädte entlastet, die Entstehung der Abgase minimiert und der Raumnutzungsgrad der Lieferfahrzeuge maximiert werden. Der Einsatz von urbanen Distributionszentren weist dieselben Vorbehalte wie die Kollaboration auf, allerdings haben die einzelnen Unternehmen weniger Übersicht über ihre Partner, was die Vorbehalte verstärkt (Vgl. Allen, J./ Thorne, G./ Browne, M. (2007), S.28.; van Duin). Unterirdische Logistiksysteme sind in den 1990er Jahren vor allem in den Niederlanden in den Fokus gerückt. Sie sollten sowohl den Güter-, als auch den Personenverkehr revolutionieren. Unterirdische Logistiksysteme ermöglichen die Entlastung innerstädtischer Straßen. Außerdem weisen sie einen hohen Automatisierungsgrad auf und sind unempfindlich gegenüber Wettereinflüssen. Allerdings erfordern sie einen Umbau der Infrastruktur der Städte, da dort Endpunkte eingerichtet werden müssen (OECD 2003, S.136).

2.2.6 Last-Mile-Problem

Der Begriff der „Last Mile“ beschreibt den Transport von Waren zum Endverbraucher und umfasst sowohl die *Business to Customer*- als auch die *Business to Business*-Transporte. Somit ist folglich der Transport in Innenstädte ein Teil der Last Mile. Das Problem dieser Transporte ist der hohe Anteil des Nachlaufes an den Gesamtkosten. Dieser liegt bei ca. 50%. Die Optimierung der Verkehre und der Belieferung von Innenstädten umfasst dementsprechend auch die Lösung des Last-Mile-Problems (Klaus/ Krieger, 2012 S.311)

2.2.7 Historie

Im Laufe der Jahre wurden immer neue Strategien entwickelt, um die innerstädtischen Wirtschaftsverkehre effizienter zu gestalten. Schon früh kristallisierte sich dabei der Gedanke der horizontalen Kollaboration heraus. In einer ersten Phase von City-Logistik-Projekten wurde die gemeinsame Belieferung von Problemkunden und Problemzonen forciert. Problemkunden waren dabei vor allem innerstädtische Großhändler, die täglich von diversen Speditionen angefahren wurden. Problemzonen bezeichnen viel befahrene Gebiete in der Innenstadt mit einer hohen Dichte an angefahrenen Händlern. Dabei sollten die verschiedenen Speditionen durch einen neutralen Frachtführer ihre Lieferungen bündeln. In Zusammenhang mit der Bündelung von Lieferungen kam auch der Gedanke von Güterverteilzentren auf. Allerdings wurde der zusätzliche Umschlag schon im Voraus als kritisch betrachtet. In einer zweiten Phase von Projekten wurde neben dem Versorgungs- auch der Entsorgungsprozess betrachtet. Der Großteil der bisherigen City-Logistik-Projekte hatte nur einen geringen Erfolg. Die jeweiligen Konzepte konnten von den jeweiligen Stakeholder nur schlecht umgesetzt werden, da diese meist über eigene Konzepte verfügten. Weitergehend bestand zwischen den einzelnen Unternehmen eine zu große Konkurrenzsituation, welche einer Kooperation im Weg standen. Ferner gibt es eine Vielzahl von Transporten, die besondere Bedienungen erfüllen müssen und somit für Kollaboration ungeeignet sind. Weitergehend bieten unterschiedliche Unternehmen diverse Services, wie z.B. Track and Trace an, welche Datensysteme erfordern, die nicht mit anderen Unternehmen kompatibel sind. Aus der Konkurrenzsituation zwischen den Unternehmen geht eine weitere Problemstellung hervor. Eine Kollaboration erfordert eine gewisse Öffnung den anderen Teilnehmern gegenüber. Allerdings wird

bei einer solchen Öffnung der Verlust von Daten und Know-how befürchtet. (Klaus/ Krieger, 2012 S.96f.)

2.3 Vehicle-Routing-Problem [RF]

Im Rahmen der Zulieferung stehen Unternehmen oft vor dem Problem, die optimale Lieferroute zu bestimmen. Diese Aufgabe wird im dem wird als Vehicle-Routing-Problem bezeichnet. Das Vehicle-Routing-Problem gehört neben dem Travelling-Salesman-Problem zu den größten Herausforderungen des Operation Researchs. Das Optimierungsproblem basiert auf einem Depot, von dem aus die Routen für eine Fahrzeugflotte zu verschiedenen Kunden berechnet werden. Dabei liegen verschiedene Restriktionen vor:

- Jeder Kunde darf nur einmalig angesteuert werden.
- Die Kosten der Tour sind zu minimieren.

Dies geschieht in Abhängigkeit von der Tourenlänge und der Anzahl der vorhandenen Fahrzeuge. Abschließend muss die Tour wieder am Lager beendet werden (Reinholz; Schneider 2009).

Neben dem VRP, welches das Standardproblem ist, gibt es eine Vielzahl spezifizierter Probleme, welche unterschiedliche Änderungen an dem Problem vornehmen. Für diese Arbeit ist es wichtig, neben dem Standardproblem zwei spezifizierte Varianten zu erläutern:

- Vehicle-Routing-Problem-with-Time-Window
- Multi-Depot-Vehicle-Routing-Problem

2.3.1 Vehicle-Routing-Problem-with-Time-Window

Bei dem Vehicle-Routing-Problem-With-Time-Window (VRPWTW) handelt es sich um eine besondere Art eines VRP, es werden zusätzliche Restriktionen in Form zeitlicher Beschränkungen vorgenommen. Als Time-Window, auf Deutsch Zeitfenster, wird die Periode bezeichnet, in welcher der Kunde bereit ist, seine Lieferung abzunehmen. Ferner wird nach „weichem“ und „hartem“ Zeitfenster unterschieden. Die Unterscheidung legt fest, ob der Lieferant mit zusätzlichen Kosten für die Missachtung des Zeitfensters zu rechnen hat (Kallehauge 2006, S.4 ff.).

2.3.2 Multi-Depot-Vehicle-Routing-Problem

Bei dem Multi-Depot-Vehicle-Routing-Problem wird eine Grundannahme des VRP verändert. Anstatt von einem spezifischen Depot, können die Fahrzeuge an einem von vielen Depots aus losfahren. Die Route des Lieferfahrzeuges soll dabei am selben Depot starten und enden. Bei der Lösung dieses Problem müssen die Kunden den Depots zugeordnet werden und darauffolgend müssen die Touren konstruiert werden (Cordeau et al 1997).

2.3.3 Lösungsverfahren für Vehicle-Routing-Probleme

VRP werden durch Heuristiken gelöst. Bei Heuristiken handelt es sich um Näherungsverfahren, sie werden angewandt, wenn es nicht möglich ist, eine exakte Lösung zu errechnen oder wenn der Aufwand zu groß ist. Ein Problem zum Beispiel kann so vielseitig gestaltet sein, dass die Rechenleistung aktueller PCs nicht ausreichend ist, um es zu lösen. Das bedeutet weiterhin, dass

durch Heuristiken nicht immer die optimale Lösung gefunden wird, allerdings kann in Abhängigkeit von der gewählten Heuristik ein Ergebnis mit hoher Güte erreicht werden (Klaus/ Krieger, 2012 S.229)

Für diese Arbeit rücken vor allem zwei von vielen Heuristiken in den Fokus:

- Savings-Verfahren nach Clarke & Wright
- Insertion-Heuristics

2.3.4 Savings-Verfahren nach Clarke und Wright

Einleitend werden beim Savings-Verfahren vom Depot aus Touren zu allen Kunden erstellt. Dabei wird die Entfernung von Hin- und Rückweg gemessen. Im folgenden Schritt werden dann Touren miteinander kombiniert und es wird überprüft, ob Einsparungen (Savings) erzielt werden, falls dies der Fall ist, werden die Touren zusammengeführt. Dieser Schritt wird mehrfach wiederholt, bis ein Ergebnis vorliegt (Clarke und Wright 1969).

2.3.5 Insertion-Heuristic

Dieser Art der Heuristik beginnt mit einem zufällig gewählten Knoten und fügt dann durch mehrere Iterationsschritte weitere Knoten hinzu. Sie untergliedert sich in drei Unterkategorien, welche sich durch ihre Iterationsarten unterscheiden:

- Nearest-Insertion
- Farthest-Insertion
- Cheapest-Insertion

Bei der Nearest-Insertion wird als nächstes der Knoten ausgewählt, der die kürzeste Distanz zu einem bereits integrierten Knoten aufweist. Hingegen wird bei der Farthest-Insertion der am weitesten entfernte Knoten hinzugefügt. Abschließend wird bei der Cheapest-Insertion der Knoten ausgewählt, welcher den geringsten Zuwachs an der Gesamtlänge beitragen würde (Solomon 1987).

2.4 Einsatz von Simulation in der City-Logistik [JDJ]

In diesem Abschnitt sollen zunächst im ersten Kapitel die Begriffe der Simulation, des Modells und des Experimentes beschrieben werden. Anschließend soll im zweiten Kapitel allgemein ausgeführt werden, wofür Simulation benötigt wird und wo ihre Stärken und Schwächen liegen. Darauf aufbauend wird im dritten Kapitel umrissen, wieso sie zur Generierung von Wissen im Bereich der horizontalen Kollaboration und der City-Logistik geeignet ist. Im vierten Kapitel wird schließlich noch die Verwendung von Multiagentenmodellen thematisiert.

2.4.1 Begriff und Anwendung der Simulation

Für den Begriff der Simulation gibt es verschiedene Definitionen, im Rahmen dieser Arbeit wird dabei von der folgenden Definition des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) ausgegangen, nach der Simulation das „*Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“ (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014) umfasst.

Zum besseren Verständnis dieses Begriffs ist ebenfalls die Definition der Begriffe Modell und Experiment nötig, für die gleichfalls von der Definitionen des VDI ausgegangen wird. Demnach beschreibt ein Modell die „*Vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System*“ (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S.3). Ein Experiment ist eine „*Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parameter- oder Strukturvariation*“ (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S.3).

Simulationsmodelle lassen sich dabei anhand der Merkmale der Zufälligkeit, der Abhängigkeit und der Art der Variablen klassifizieren (Law und Kelton 2000):

| Kriterium | Merkmalsausprägungen | |
|-------------------|----------------------|--------------|
| Zufälligkeit | deterministisch | Stochastisch |
| Zeitabhängigkeit | statisch | Dynamisch |
| Art der Variablen | kontinuierlich | Diskret |

Abbildung 1: Klassifikation von Simulationen

Enthält ein System keine zufälligen Komponenten, wird es als deterministisch angesehen. Liegen Zufälligkeiten vor, bspw. durch eine stochastische Verteilung einer Inputvariablen, spricht man von einem stochastischen System. Wird das System nur zu einem Zeitpunkt betrachtet, so handelt es sich um ein statisches System, während bei der Betrachtung im Zeitverlauf ein dynamisches System zugrunde liegt (Law und Kelton 2000). Abschließend können die Systeme noch anhand der Art der Variablen abgegrenzt werden, welche ihre Zustände kontinuierlich oder diskret ändern können. Bei den in dieser Arbeit im dritten Hauptkapitel vorgestellten Arbeiten handelt es sich dabei um stochastische, dynamische und diskrete Systeme.

2.4.2 Gründe für den Einsatz von Simulation

Im Rahmen der Untersuchung der City-Logistik werden komplexe Systeme behandelt. Ein gutes Beispiel hierfür bildet die kollaborative Routenplanung, die zur Optimierung der Distribution eingesetzt wird.

Um ein geeignetes Prognose- und Analysewerkzeug für eben solche Systeme zu haben, ist der Einsatz von Simulation gut geeignet (März und Weigert 2011). Dafür existieren mehrere Gründe. So ist Simulation für Systeme geeignet, bei denen eine analytische Lösung aufgrund ihrer hohen Komplexität oder ihrer Vielschichtigkeit nicht oder nicht unter einem annehmbaren zeitlichen Rahmen möglich ist und daher eine alternative Herangehensweise obligatorisch ist (Rabe et al. 2008, Poole und Szymankiewicz 1977). Auch ist es durch den Einsatz von Simulationsexperimenten an Modellen möglich, Systeme zu untersuchen, die nicht selbst als Experimentierobjekt zur Untersuchung geeignet sind (Poole und Szymankiewicz 1977). Im Rahmen dieser Arbeit ist dies bspw. der Fall, wenn nicht real existierende Modelle untersucht werden oder mehrere verschiedene Fälle untersucht und miteinander verglichen werden sollen (vgl. z.B. Kapitel 3.5).

2.4.3 Simulationseinsatz bei der Verkehrs- und Routenplanung

In diesem Abschnitt sollen die Erkenntnisse aus Abschnitt 2.2 und den bisherigen Kapiteln von 2.3 zusammengeführt werden, um beispielhaft aufzuzeigen, welcher Aufgabe der Simulation bei der Verkehrs- und Routenplanung zukommt. In der Verkehrs- und Routenplanung gilt es, in der Regel ein oder mehrere verschiedene VRPs (vgl. Abschnitt 2.3) zu lösen. Die Lösung dieser VRPs kann dabei häufig in Form von Modellen abgebildet werden. Anschließend können für verschiedene Ausgangssituationen Experimente durchgeführt werden (vgl. bspw. 3.7).

Im Lauf der Zeit wurde dieses Vorgehen für mehrere spezifische Fragestellungen durchgeführt (Erdmann 1999). Hierbei ist es z.B. möglich, Aussagen darüber zu treffen wie stark unterschiedliche Sicherheitsbestände und die Varianz der Nachfrage die Kosten für den Distributionsprozess beeinflussen (Quintero-Araújo et al. 2016), welche Größe der Lieferfahrzeuge ideal ist (vgl. Gonzalez-Feliu et al. 2013) oder ob HC einen positiven Einfluss auf den Prozess haben kann. Die Vorgehensweise hierfür wird dabei im nächsten Kapitel erläutert.

2.4.4 Simulationseinsatz bei der horizontalen Kollaboration

Nicht nur die Betrachtung allgemeiner Fragestellungen zur Verkehrs- und Tourenplanungen kann über Simulation erfolgen, sondern es ist auch möglich, den Einfluss der in Kapitel 2.1 beschriebenen horizontalen Kollaboration miteinzubeziehen. Hierbei werden oft eine gemeinsame Nutzung von Distributionszentren oder die gemeinschaftliche Auslastung von Speditionen, bzw. Transportvolumen, um Vorteile zu erzielen, umgesetzt (vgl. Kapitel 2.1.4). Die in Kapitel 2.2.3 umrissenen Modelle müssen dabei angepasst werden. Als Musterbeispiel sei hier auf das Vorgehen von Erdmann verwiesen, die die gemeinsame Distribution mehrere Spediteure verglichen hat, um, die entstehenden Kosten bei unterschiedlichen Intensitätsgraden der Zusammenarbeit zu vergleichen (Erdmann 1999; vgl. Abschnitt 3.5).

2.4.5 Multi-Agenten-basierte-Simulation

Eine besondere Problemklasse von Simulationsexperimenten stellt die Simulation mit Multi-Agenten-Modellen dar, die im Zuge der Simulation von City-Logistik eine bedeutende Rolle spielt und mehreren im Folgenden beschriebenen Arbeiten zugrunde liegt. Multi-Agenten-basierte Systeme (MABS) dienen dabei dazu, verschiedene autonome Stakeholder in ein Modell einbeziehen zu können und deren Interaktion abzubilden. Da im Bereich der City-Logistik verschiedene Arten von Stakeholdern auftreten (Vgl. Kapitel 2.2.4), ist die Simulation mit Multi-Agentenmodellen prädestiniert für diesen Bereich.

Der Begriff des Agenten ist dabei in der Literatur nicht einheitlich definiert, im Zuge dieser Arbeit soll die folgende Definition von Wooldridge verwendet werden:

“An agent is a computer system that is situated in some environment and that is capable of autonomous action in this environment to meet its design objectives.”(Wooldridge 2005)

Wird von intelligenten Agenten ausgegangen, setzt Wooldridge zusätzlich noch die Eigenschaften der Reaktivität, Proaktivität und soziale Fähigkeiten voraus. Softwareagenten lassen sich dabei als eine natürliche Weiterentwicklung von Softwareobjekten ansehen (Davidson et al. 2005). Dabei konnten sie in ihrer Arbeit zeigen, dass diese sich sowohl für die Planung im Bereich der

Transportlogistik als auch für marktbasierende Verhandlungsansätze eignen, da über Multi-Agenten-Systeme dargestellte Verhandlungen sehr realitätsnah sind. Beide Anwendungsfälle werden dabei auch im dritten Hauptkapitel aufgegriffen (Vgl. Abschnitte 3.6 und 3.8).

Als Alleinstellungsmerkmal von MABS dient dabei der Umstand, dass anders als bei traditionellen verteilten Systemen, die Agenten in einem Multi-Agenten-System von unterschiedlichen Herstellern sein können, die jeweils individuelle Ziele verfolgen. Ein mögliches Beispiel aus dem Bereich der Seefracht wäre, dass neben dem Terminal auch die Port Authority, die Reedereien oder Transportunternehmen und Behörden über Agenten abgebildet werden und somit als Parteien mit eigenen Adressen im Modell abgebildet werden (Wooldridge 2005).

3 Literaturübersicht und Beschreibung ausgewählter Beispiele [RF]

Nachdem in den vorigen Teilen der Arbeit eine Definition der horizontalen Kollaboration und der City-Logistik erfolgt ist und außerdem grundlegende Elemente der Simulation, sowie der Abbildung von VRPs beschrieben wurden, soll in diesem Abschnitt ein Überblick über Veröffentlichungen, die sich mit dem Einsatz von Simulation im Bereich Horizontale Kollaboration in der City-Logistik befassen, gegeben werden. Der Aufbau dieses Teils der Projektarbeit erfolgt dabei in drei Schritten. Den ersten Abschnitt stellt eine Übersicht über erschienene Publikationen dar. Im zweiten Abschnitt sollen anhand eines morphologischen Merkmalschemas Unterschiede zwischen den einzelnen Veröffentlichungen herausgearbeitet werden. Die folgenden Abschnitte beschreiben je eine Veröffentlichung, wobei im Besonderen auf die Intention der Arbeit, die Beschreibung des Modells und die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsexperimente eingegangen wird.

3.1 Publikationsübersicht [Gemeinschaftsleistung]

Kernstück dieses Kapitels bildet eine Übersicht über relevante Literatur, die sich mit dem Einsatz von Simulation zur Optimierung des Einsatzes oder zur Bestimmung der Potenziale von HC in der City-Logistik befasst (vgl. Tabelle 1: Liste der Veröffentlichungen Tabelle 1). Anschließend erfolgt eine Analyse der Veröffentlichungen im Zeitverlauf.

Tabelle 1: Liste der Veröffentlichungen

| Nummer | Titel | Autoren: | Jahr | Zahl der Zitierungen |
|--------|---|------------------------|------|----------------------|
| 1 | Scheduling of vehicles from a central depot to a Number of deliverypoints. *Streng genommen keine Veröffentlichung zum Thema, jedoch bildet die hier dargelegte Heuristik eine wesentliche Voraussetzung für viele Veröffentlichungen. | Clarke, G.; Wright, J. | 1964 | 3792 |
| 2 | An Alternative Framework for Urban Goods Distribution: Consolidation | McDermott, D | 1975 | 10 |
| 3 | Heuristiken zur Ein-Depot-Tourenplanung. | König, B | 1995 | Keine Angaben |
| 4 | Konzeption eines Systems zur Abschätzung der Auswirkungen verkehrsbezogener Maßnahmen auf die Umwelt | Hilty, L et al. | 1996 | 5 |
| 5 | Simulation of underground freight transport systems | van Duin, R. | 1998 | 4 |

| | | | | |
|----|--|--|------|---------------|
| 6 | Konsolidierungspotentiale von Speditionskooperationen: Eine simulationsgestützte Analyse | Erdmann, M. | 1999 | 31 |
| 7 | Modeling City Logistics | Taniguchi, E; Russel, T | 2001 | 105 |
| 8 | Modelling policy measures and company initiatives for sustainable urban distribution | Allen, J; Tanner, G; Browne, M; Anderson, S; Christodoulou, G; Jones, P | 2003 | 55 |
| 9 | Freight village evaluation under uncertainty with public and private financing | Dimitrios, A.; Tsamboulas; Kapros, S. | 2003 | 82 |
| 10 | Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives? | Anderson, S.; Allen, J; Browne, M | 2005 | 222 |
| 11 | Ports as hubs in the logistics chain | Meersman, H.; Van de Voorde, E.; Vanellander, T. | 2005 | 18 |
| 12 | Good Practice on Urban Freight Transport. Best Urban Freight Solutions | Allen, J.; Thorne, G.; Browne, M. | 2007 | Keine Angaben |
| 13 | Logistiknetzwerke: Modelle für Standortwahl und Tourenplanung | Mattfeld, D.; Vahrenkamp, R. | 2007 | 30 |
| 14 | Multi-regional input-output models for freight demand simulation at a national level | Cascetta, E.; Marzano, V.; Papola, A. | 2008 | 26 |
| 15 | A game theory approach to urban public transport integration policy | Roumboutsos, A.; Kapros, S. | 2008 | 39 |
| 16 | Urban Freight Modelling: A Review | Ambrosini, C.; Routenhier, J; Sonntag, M.; Meimbresse, B. | 2008 | 42 |
| 17 | City Logistics and Freight Transport | Ambrosini, C.; Routenhier, J; Sonntag, M.; Meimbresse, B | 2008 | 52 |
| 18 | Modelling the behavior of stakeholders in city logistics | Taniguchi, E.; Thompson, R.; Yamada, T. | 2008 | 6 |
| 19 | Modeling and simulation of supply network evolution based on complex adaptive system and fitness landscape ☆ | Taniguchi, E.; Thompson, R.; Yamada, T. | 2009 | 47 |
| 20 | Simulationsbasierte Optimierung kollaborativer Transportlösungen in Transportnetzwerken | Schwind, M; Kunkel, M | 2009 | 1 |

| | | | | |
|----|---|---|------|-----|
| 21 | Collaborative optimization of last mile networks for courier, express and parcel delivery services | Schwind, M.; Kunkel, M. | 2010 | 8 |
| 22 | Modelling peak-hour urban freight movements with limited data availability | Munuzuri, J; Cortes, P.; Onieva, L.; Guadix, J. | 2010 | 45 |
| 23 | Multi agent modeling for city logistics policy analysis: potentials and challenges | Anand, N; Van Duin, R; Tavasszy, L. | 2010 | 5 |
| 24 | Evaluating city logistics measures using a multi-agent mode | Tamagawa, D.; Taniguchi, E.; Yamada, T. | 2010 | 72 |
| 25 | Horizontal Collaboration in Flexible Supply Chain: A Simulation Case Studie | Prakash, A.; Deshmukh, S | 2010 | 25 |
| 26 | characteristics and typology of last-mile logistics from an innovation perspective in an urban context | Gevaers, R.; Van der Voorde, E; Vanelslander, T. | 2011 | 69 |
| 27 | City Distribution and Urban Freight Transport - Multiple Perspectives | Melo, S.; Mars, J.; Vanelslander, T. | 2011 | 14 |
| 28 | Structural concepts for horizontal cooperation to increase efficiency in logistics | Leitner, R.; et al. | 2011 | 51 |
| 29 | The impact of Collaborative Transportation Management on supply chain performance: A simulation approach | Chan, F.; Zhang, T. | 2011 | 88 |
| 30 | Integration of Information and Optimization Models for Routing in City-Logistics. | Ehmke, J. | 2012 | 48 |
| 31 | Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility | Krajzewicz, D.; Erdmann, J.; Behrisch, M.; Bieker, L. | 2012 | 565 |
| 32 | Towards an agent-based modelling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres | van Duin, R.; van Klock, A.; Anhand, N.; Taniguchi, E. | 2012 | 30 |
| 33 | Inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: a simulation study | Chan, F.; Prakash, A. | 2012 | 41 |
| 34 | Collaboration Planning of Stakeholders for Sustainable City Logistics Operations | Adetioloye, T. | 2012 | 5 |

| | | | | |
|----|---|---|------|---------------|
| 35 | Towards an agent-based modelling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres | Van Duin, R.; et al. | 2012 | 30 |
| 36 | Freight transport modelling | Ben-Akiva, M.; Meersman, H.; Van de Voorde, E | 2013 | 22 |
| 37 | Simulating the effects of pedestrianisation on urban freight deliveries | Cortes, P; Guadix, J; Onieva, L | 2013 | 4 |
| 38 | A Simulation-Based Algorithm for the integrated Location and Routing Problem in Urban Logistics | Munoz-Villamizar, A.; Montoya-Torres, J.; Juan, A.; Caceres-Cruz, J. | 2013 | 9 |
| 39 | Design and scenario assessment for collaborative logistics and freight transport systems | Gonzalez-Feliu, J.; et al. | 2013 | 24 |
| 40 | Multi-Agent Modeling for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Urban Distribution Centre | Ornkamon, W.; Taniguchi, E. | 2013 | Keine Angaben |
| 41 | Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. | Gevaers, R; Van der Voorde, E; Vanellander, T. | 2014 | 25 |
| 42 | Fast Screening Method for the Assessment of Freight Demand at the Initial Planning Stage of a New Transport and Logistics Centers | Roumboutsos, A; Kapros, S. | 2014 | Keine Angaben |
| 43 | City logistics through the canals? A simulation study on freight waterborne transport in the inner-city of Amsterdam | Van Duin, R; Kortmann, R; Van den Voogaard, S. | 2014 | 6 |
| 44 | Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation | Anand, N; van Duin, R; Tavasszy, L. | 2014 | 13 |
| 45 | Multi-agent systems modelling approach to evaluate urban motorways for city logistics | Teo, J.; Taniguchi, E.; Qureshi, A. | 2014 | 7 |
| 46 | A Micro-simulation Model for Performance Evaluation of a Logistics Platform | Gattuso, D; Cassone, G.; Pellicano, D. | 2014 | 4 |
| 47 | Transport Efficiency Increase For Axfood's Transport Carriers in Central Gothenburg | Tang, Y | 2014 | 1 |

| | | | | |
|----|---|--|------|--------------|
| 48 | Policy Note: Intelligent Transport Systems and traffic management in urban areas. | Civitas Wiki Consortium: | 2015 | Keine Angabe |
| 49 | Shapley value-based cost allocation in the cooperative traveling salesman problem under rolling horizon planning. | Kimms, A.; Kozeletskyi, I. | 2015 | 3 |
| 50 | A simheuristic algorithm for Horizontal Cooperation in urban distribution: Application to a case study in Columbia. | Quintero-Araújo, J. | 2016 | Keine Angabe |
| 51 | Ein Konzept zur Umsetzung eines kollaborativen Tourenplanungsansatzes in einem datengetriebenen Supply-Chain-Simulationsmodell. | Klüter, A. | 2016 | Keine Angabe |
| 52 | An approach for modeling collaborative route planning in supply chain simulation. | Raabe, A; Klüter, A; Clausen, U; Poeting, M. | 2016 | Keine Angabe |
| 53 | Supporting multi-depot and stochastic waste collection management in clustered urban areas via simulation–optimization. | Gruler, A., et al. | 2017 | 1 |

Die Anzahl der Veröffentlichungen nimmt im Zeitverlauf mehr und mehr zu. Der Zeitverlauf ist dabei in der nachfolgenden Abbildung bezogen auf Jahrzehnte graphisch dargestellt (vgl. Abbildung 2). Dabei ist deutlich zu erkennen, dass bis zum Jahr 2000 fast keine relevanten Veröffentlichungen vorliegen, aber seit dem Jahr 2010 über 30 relevante Publikationen erschienen sind. Hieraus lässt sich folgern, dass das Interesse an der Untersuchung der HC im Bereich der City-Logistik mit dem Mittel der Simulation stark zugenommen hat. Als mögliche Erklärungen hierfür können das steigende allgemeine Interesse am Thema City-Logistik (vgl. Abschnitt 2.2) oder der Umstand, dass durch steigende Rechenleistung die Simulation als Prognose- und Analysewerkzeug erst zunehmend attraktiv wird (vgl. Abschnitt 2.4) angenommen werden.

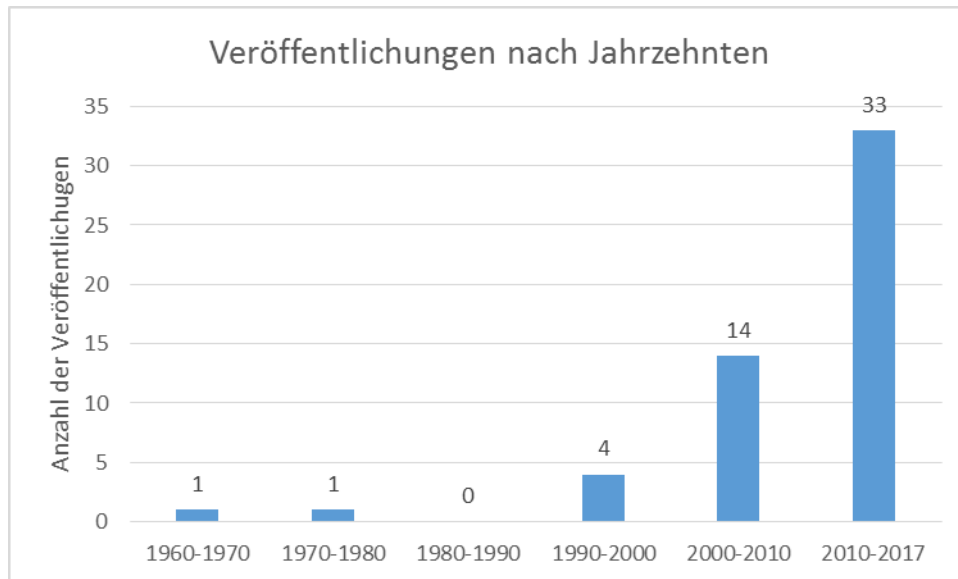


Abbildung 2: Publikationen nach Dekaden

3.2 Merkmalsübersicht für verschiedene Simulationsstudien [JDJ]

In diesem Abschnitt soll ein morphologisches Merkmalschema entworfen werden, anhand dessen die Unterschiede zwischen den in den folgenden Abschnitten beschriebenen Veröffentlichungen herausgearbeitet werden sollen. Das folgende morphologische Merkmalschema gibt dabei einen Überblick über Merkmale, in denen sich die verschiedenen Veröffentlichungen unterscheiden, und vorhandene Merkmalsausprägungen (vgl. Abbildung 3). Dabei handelt es sich um eine Auswahl der Merkmalsausprägungen, die in den Arbeiten Anwendungen finden, die in den folgenden Kapiteln behandelt werden (vgl. Abschnitt 3.3 bis 3.8) während sich in der weiteren Fachliteratur auch weitere Ausprägungen vorkommen können.

| Merkmale | Merkmalsausprägungen | | | |
|---|----------------------|-------|-----------------------|--|
| Durch das Modell gelöste Problem | VRP | MDVRP | VRPWTW | allgemeine Modelle zur Entscheidung über Kollaboration |
| Heuristik zur Tourenplanung | Clarke und Wright | | alternative Heuristik | |
| Anwendungsbeispiel | reale Fallstudie | | fiktives Szenario | |

| | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| Inputdaten | Nachfrage (nach Logistikdienstleistungen) | Kosten (Dispositionszentrum, Maut) | Position von Zielen und Depots | Ladevolumen der eingesetzten Lieferfahrzeuge |
| Zielfunktionswerte | Kosten bzw. Einsparungen (Geld) | Umwelt (CO ₂ -Ausstoß) | Parkraum | Güte der Routenplanung |
| Stakeholder | Spediteure | Depotbetreiber | LKW-Fahrer | |
| | Behörden | Anwohner | Ladenbesitzer | |
| Stakeholderkategorieanzahl | Einer | | Mehrere | |

Abbildung 3: Morphologisches Merkmalsschema

Das erste Kriterium, anhand dessen sich die verschiedenen Studien zum Einsatz von Simulation zur Untersuchung von HC in der City-Logistik unterscheiden, ist das Problem, welches durch das Modell gelöst wird. Während es bei den meisten Fallstudien um das Lösen eines MDVRP geht, gibt es auch Fallstudien, bei denen ein VRP mit nur einem Depot betrachtet wird (vgl. Kapitel 0), bei denen ein VRPWTW oder bei denen überhaupt keine Routenplanung zu lösen ist, sondern Simulation als Hilfsmittel bei einem beliebigem Modell zur Strategiefindung bezüglich der Kollaborationsform eingesetzt wird.

Wird ein Tourenplanungsproblem betrachtet, ist hierbei zwischen Modellen zu differenzieren, die die Heuristik nach Clark und Wright (vgl. Abschnitt 2.3.4) nutzen und weiteren, die eine alternative Heuristik verwenden.

Bei den meisten Veröffentlichungen erfolgt am Ende ein Praxisbeispiel der vorgestellten Vorgehensweise. Dabei lässt sich danach differenzieren, ob sich der Input der Fallstudie an einem konkreten Beispiel, z.B. der Topologie und Nachfrage einer realen Stadt orientiert (vgl. bspw. Quintero-Araújo und Juan 2016), oder ein fiktives Problem gelöst wird, für das Benchmarks als Grundlage gewählt werden (vgl. Erdmann 1999). Des Weiteren umfasst der Input der Modelle je nach Detaillierungsgrad und Anwendungsgebiet verschiedene Größen. Typisch hierfür ist die Nachfrage nach Logistikdienstleistungen (bspw. die Menge der Güter, die zu bestimmten Kunden geliefert werden muss), die Position und Verkehrsanbindung von Depots und Kunden, anfallende Kosten für die Distribution oder die Maut von Strecken und das Ladevolumen der eingesetzten Transportfahrzeuge. Auch die Zielfunktion, die die Güte einer in einem Modell abgebildeten Lösung beschreibt, kann je nach Modell zwischen Kosten, Umweltverträglichkeit, Parkraum oder der Güte der Zuordnung von Kunden zu Depots variieren.

Ebenfalls lassen sich die Simulationsstudien nach den eingebundenen Stakeholdern untergliedern. Hierbei werden als Stakeholder oft Spediteure und Depotbetreiber, aber auch Ladenbesitzer, Behörden, Anwohner und LKW-Fahrer in die Modelle eingebunden.

Betrachtet man die Stakeholder, lässt sich zwischen Publikationen unterscheiden, die nur eine Kategorie von Stakeholdern berücksichtigen und Multiagentenmodellen unterscheiden. Liegt nur eine Stakeholderklasse vor, so handelt es sich in den meisten Fällen um eine Betrachtung der

Spediteure (vgl. z.B. Erdmann 1999). Liegt hingegen ein Multiagentenmodell vor, bei dem verschiedene Klassen von Stakeholdern abgebildet werden, können auch Wechselwirkungen z.B. zwischen Spediteuren und Depotbetreibern abgebildet werden.

3.3 An Alternative Framework for Urban Good Distribution: Consolidation (McDermott; 1975) [JDJ]

Der erste ausgeführte Text stammt aus dem Jahre 1975 von McDermott. Es handelt sich dabei um eine der ersten wissenschaftlichen Arbeiten, die Simulation einsetzt, um die Potenziale von horizontaler Kollaboration in der City-Logistik zu erforschen. Kernstück der Arbeit ist das Lösen eines VRP in New York City. Dabei wird das zu realisierende Einsparpotenzial von Speditionen durch eine gemeinschaftliche Konsolidierung von Gütern in einer zentralen Umschlagstelle eines so genannten City Business District (CBD) ermittelt. Der Aufbau dieses Kapitels gliedert sich in die Problembeschreibung und Intention, die Beschreibung des Lösungsansatzes, die Beschreibung der Ergebnisse der Arbeit und einer kurzen Gegenüberstellung zu aktuelleren Arbeiten.

3.3.1 Problembeschreibung und Intention des Autors

McDermott sieht die Notwendigkeit der Verbesserung von Innerstädtischem Verkehr in dem geringen Effizienzwachstum von innerstädtischem Verkehr im Vergleich zu überregionalem Verkehr in den 60er Jahren. Den Grund hierfür sieht er in dem Umgang der Speditionen mit kleinen Lieferungen. Diese werden im CBD von jeder Spedition in einem eigenen Konsolidierungszentrum umverteilt. Dieser Ansatz ist jedoch nach McDermott nicht effizient, da es zu einer schlechten Auslastung, sowohl bei der Distribution als auch innerhalb des Konsolidierungszentrums selbst führt. In diesem kann aufgrund der geringen Stückzahlen nicht nach Stand der Technik gearbeitet werden, da sich Investitionen in die Infrastruktur nicht rechnen. Als Lösungsansatz dafür schlägt er HC vor. Dabei soll ein gemeinsam betriebenes urbanes Verteilzentrum für den CBD eingerichtet werden, in dem lokale und überregionale Lieferungen konsolidiert werden sollen. Als einzigen zu betrachteten Stakeholder wählt McDermott dabei die Spediteure und als Zielfunktionsgröße die anfallenden Kosten bzw. die zu realisierende Kosteneinsparung.

Der Autor geht dabei davon aus, dass dieses Vorgehen für mehrere Beteiligte Vorteile bringt. Erstens können sich überregional tätige Speditionen sich von der seiner Meinung nach unrentablen örtlichen Distribution von kleinen Waren trennen. Zweitens kann die Konsolidierung aufgrund von Skaleneffekten in einem gemeinsamen Zentrum effizienter und vermutlich auch unter dem Einsatz neuer Technologien erfolgen, wodurch sich insgesamt Kostenersparnisse für den Versender ergeben. Drittens erfolgt die Distribution im CBD effizienter, wodurch sich eine geringere Verkehrs- und Parkbelastung ergibt, wovon weitere Verkehrsteilnehmer innerhalb des Bereichs profitieren.

3.3.2 Simulation der Distribution über ein Konsolidierungslager

Um die im vorigen Abschnitt beschriebenen potenziellen Einsparungen zu ermitteln, nutzt McDermott eine Simulation des Distributionsvorgangs mit einem Umschlagszentrum. Als Basis für die Experimente dient dabei folgendes Modell:

Der CBD wird in zehn Zonen eingeteilt, die je über ein Konsolidierungszentrum verfügen. Der Input des Systems wird aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen generiert, wobei jeder generierten Lieferung ein Gewicht und ein Zielort innerhalb einer Zone zugewiesen sind. Dabei wird berücksichtigt, dass Lieferungen in eher industriell geprägten Zonen im Schnitt schwerer sind als in Wohngebieten. Wird an einem der Konsolidierungszentren ein vorgegebenes Gewicht erreicht, wird die Auslieferungsfahrt eines Lieferwagens ausgelöst, zudem erfolgt eine weitere am Ende des Tages. Die angenommene zurückgelegte Strecke, sowie die benötigte Zeit die sich aus Fahrzeit und Haltezeiten ergibt, wird dabei über definierte Gleichungen ermittelt, die sich nach der Zone und den zu der Sendung gehörigen Daten richten. Der genaue Weg der Routenberechnung wird dabei in der Veröffentlichung nicht detailliert behandelt. Für einen simulierten Tag wird so für jede angenommene Zone die Zahl der benötigten Fahrten, die Zahl der Fahrzeuge, die zurückgelegte Strecke und die benötigte Arbeitszeit ermittelt, woraus sich angenommene Kosten ermitteln lassen. Diese werden mit den Daten gegenübergestellt, die unter der Prämisse anfallen, dass keine Konsolidierung erfolgt. Aus dem Verhältnis der so generierten Zahlen lässt sich dann die Einsparung ermitteln. Eine Ermittlung der Kosten der Konsolidierung erfolgt dabei nicht, somit lässt sich keine sichere Aussage über die Wirtschaftlichkeit des Vorgehens aus dem Modell herleiten.

3.3.3 Ergebnisse der Simulationsexperimente

Die in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Simulationsexperimente zeigen deutlich das Einsparpotenzial durch Konsolidierung auf. So ergaben die durchgeführten Experimente, dass im Durchschnitt die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, die zurückgelegten Kilometer und die benötigte Fahrzeit sich um ca. 90 Prozent reduzieren lassen. Auch die Warte- und Ladezeiten lassen sich um 53 bzw. 37 Prozent reduzieren. Insgesamt ergibt sich eine gemittelte Kostenersparnis für die Auslieferung von 76 Prozent. Wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, ist dies jedoch keine Aussage über die Gesamtersparnis, weil die Kosten durch den Betrieb der Konsolidierungszentren nicht einbezogen werden. Zudem stellt die Vergleichsalternative, die McDermott annimmt, nämlich dass überhaupt keine Konsolidierung erfolgt, eine denkbar schlechte Lösung dar, mithin erscheinen die Einsparungen besonders groß.

Dennoch kann aus der Arbeit hergeleitet werden, dass der Einsatz von HC durch die Nutzung gemeinsamer Konsolidierungszentren ein erhebliches Einsparungspotenzial darstellt, zumal diese durch das gemeinsame Betreiben eine effiziente Infrastruktur zulassen.

3.3.4 Vergleich zu aktuelleren Arbeiten

McDermotts Arbeit aus dem Jahr 1975 unterscheidet sich in mehreren Aspekten von den aktuelleren Veröffentlichungen zur Simulation auf dem Gebiet der HC im Rahmen der City-Logistik, die in den weiteren Unterkapiteln näher erläutert werden. Im Folgenden sollen einige wesentlichen Unterschiede angerissen werden.

Während in neueren Veröffentlichungen meist die Lösung von MDVRP diskutiert wird (vgl. Kapitel 2.3.2), befasst sich die hier beschriebene Arbeit mit einem Ansatz, bei dem ein vorgegebener Bereich willkürlich in mehrere Zonen zerlegt wurde, in denen Probleme mit einem Depot zu lösen sind. Die HC findet somit nur auf Ebene der Spediteure statt, die ein gemeinsames Depot nutzen,

die Betreiber der Depots sind keine relevanten Entscheidungsträger. Weiterhin eröffnen aktuellere Ansätze nicht nur die Möglichkeit, die Einsparpotenziale bei der Strecke zu ermitteln, sondern auch die Option, gute Standorte für die Depots zu ermitteln (vgl. z.B. Kapitel 3.8). Schließlich liegt noch ein wesentlicher Unterschied darin, dass McDermott einzig die möglichen Einsparpotenziale beziffert, jedoch nicht versucht die entstehenden Kosten gegenzurechnen, während bei heutigen Simulationsexperimenten die Gesamtkosten betrachtet werden (vgl. z.B. Kapitel 3.7).

Der Kerngedanke, Einsparungen durch Konsolidierung zu erzielen und diese durch die Lösung eines VRP zu quantifizieren, findet sich aber dennoch in vielen aktuellen Arbeiten, von denen einige weitere in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

3.4 Simulation of underground freight transport system (J.H.R. van Duin, 1998) [RF]

In diesem Text befasst sich van Duin mit einer neuen Lösung für die Herausforderungen der City-Logistik. In den Niederlanden wurden Ansätze für unterirdische Logistikkonzepte (vgl. Abschnitt 2.2.5.) entwickelt. Durch seine Simulation möchte er Schwachstellen in diesen Ansätzen identifizieren. Weitergehend soll die Anzahl von Satellitenstationen, Fahrzeugen und die Dimensionierung von stadtnahen Distributionszentren vorgenommen werden.

3.4.1 Problembeschreibung und Intention des Autors

Im Jahr 1993 wurde von der niederländischen Regierung die Entwicklung von unterirdischen Transportsystemen initialisiert. Dieses System sollte sowohl den Transport von Gütern als auch von Menschen ermöglichen. Dabei erhoffte man sich eine Reduktion der CO₂-Emission, der Lärmbelästigung, der benötigten Energie und des Platzbedarfes. Primär zielte das System auf stadtnahe Unternehmen mit einer hohen Kundenbindung. In Bezug auf Händler würde dadurch eine Just-in-Time-Lieferung möglich werden, folglich könnten diese dadurch ihren Lagerbestand reduzieren und somit Platzeinsparungen realisieren. Schlussendlich sollten in den unterirdischen Systemen elektrische Fahrzeuge eingesetzt werden, um die CO₂-Emission zu reduzieren. Da bis zu diesem Zeitpunkt wenige Erfahrungen mit unterirdischen Systemen gemacht wurden, sollten Simulationen eingesetzt werden, um kritische, vorher nicht berücksichtigte Aspekte der Konstruktionen zu identifizieren. In diesem System findet der unterirdische Austausch zwischen dem so genannten Logistic City Park und den District Distribution Centers statt (vgl. Abbildung 4). Der Logistic City Park befindet sich außerhalb der Stadt und dient dazu, Waren von verschiedenen Zulieferern zu sammeln, zu bevorraten und schließlich auf die District Distribution Center zu verteilen. In der Umkehrung können auch die District Distribution Center Sendungen an den Logistic City Park schicken, somit kann über dieses System auch die Entsorgung gesteuert werden.

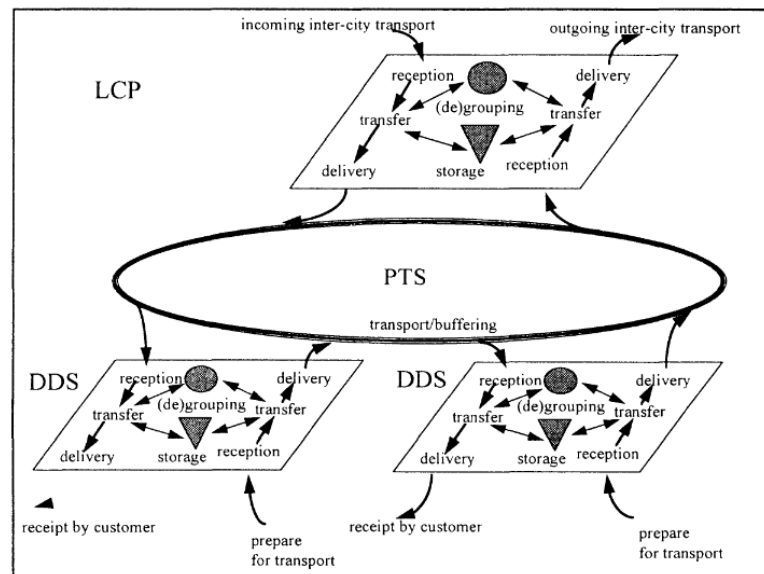


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Konzeptes

3.4.2 Beschreibung der Simulation

Die Simulation bezieht sich auf keine bestimmte Stadt. Weitergehend macht der Autor nicht deutlich, was für Input-Daten eingespeist werden. Er nimmt auch keinen Bezug zu einer Art von VRP oder Multi-Agenten-Modell. Das von van Duin erstellte Modell wurde auf drei unterschiedlichen Ebenen konstruiert und spezifiziert:

- Macro: logistic freight planning
- Meso: Ordermanagement
- Micro: Fahrzeugplanung

Die Micro-Ebene beschäftigt sich mit dem Einsatz von Fahrzeugen und deren Steuerung. In dem hier erstellten Modell wird ein Prozess bestehend aus vier Segmenten abgebildet. Diese vier Segmente sind:

- Process Co-ordination: Dieses Segment dient zur Allokation der Prozessressourcen durch Skripte.
- Priorities & Timing: Hier wird die zeitliche Abstimmung der Fahrzeuge gesteuert.
- Actor Mission: Dieses Segment registriert Informationen über Position, Priorität und zeitliche Verzögerung der Fahrzeuge. Die endgültige Ankunftszeit wird aber durch die Process Co-ordination zugeteilt.
- Basic Processes: Abschließend beinhaltet dieses Segment die physischen Prozesse der Fahrzeuge

Diese ganze Ebene basiert auf dem Semaphore-Mechanismus, welcher in diesem Zusammenhang die verfügbaren Kapazitäten der Routen wiedergibt. Auf der Meso-Ebene wird das Ordermanagement abgebildet. Hier werden der Logistic City Park und die District Distribution Center koordiniert. In diesem Segment soll weitergehend der Service Bereich, die Länge der Pipelines, die Anzahl bedienter Gebäude und die Anzahl der District Distribution Center bestimmt werden. Auf der letzten, der Macro-Ebene, wird der Vor-, bzw. der Nachlauf geplant. Das umfasst die Abholung und Zulieferung durch unterschiedliche Transportträger, wie LKWs und Züge. Ferner wird die Planung von Ankunftszeiten und die Anzahl der Tore thematisiert, wie sie bei Planungen von Speditionen üblich sind.

3.4.3 Schlussfolgerungen

Abschließend kommt van Duin zu der Auffassung, dass Simulationen für solche Projekte mehr als relevant sind, um alle Aspekte ausreichend zu betrachten. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gab es zwei relevante Projekte in den Niederlanden. Das erste Projekt in Utrecht umfasste 38 District Distribution Center und ihre Standorte waren bereits festgeplant. Auch das Projekt in Aalsmeer war in der Planung weiter vorangeschritten, dort wurden Flughäfen und Container Terminals in das unterirdische Netzwerk integriert.

3.5 Konsolidierungspotenziale von Speditionskooperationen: Eine simulationsgestützte Analyse (Erdmann 1999) [JDJ]

Die in diesem Abschnitt behandelte Ausarbeitung von Erdmann aus dem Jahr 1999 befasst sich mit Simulationsuntersuchungen für die komplexen Beziehungszusammenhänge, welche im Rahmen von gemeinschaftlicher Tourenplanung auftreten. Dabei untersucht die Autorin verschiedene Ansätze zur HC, die sich in der Intensität und der Dauer der Zusammenarbeit unterscheiden, welche sie mit einem Basisszenario, in dem keine Kooperation zwischen den verschiedenen Spediteuren vorliegt, vergleicht. Als Stakeholder(vgl. 2.2.4) werden dabei ausschließlich Spediteure betrachtet. Dabei erfolgt eine Beurteilung anhand des Einsparpotenzials, welches sich aus der Kooperation ergibt, in Relation zum Aufwand, der für die Zusammenarbeit eingegangen werden muss. Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf der Behandlung der Fragestellung, wie eine Leistungsverrechnung zwischen den Kollaborationspartnern erfolgen soll. Das Kapitel gliedert sich dabei in die Beschreibung der Intention der Arbeit, die Darstellung der durchgeführten Untersuchung, das Aufzeigen der Ergebnisse der Arbeit und die Beschreibung der Leistungsverrechnung zwischen den Spediteuren.

3.5.1 Problembeschreibung und Intention der Autorin

Das Ziel der Veröffentlichung stellt die Möglichkeit der Beurteilung verschiedener Kollaborationsformen dar, wodurch möglichen Kooperationspartnern die Möglichkeit gegeben werden soll, eine Entscheidungsbasis für den Beitritt oder die Gründung eines Kollaborationsnetzwerks zu haben. Dabei beschränkt sich die Autorin im Wesentlichen auf entstehende finanzielle Anreize. Anders als in anderen Arbeiten wird die Kollaboration bei dieser Ausarbeitung noch feiner differenziert in die folgenden drei Szenarien:

- Unbedingte Kooperation mit zentraler Disposition
- Bedingte Kooperation mit zentraler Disposition
- Bedingte Kooperation mit dezentraler Disposition

Unbedingte Kooperation bezeichnet dabei, dass die gesamte Kapazität einer Spedition für die HC zur Verfügung gestellt wird, während bei der bedingten Kooperation nur ein Teil für die Zusammenarbeit reserviert wird. Bei einer zentralen Disposition wird von einer übergeordneten Kontrollinstanz ausgegangen, während bei einer dezentralen Disposition keine übergeordnete neutrale

Steuerungsebene existiert. Das von Erdmann entwickelte Modell soll dabei die anfallenden Kosten für einen vorgegebenen fiktiven Bedarf über mehrere Tage ermitteln und bestimmen, bei welcher Kollaborationsform die Einsparungen am größten sind.

3.5.2 Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen

In jedem der Szenarien gilt es dabei, ein VRP zu lösen, wobei dies jeweils über den Savingsalgorithmus nach Clarke und Wright erfolgt (s. Abschnitt 2.3.4). Wird von einer HC ausgegangen, handelt es sich dabei um ein MDVRP. Ist die Tourenplanung erfolgt, können die Einsparung bezogen auf das ganze Netzwerk berechnet und in einem weiteren Schritt eine interne Verrechnung durchgeführt werden, wodurch ersichtlich ist, wie groß die Ersparnis für die jeweiligen Teilnehmer ist. Die Simulationsläufe umfassen dabei je mehrere Werkzeuge, bei denen für die fiktiven Nachfragen und Zielorte die Tourenplanung durchgeführt und die Anzahl der Aufträge die Ladung, die Anzahl der Aufenthaltsorte, der Auslastungsgrad der LKWs und die Umladestopps ermittelt werden.

3.5.3 Ergebnisse der Simulationsexperimente

Erdmann gelangt zu dem Ergebnis, dass das Einsparungspotenzial mit der Stärke der Kollaboration ansteigt. So lassen sich die mit Abstand größten Einsparungen mit uneingeschränkter Kooperation und einer zentralen Distribution erreichen.

Werden nur die bedingte Kooperation mit zentraler Distribution und die bedingte Kooperation mit dezentraler Distribution verglichen, so ist die Einsparung der Kilometer bei dezentraler Distribution größer, jedoch ist die Anzahl der zu fahrenden Touren bei zentraler Distribution merklich geringer, was die geringere Wegstrecke überkompensiert. Jedoch weisen alle HC-Formen eine erhebliche Verbesserung gegenüber der Basisalternative auf.

Die Autorin weist jedoch darauf hin, dass die quantifizierten Einsparpotenziale nicht als alleiniges Entscheidungskriterium herangezogen werden sollen. Sie verweist darauf, dass auch die verschiedenen intensiven Datenaustausche und die wechselseitige Abhängigkeit bei der Auswahl berücksichtigt werden müssen und somit ein multifaktorielles Entscheidungsproblem vorliegt, das nicht so einfach quantifiziert und werden kann und individuell gelöst werden muss.

3.5.4 Beschreibung der Leistungsverrechnung

Die im letzten Abschnitt beschriebenen Einsparungen betrachten die Summe der Spediteure, jedoch ist es für die Kollaboration nötig, zu bestimmen, welcher Kooperationspartner in welchem Ausmaß zusätzliche Aktivitäten zu verrichten hatte oder durch die Kollaboration weniger Aktivitäten zu verrichten hatte. Hieraus lassen sich der Aufwand und Ersparnisse innerhalb des Kooperationsnetzwerkes durch Leistungsverrechnung quantifizieren und zuordnen.

Um diese Verrechnung vorzubereiten, weist Erdmann allen Aktivitäten und Teilprozessen, die stark von der Kooperationsform beeinflusst werden, eine von vier Kategorie gemäß ihrer Abhängigkeit (kilometer-, zeit-, sendungs-, und tourenabhängig) zu und bestimmt ein Messkriterium (z.B. Zeit bei zeitabhängigen Prozessen) für diese Aktivitäten. Weiterhin werden nun für jede Aktivität, basierend auf den Werten mit und ohne Kooperation, die Summe der zusätzlich anfallenden und entfallenden Aktivitätsmesswerte gemäß des festgelegten Messkriteriums ermittelt.

Anschließend kann die Verrechnung beginnen. Dabei ist das von Erdmann vorgeschlagene Verfahren zur Leistungsverrechnung in vier Stufen gegliedert.

Im ersten Schritt wird innerhalb jeder Kategorie jeder Aktivität eine Gewichtung zugewiesen, um anschließend für jede Kategorie einen Wert aus der kumulierten Summe über alle Aktivitäten zu berechnen. Im zweiten Schritt erfolgt dann eine normierte Gewichtung der Kategorien untereinander, um auch diese miteinander verrechnen zu können. Im dritten Schritt wird nach einem von den Spediteuren ausgehandelten Schlüssel der Aktivitätswert der einzelnen Kategorien in einen monetären Kostenfaktor umgerechnet, wobei die Verhandlungen über diesen Kostenschlüssel kompliziert sein können. Sind die jeweiligen Kosten bestimmt, kann ermittelt werden, ob Ersparnisse (oder bei einer wenig lukrativen Kooperation Zusatzkosten) durch die Kooperation vorliegen, und eine Umlegung zwischen den Spediteuren erfolgen. Von dem im dritten Schritt ermitteltem Wert werden dabei aber noch im vierten Schritt die Kosten für die gemeinsame Umschlagsfläche und die zentrale Disposition abgezogen.

Das hier vorgestellte Verrechnungsverfahren stellt dabei sicher, dass die angenommene Kooperation auch wirklich für alle Partner attraktiv ist und somit durchgeführt werden kann.

3.6 Simulationsbasierte Optimierung kollaborativer Transportlösungen in Transportnetzwerken (Schwind, Kunkel; 2009) [RF]

Die Autoren Schwind und Klunkel setzen sich in ihrem Artikel mit einer neuen Art der Routenplanung auseinander. Durch das neuartige Konzept, welches auf sogenannten Drafts basiert, soll von der allgemein gängigen Praxis der Bezirkszuteilung Abstand genommen werden, während die Fahrer weiterhin ihre Ortskenntnisse nutzen. Die Fahrer sollen gleichmäßiger ausgelastet sein und damit die Servicequalität steigern. Die Autoren greifen bei ihrer Simulation auf einen VRP in Kombination mit einem Multi-Agenten-Modell zurück.

3.6.1 Problembeschreibung und Intention des Autors

Die Arbeit der Autoren konzentriert sich auf die Optimierung von KEP-Dienstleistungsunternehmen. Sie stellen den KEP-Sektor als bedeutendsten Bereich der Logistikdienstleistungen heraus und untermauern dies mit der wirtschaftlichen Bedeutung von Anbietern wie UPS, FedEx und Deutsche Post. In ihrer Einleitung kommen sie zu der Auffassung, dass die Möglichkeiten, Prozesse ex-post zu optimieren, ausgeschöpft sein. Darauf basierend konzentrieren sie sich auf eine Optimierung ex-ante. Das beinhaltet in Bezug auf ihre Arbeit:

- Nutzung von Software, um eine Tourenplanung ohne vorherige Gebietsaufteilung durchzuführen
- Verfahren zum kurzfristigen, tourenübergreifenden Austausch von Transportaufträgen und Verbesserung der Lieferrestriktionen
- Sinnvolle Verbindung von Ex-post-Analytik und Ex-ante-Optimierung.

Der hier vorliegende Entwicklungsansatz beinhaltet eine Kollaboration von Last-Mile-Dienstleistern. Diese Kollaboration beinhaltet die Liefergebietsplanung, dynamische Tourenplanung und eine kooperative Tourenplanung zur Steigerung der Effizienz von Liefernetzwerken.

3.6.2 Beschreibung der Simulation

Für die Simulation selbst wird auf Multiagentensystem zurückgegriffen, allerdings verfügt das Modell nur über Agenten in Form von Fahrern/LKWs. Die Simulation selbst bezieht sich auf keine spezifische Stadt, sondern ist ein fiktionales Szenario. Die Planung der Routen geschieht über ein VPR und die Lösung über eine Kombination von Heuristiken. Ziel der Autoren ist es, Kosteneinsparungen möglich zu machen. Allerdings soll die Routenplanung nicht, wie üblich, auf Gebietseinteilung basieren, sondern auf der Erzeugung von Loops (vgl. Abbildung 5). Innerhalb dieser Loops gibt es Stammtouren, welche aufgrund häufig angefahrener Stationen existieren. Um die Stammrouten existieren Korridore, in denen sich seltener angefahrne Ziele befinden. Die täglichen Lieferrouten weichen folglich immer von der Stammroute ab, dabei soll das persönliche Know-how der Fahrer über die jeweiligen Areale mit der optimalen Route kombiniert werden. Durch die Simulation soll die optimale Breite der Korridore ermittelt werden.

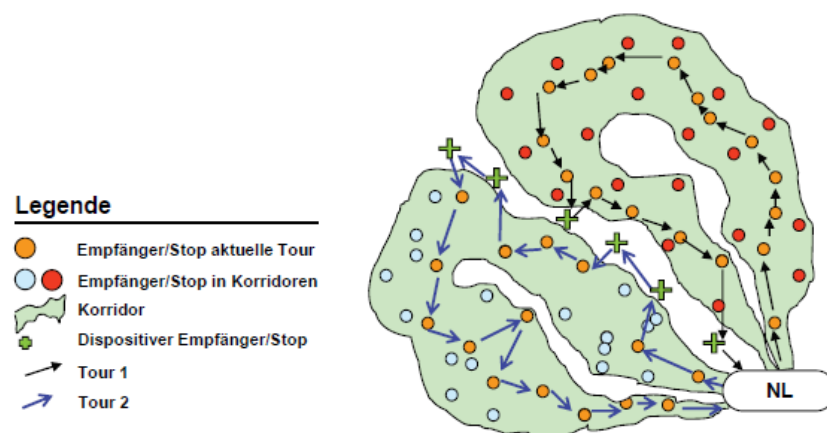


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung von Loops

Als Restriktion werden sogenannte Drifts eingeführt, diese bezeichnen die Abweichung von Weg bzw. Zeit von der optimalen Route und sind durch ein Maximum an Abweichung begrenzt. Für diese Art des Vorgehens ist es sinnvoll, wenn die jeweiligen Punkte räumlich nah bei einander liegen. Einzelne Ziele auf freier Fläche können problematisch sein. Weitergehend wird es als kritisch angesehen, wenn viele zeitkritische Ziele auf einer Route liegen, da dann die Qualität der Dienstleistung beeinträchtigt würde. Zwischen zwei Korridoren liegen sogenannte dispositive Empfänger. Dabei handelt es sich um Empfänger, die in Abhängigkeit von der Auslastung einem der umliegenden Korridore zugeordnet werden. Die Zuordnung erfolgt dabei über einen kombinatorischen Auktionsmechanismus, bei dem die Kosten des zusätzlichen Weges als Gebot gewertet werden. Bei der Softwarelösung soll auf einen Tour-Planning-Service zurückgegriffen werden und durch den Drift, sowie den Auktionsmechanismus erweitert werden. Außerdem werden Stammdaten mit Bewegungsdaten kombiniert, um die optimalen Routen zu ermitteln.

3.6.3 Schlussfolgerungen

Die Autoren gehen davon aus, dass sich dieses Vorgehen vor allem in KEP-Netzwerken bewähren wird. Dort soll es durch die Kombination von historischen Daten und ex-post Simulation Einsparpotenzial aufzeigen und zeitgleich die optimale Parametrisierung der einzelnen Optimierungsverfahren festlegen.

3.7 Design and scenario assessment for collaborative logistics and freight transport systems (Gonzalez-Feliu et al. 2013) [JDJ]

Die Veröffentlichung von Gonzalez-Feliu et al. aus dem Jahr 2013 befasst sich, anders als die weiteren Veröffentlichungen, nicht mit dem Einsatz von HC bei einem VRP, sondern allgemein mit ihrem Einsatz im Rahmen des Supply Chain Managements und in Frachttransportsystemen (auch wenn sich das Anwendungsbsp. auf ein MDVRP konzentriert). Im Mittelpunkt stehen hierbei die verschiedenen Stakeholder und die Simulation ihrer Interessen. Die Stakeholder, Inputvariablen und Zielfunktionen hängen dabei von dem entsprechendem Einsatzgebiet ab. Die Autoren zeigen hierbei einen Ansatz auf, in dem erst durch Simulieren die beste Lösung für jeden Stakeholder gesucht und später ein Kompromiss gefunden wird. Des Weiteren erfolgt eine Anwendung dieses Ansatzes in Bezug auf die City-Logistik. Der Aufbau des Kapitels gliedert sich dabei in die Problembeschreibung, die Beschreibung des Ansatzes und das Beschreiben der Anwendung im Rahmen der City-Logistik mit anschließender Auswertung der Ergebnisse für dieses Beispiel.

3.7.1 Problembeschreibung Intention

Die Autoren beschreiben, dass für eine Kollaboration entlang der Supply Chain eine hohe Anzahl von Partnern eingebunden werden muss, die unterschiedliche Interessen haben und zu deren Durchsetzung verschiedene Strategien verfolgt werden können. Hierbei müssen die unterschiedlichen Interessen aufeinander abgestimmt werden. Die Autoren sehen dabei ein Bedürfnis nach neuen Ansätzen, um die kollaborative Lösungsfindung zu optimieren, um auch komplizierte Gruppenentscheidungen mit mehreren Stakeholdern und einer multikriterienbasierten Entscheidungsfindung mit einem möglichst guten Ergebnis abzuschließen.

3.7.2 Integrierter Ansatz mit Simulation der Alternativen

Der simulationsbasierte Ansatz der Autoren lässt sich in sechs Phasen zusammenfassen, wobei der Schwerpunkt dieses Abschnittes auf der in Schritt 2 liegenden Simulationsphase liegt.

Den ersten Schritt stellt das Strategiedesign der integrierten Logistik und des Güterverkehrs dar. In dieser Phase werden alle Stakeholder, die für die Strategie des Transportnetzwerks bzw. der Supply Chain Entscheidungen treffen müssen, und ihre wichtigsten Ziele ermittelt. Durch eine Kombination ihrer Funktionen in dem Netzwerk sollen daraus folgend mögliche Lösungen für die Zusammenarbeit in dem Netzwerk gefunden werden, die den Zielen der einzelnen Teilnehmer entsprechen. Das grundsätzliche Vorgehen bei der Zusammenarbeit soll dabei am besten schematisch festgehalten werden.

Den zweiten Schritt stellt die Simulationsstudie dar. Dabei sollen die im ersten Schritt diskutierten möglichen Lösungen von jedem Stakeholder bewertet werden. Dazu sollte ein Simulationstool genutzt werden, welches die Kosten für die einzelnen Stakeholder für die einzelnen Lösungen berechnen kann. Die Simulation erfolgt in drei Phasen. Die erste Phase stellt die Szenario-Konstruktion dar, in der für jeden Lösungsansatz ein Szenario angenommen wird, wobei alle mit identischer Nachfrage für die Logistik und den gleichen Entscheidungsvariablen zu beschreiben sind. In der zweiten Phase ist aufbauend aus den Entscheidungsvariablen die Entscheidungsfunktion zu definieren, die die Umsetzung der Ziele aller Entscheidungsträger abdecken und somit für

jeden Teilnehmer des Netzwerks verwendbar sein muss. In der dritten Phase sollen dann unter Zuhilfenahme eines taktischen Simulationswerkzeugs die Logistik- bzw. Transportfunktionen unter den vorgegebenen technischen und organisatorischen Vorgaben für jeden Stakeholder untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung liefern dabei den Input für die Entscheidungsfunktion aus dem zweiten Schritt. Die Entscheidungsfunktion liefert nun quantifizierte Ergebnisse, auf welchen aufbauend eine Entscheidungsfindung im Kontext mit den weiteren Partnern geschehen kann.

Im dritten Schritt bereiten die einzelnen Stakeholder sich auf die Argumentation im Gruppenkontext vor, um für sich selbst ein möglichst gutes Ergebnis erzielen zu können. Dabei werden sowohl die Entscheidungsfunktionswerte für den einzelnen Entscheidungsträger als auch die für das gesamte System betrachtet. Schließlich werden sogenannte Cluster von Entscheidungsträgern mit konvergierenden Interessen gebildet, die sich in der nachfolgenden Diskussion für die gleiche Lösung einsetzen werden.

Den vierten Schritt stellt die Gruppenclusterphase dar, in denen, äquivalent zum dritten Schritt, die Entscheidungsfunktion für das ganze System und für das jeweilige Cluster für die einzelnen Szenarien betrachtet wird, um sich auf die weiteren Schritte vorzubereiten.

Der fünfte Schritt ist die so genannte Dominanzphase. In diesem Schritt werden im Wesentlichen alle Lösungen für alle Entscheidungsträger verglichen und die besten Lösungen ermittelt.

Im sechsten Schritt werden die Entscheidergruppen identifiziert. Ergibt die Auswertung des fünften Schrittes, dass eine Lösung für alle Partner optimal ist, wird diese genommen. Ergibt sich mehr als eine Entscheidergruppe, also Gruppen, für die eine bestimmte Lösung optimal ist, so muss zwischen den Entscheidergruppen vermittelt und so die zu wählende Lösung gefunden werden. Ist ein Konsens gefunden, ist die beste Alternative gefunden.

3.7.3 Anwendungsbeispiel City-Logistik mit Ergebnissen

Auch wenn der Ansatz grundsätzlich auf verschiedene Optimierungsprobleme im Bereich SCM ausgerichtet ist, sehen die Autoren seine Relevanz vor allem im Hinblick auf HC in der City-Logistik und haben daher in ihrer Veröffentlichung ihren Algorithmus in diesem Sektor angewendet. Im Folgenden sollen die Anwendung des in 3.7.2 vorgestellten Algorithmus durchlaufen werden. Da der Schwerpunkt der Arbeit auf der Simulation liegt, wird die Durchführung der Schritte 3 bis 6 hier nicht einzeln erläutert.

Als Beispiel dient hierbei ein MDVRP (vgl. Kapitel 2.3.2) mit fünf Spediteuren, die je ein Depot haben, 12 Satelliten und 408 Kunden, die von mehreren Speditionen bedient werden dürfen. Die Daten für die Entfernungen zwischen den Punkten und der Nachfrage nach Logistikleistungen werden aus anderen Studien entnommen und basieren auf realen Daten der Stadt Lyon.

Die Spediteure dienen dabei als die einzigen Stakeholder und streben als Ziel eine möglichst große Reduktion der Kosten an. Es werden hierbei fünf mögliche zu simulierende Szenarien angenommen und als Experiment durchgeführt:

- 1: Einstufig, Keine HC, kein VMI, große Fahrzeuge (Basisszenario)
- 2: Einstufig, Keine HC, Einsatz von VMI, kleine Fahrzeuge
- 3: 2 Speditionen mit 2-Stufen-Distribution, keine HC, VMI, kleine Fahrzeuge;
Rest s. Szenario 2
- 4: HC mit VMI und Transport-Pool-System für 2 Speditionen; Rest s. Stufe 2
- 5: HC mit VMI und Transport-Pool-System für alle Speditionen

Damit ist der erste Schritt des vorgestellten Algorithmus abgehandelt und die zweite Phase beginnt. In dieser führen die angenommenen Spediteure eine Simulation durch, die ergibt, wie hoch ihre individuellen Kosten bei der Anwendung welcher Alternative sind. Hierzu werden zunächst die Kunden einer Gruppe von Fahrzeugen zugeordnet und in einem zweiten Schritt wird die Routenplanung unter Zuhilfenahme einer Heuristik (vgl. Kapitel 2.2.7) durchgeführt. Das Vorgehen der Autoren ist dabei kein Teil der Arbeit, sondern der Literatur entnommen (vgl. Gonzalez-Feliu und Salanova, 2011). Anschließend können die zurückgelegte Strecke und daraus folgend die anfallenden Kosten ermittelt werden. Insgesamt ergibt sich dabei, dass der fünfte Ansatz global die beste Alternative darstellt, sie jedoch nicht für alle fünf Speditionen ein individuelles Maximum bedeutet. Insgesamt kommen sie in den weiteren Schritten zu dem Schluss, dass in diesem spezifischen Fall eine Lösungsfindung möglich wäre, es jedoch auch Fälle geben kann, in denen eine Lösung kompliziert ist.

Insgesamt ist die Simulation im Rahmen der hier vorgestellten Methode alleine kein hinreichendes Mittel, um zu einer Handlungsempfehlung zu kommen, sondern es sind für die weitere Entscheidungsfindung Abstimmungsmechanismen nötig, der in den Schritten drei bis sechs erfolgt. Aufgrund der Ausgangslage, dass die Option fünf wesentlich attraktiver als die anderen Optionen ist, ist das in der vorgestellten Arbeit unproblematisch.

3.8 Multi-Agent Modeling for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Urban Distribution Centre (Wangapisit Ornkamon; Eiichi Taniguchi 2013) [RF]

Das hier beschriebene Projekt befasst sich auch mit dem Nutzen von stadtnahen Distributionszentren, allerdings werden bei dieser Simulation neue Elemente in die Betrachtung mit aufgenommen. Hier beschäftigt man sich mit dem stärker werdenden Fahrzeugaufkommen in Innenstädten und dem damit einhergehenden Mangel an Parkplätzen. Daraus resultieren falsch geparkte Autos, die die Transportfahrzeuge blockieren könnten. Die Simulation basiert auf einem Multi-Agenten-Modell (vgl. 3.8) in Kombination mit einem VRPTW (vgl. 2.3.1).

3.8.1 Problembeschreibung und Intention des Autors

Dieser Artikel befasst sich mit der Belieferung von Innenstädten und nimmt dabei vor allem Bezug auf Metropolen wie New York und Tokio. Durch immer größer werdende Einwohnerzahlen werden die Zulieferer vor immer neue Probleme gestellt. Dies begründet sich dadurch, dass die Infrastruktur nicht im selben Ausmaß wie die Bevölkerung mitwächst. Die hier beschriebene Simulation untersucht, wie andere auch, die Auswirkungen von urbanen Distributionszentren auf die Belieferung der Innenstädte. Allerdings werden hier nicht nur die regulären Verhaltensweisen

alle Beteiligten berücksichtigt, sondern auch die irregulären. Das bedeutet in diesem Fall, dass die Auswirkungen von mangelnden Parkflächen und somit die Auswirkungen von Falschparken auf die Stakeholder abgebildet werden. Ziel ist es, die Folgen mangelnder Parkflächen auf zeitkritische Lieferungen zu simulieren und folglich das Verhalten der betroffenen Stakeholder einzubeziehen.

3.8.2 Beschreibung der Simulation

Für die Simulation selbst wird ein fiktives Szenario erstellt und ein Multi-Agenten-Modell benutzt. Weitergehend wird die Tourenplanung der Zulieferer durch das Vehicle-Routing-Problem-With-Time-Window dargestellt. Die Lösung des VRPTW (vgl. 2.3.1) wird durch eine Insertion-Heuristik (vgl. 2.3.3) gelöst. Den Stakeholdern werden dabei jeweils ein Ziel und ein Verhalten vorgegeben.

- Frachtführer:
 - Ziel: Minimierung der Betriebskosten und Maximierung des Ertrags
 - Verhalten: Transportpreis vorschlagen und Lieferung ohne Verspätung
- Ladenbesitzer:
 - Ziel: Lieferkosten minimieren
 - Verhalten: Wunsch nach pünktlichen Lieferungen
- Anwohner:
 - Ziel: Reduzierung der Abgasemission durch LKWs
 - Verhalten: Legen bei den Behörden Beschwerden ein falls Emissionsgrenzen überschritten werden
- Behörden:
 - Ziel: Minimierung der Beschwerden
 - Verhalten: Aufforderung der Ladenbesitzer und Frachtführer Distributionszentren zu benutzen
- Neutrale Lieferanten:
 - Ziel: Maximierung des Profits
 - Verhalten: Transportpreis vorschlagen und Lieferung ohne Verspätung
- Einkaufsstraße:
 - Ziel: Maximierung des Gewinns durch Vereinbarungen mit den Ladenbesitzern
 - Verhalten: Kommunikation zwischen den Ladenbesitzern fördern

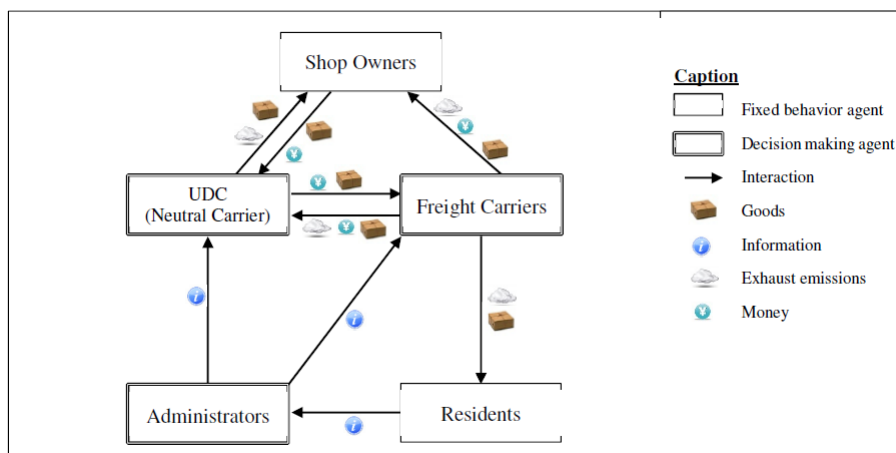


Abbildung 6: Darstellung der Relation der Agenten

Für das hier genutzte Modell wurden verschiedene Annahmen getroffen und Vereinfachungen vorgenommen:

- Lieferzeit von 8 bis 20 Uhr
- Nur eine Art von LKWs und Gütern
- Menge und Abholzeiten der zu transportierenden Güter wird zufällig bestimmt.
- Das Modell bildet eine künstliche Stadt ab
- Die Durchschnittsgeschwindigkeit der LKWs beträgt 30km/h
- Verfrühte Lieferung wird mit 1 Yen/Minute bzw. verspätete Lieferung mit 5 Yen/Minute geahndet
- Fixe Fahrzeugkosten
- Variable Fahrzeugkosten: 115 Yen/Minute
- LKW-Kapazität: 130 Pakete
- Service-Zeitfenster: 15-35 Minuten
- Das Distributionszentrum hat direkten Anschluss an die Stadt
- Das Distributionszentrum hat drei Zustelloptionen:
 1. verfrüht
 2. terminiert
 3. vollbeladen

3.8.3 Schlussfolgerungen

Abschließend kommen die Autoren zu der Auffassung, dass die Einführung von urbanen Distributionen sinnvoll ist, um Kosten zu minimieren und die Umwelt zu entlasten. Allerdings kommen sie auch zu der Schlussfolgerung, dass weitere Modelle geschaffen werden müssen, die andere Aspekte der City-Logistik in Betracht ziehen.

3.9 A Simheuristic Algorithm For Horizontal Cooperation In Urban Distribution: Application To A Case Study in Coubia (Quintero-Araújo, Juan, Montoya-Torres 2016) [JDJ]

In diesem Kapitel soll ein hybrider Ansatz zur Optimierung eines MDVRP Problems vorgestellt werden, der auf eine Kombination von Simulation und heuristischen Verfahren setzt. Hierbei sollen am Beispiel der Stadt Bogota in Kolumbien die Vorteile durch HC am Beispiel von drei Convenience-Stores-Ketten, die ihre Belieferung gemeinsam gestalten, untersucht werden. Schwerpunkt der Arbeit ist dabei, zu zeigen, dass durch HC der Ladenketten bei der Distribution zu den einzelnen Geschäften ein finanzieller Vorteil erreicht wird. Das Kapitel ist dabei in die Problembeschreibung, die Vorgehensbeschreibung und die Beschreibung der Ergebnisse der Studie gegliedert.

3.9.1 Problembeschreibung und Intention

Die Autoren verfolgen in ihrer Veröffentlichung zwei wesentliche Ziele:

Erstens sollen Lösungen, die über Simulation des Einsatzes von HC gewonnen werden, alternativen Lösungen, die über traditionelle mathematische Programmierung erlangt wurden, einander gegenübergestellt werden. Diesbezüglich erfolgt also nicht nur Bewertung der HC als solcher, sondern auch eine Bewertung der Simulation als Werkzeug für ihren Einsatz. Zweitens soll der

Einfluss von Bedarfsschwankungen und Sicherheitsbeständen in einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden. Die Datenbasis beruht dabei auf dem Fallbeispiel der Stadt Bogota in Kolumbien, bei der die Standpunkte der Convenience-Stores und deren Bedarf erfasst wurden. Als Zielfunktionsgröße wird dabei die Gesamtstreckenlänge, die im Rahmen der Distribution zurückgelegt werden muss, verglichen. Daraus sollen Rückschlüsse auf ein mögliches Einsparpotenzial geschlossen werden. Als einzige Stakeholder werden die Betreiber der Convenience-Stores-Ketten betrachtet.

3.9.2 Vorgehensbeschreibung der Simulationsstudie

Die Besonderheit des Ansatzes dieser Veröffentlichung liegt in der Kombination von „local search“-Algorithmen mit einer Montecarlo-Simulation. Dabei erfolgt eine Zerlegung des Gesamtproblems in zwei Teilprobleme: Erstens in die Zuordnung von Kunden zu Depots und zweitens für die Suche nach einem Satz an Routen, welche die Depots mit den Kunden verbinden. Das konkrete Vorgehen dieser Simulationsstudie lässt sich dabei grob in die folgenden vier Phasen zusammenfassen:

- Treffen von Annahmen bezüglich des Modellinputs
- Ermittlung möglicher Lösungen
- Iterative lokale Suchphase
- Simulationsphase

Im ersten Schritt sollen Annahmen bezüglich des Inputs getroffen werden. Neben den bekannten Standorten der Läden und dem Volumen der Transportfahrzeuge sollen hierzu die gegebenen realen Nachfragewerte für die Warenlieferungen in eine stochastische Datenbasis umgewandelt werden. Um die statistische Verteilung möglichst gut an die realen Daten anzupassen, wird eine logarithmische Normalverteilung verwendet.

Im zweiten Schritt wird zunächst eine Basislösung für die Zuordnung der convenience stores zu den Depots bestimmt. Hierfür wird eine distanzbasierten Savingliste (vgl. 2.3) zwischen den einzelnen Knotenpunkten erstellt. Auf diese Weise entsteht eine Zuweisungskarte der Geschäfte zu den Depots. Anschließend wird die Savingsheuristik nach Clarke & White (2.3.4) angewendet, um eine Basislösung für die Tourenplanung zu erhalten.

Im dritten Schritt, der iterativen lokalen Suchphase, wird die im zweiten Schritt ermittelte Basislösung optimiert. Hierfür wird die Basislösung durch zufällige Veränderungen auf Verbesserungen untersucht und ggf. angepasst, um eine bessere Lösung zu erhalten (Quintero-Araújo, Juan, 2016). Auf diese Weise werden in einer vierstelligen Anzahl an Durchläufen verschiedene Lösungen bestimmt, wobei die besten zehn als Szenarien für die Simulationsphase dienen sollen.

Sind im dritten Schritt gute Lösungen gefunden worden, so werden diese im Rahmen des vierten Schrittes, welcher die eigentliche Simulationsstudie umfasst, untersucht. Hierzu werden für jede Lösungen Zufallsexperimente durchgeführt. Den Input dieser Experimente liefert dabei die im ersten Schritt ermittelte Zufallsfunktion. Als Output der Experimente dienen dabei die zurückgelegte Strecke und die daraus resultierenden Distributionskosten. Reicht bei einem Distributions-schritt die Ladekapazität der Fahrzeuge nicht aus, um die Route abzudecken, wird diese in Teilrouten zerlegt und das Lieferfahrzeug muss zwischendurch ins Depot zurückkehren, um weitere Waren zu laden, wodurch zusätzliche Strecke entsteht.

Es erfolgt eine statistische Auswertung über die zurückgelegte Strecke und die entstandenen Kosten. Auf dieser Basis kann dann die beste unter den zehn im dritten Schritt ermittelten Lösungen ermittelt werden, als Vergleichsbasis für auf andere Weise ermittelte Lösungen herangezogen werden und eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit von horizontaler Kollaboration getroffen werden.

3.9.3 Ergebnisse der Simulationsstudie

Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass ihr simulationsbasierter Ansatz wesentlich bessere Resultate liefert als der hierarchische Ansatz mit mathematischer Programmierung von Munoz-Villamizar, der als Referenzgröße herangezogen wurde. Dies zeigt sich erstens in einer erheblichen geringeren Routenlänge, die für die Distribution der convenience stores nötig ist (im Durchschnitt 7%). Zweitens ist die Standardabweichung der benötigten Strecke bei dem simulationsheuristischen Ansatz erheblich geringer. Drittens konnte auch durch eine veränderte Verteilung des Ladevolumens gezeigt werden, dass eine bessere Allokation der Läden zu den Depots erfolgt ist. Somit konnte an einem praktischen Beispiel nachgewiesen werden, dass simulationsheuristische-Verfahren über ein erhebliches Optimierungspotenzial gegenüber klassischen Ansätzen verfügen.

Des Weiteren konnte im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse gezeigt werden, dass die gewählten Sicherheitsbestände und die Varianz der Nachfrage einen erheblichen Einfluss auf die totalen Lieferkosten und die Prozesszuverlässigkeit haben. Hierbei lässt sich zusammenfassend sagen, dass hohe Nachfrageschwankungen ein erheblicher Kostentreiber sind und hohe Sicherheitsbestände die höchste Prozesssicherheit gewährleisten. Jedoch gehen mit den hohen Sicherheitsbeständen zusätzliche Kosten einher, die die entstehenden Einsparungen durch eine hohe Verfügbarkeit kompensieren können. Dabei wurde in der Studie gezeigt, dass in diesem Beispiel geringe Bestände insgesamt eine Einsparung gegenüber hohen Sicherheitsbeständen bedeuten.

3.10 Towards an agent-based modeling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centers (van Duin et al. 2016) [RF]

Die Autoren befassen sich mit der mangelnden Akzeptanz von stadtnahen Distributionszentren. Sie gehen davon aus, dass für eine effiziente Umsetzung von City-Logistik-Projekten diese Zentren unumgänglich seien. In ihrer Simulation wollen die Autoren durch ein Multi-Agenten-Modell die Lukrativität und den Nutzen von Distributionszentren untersuchen.

3.10.1 Problembeschreibung und Intention des Autors

In diesem Bericht beschäftigen sich die Autoren mit den Auswirkungen des innerstädtischen Güterverkehrs auf die Umwelt sowie der negativen Entwicklung von stadtnahen Distributionszentren. Einleitend wird festgestellt, dass 40% der Luftverschmutzung vom innerstädtischen Güterstraßenverkehr ausgehen, während der Anteil an Lieferfahrzeugen in japanischen Städten nur zwischen 10% und 30% liegt. Ferner wird der Rückgang stadtnaher Distributionszentren thematisiert. In den Distributionszentren sollten Güterströme gebündelt und zielgerichtet in die Stadt geliefert werden. Als Grund für den Rückgang wird ein zu hohes Konkurrenzverhalten zwischen

den Stakeholdern genannt. Die durch Distributionszentren generierten Vorteile seien im Gegensatz zu den logistischen Herausforderungen wie Just-In-Time-Lieferungen zu klein. In ihrer Arbeit beschäftigen sich die Autoren folglich mit der Frage, wie der Rückgang von Distributionszentren gestoppt und ihre Inanspruchnahme attraktiver gestaltet werden kann.

3.10.2 Beschreibung der Simulation

Ziel dieser Simulation ist es, die Rentabilität von Distributionszentren in Bezug auf ökologische und ökonomische Aspekte zu untersuchen, dies geschieht in einem fiktiven Szenario. Grundlage des Modells stellt ein VRPWT dar, welches durch einen genetischen Algorithmus gelöst wird. Es wird ein Multi-Agenten-Modell benutzt, um die Simulationen durchzuführen. Das hier gestaltete Modell beinhaltet fünf Typen von Agenten:

- Frachtführer
- Distributionszentren
- LKWs
- Händler
- Fahrbahnen (Hauptverkehrswege)

Die Agenten, LKW, Händler und Fahrbahnen agieren nur reaktiv, während die Distributionszentren und die Lieferwagen aktiv agieren, um ihre Ziele zu erreichen. Es wird angenommen, dass Speditionen und Frachtführer in perfekter Übereinstimmung miteinander arbeiten, daher werden sie hier als ein einzelner Agent abgebildet. Weitergehend werden zwei sogenannte Dummy Agenten eingesetzt:

- Straßen
- Knotenpunkte

Die Dummy Agenten haben keine Entscheidungsrelevanz und dienen nur der vollständigen Berechnung. Abschließend wird noch die Gemeinde als Agent eingeführt, welche Regeln vorgibt. Das Verhalten der Agenten soll vollständig rational sein. Jeder Agent agiert sinnvoll, um seine Ziele zu erreichen. Dabei werden in diesem Modell der Materialfluss, der Geld- und Informationsfluss, sowie die Entstehung von Emissionen zwischen den einzelnen Agenten abgebildet (vgl. Abbildung 7).

3.10.3 Schlussfolgerungen

Obwohl die Ergebnisse zeigen, dass Distributionszentren sich finanziell nicht lohnen, bleiben die Autoren der Annahme treu, dass es sich dabei um ein sinnvolles Konzept handelt, um Stau und Emissionen zu verhindern. Weiterhin ist festzuhalten, dass die Nutzung von Distributionszentren sinnvoll ist, wenn es sich bei den transportierten Gütern nicht um zeitkritische (just-in-time) Lieferungen handelt. In Zahlen ausgedrückt bedeutet es, dass durch Distributionszentren die Emission um 19% mit einer Standardabweichung von 13,9% und die gefahrenen Kilometer um 18,8% mit einer Standardabweichung von 12,9% verringert werden kann.

4 Fazit

Bei dieser Arbeit wurde einleitend der Begriff der horizontalen Kollaboration eingeführt und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Logistik erörtert. Anschließend wurden die verschiedenen Aspekte der City-Logistik herausgearbeitet. Dabei wurde auch darauf eingegangen, dass nicht nur ökonomische Aspekte, sondern auch ökologische Aspekte eine Rolle spielen. Bei der genauen Definition der City-Logistik wurde auch deutlich, dass viele Projekte auf den Einsatz von urbanen Distributionszentren setzen. Weitergehend wurde im Grundlagenteil der Begriff des Vehicle-Routing-Problems erläutert. Abschließend wurde auf den Begriff der Simulation eingegangen und erläutert, wie Simulation im Gesamtkontext der Thematik angewendet werden kann. Ein Schwerpunkt lag dabei auf Multi-Agenten-Modellen, da diese im weiteren Verlauf der Arbeit noch eine erhebliche Relevanz innehaben. Basierend auf den Erkenntnissen des Grundteils wurde eine Stichwortliste erstellt, um passende Veröffentlichungen zu finden. Darauf aufbauend konnte eine Auflistung der relevantesten Autoren erstellt werden. Durch Kombination der beiden Listen konnte dann eine Tabelle mit den 53 wichtigsten Werken in Bezug auf die Anwendung von Simulation bei horizontaler Kollaboration in der City-Logistik erstellt werden. Nachfolgend wurden aus dieser Tabelle acht Werke ausgewählt und zusammengefasst. Die Auswahl soll dabei eine gewisse Diversität abbilden und zu diesem Zweck wurden Werke aus unterschiedlichen Dekaden, von unterschiedlichen Autoren und mit abweichendem Inhalt ausgesucht.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Zahl der Veröffentlichungen im Laufe der Jahre zugenommen hat. Daraus lässt sich ableiten, dass die Themen City-Logistik und der Einsatz von Horizontaler-Kollaboration zu ihrer Optimierung an Relevanz zunehmen. Dabei spielen nicht nur monetäre Aspekte eine Rolle, sondern auch immer mehr ökologische. Ferner soll die Infrastruktur der Innenstädte entlastet werden. Durch zunehmende Leistung der PCs werden komplexere Simulationen möglich. Dies äußert sich darin, dass aktuelle Modelle mehr Bereiche und Aspekte in Betracht ziehen können. Primär liegt der Fokus auf der Nutzung von Multi-Agenten-Modelle, welche das Verhalten verschiedener Stakeholder abbilden. Bei der Bearbeitung der Fallbeispiele war auffallend, dass viele Autoren zu der Nutzung von urbanen Distributionszentren raten und diese sich in den jeweiligen Modellen als sinnvoll erweisen. Allerdings zeigt die Praxis, dass diese Distributionszentren wenig rentabel sind und von den Spediteuren kaum benutzt werden. Das liegt vor allem an der vorherrschenden Konkurrenz zwischen den Speditionen, sowie an den zeitkritischen Lieferterminen, welche einer Kollaboration entgegenwirken.

Durch die steigende Leistung der Computer wird es in Zukunft möglich sein, die Zulieferkette außerhalb der Innenstadt einzubeziehen. Somit könnten sich neue Möglichkeiten für die City-Logistik eröffnen. Weitergehend müssen Anreize geschaffen werden, um die Spediteure zur Nutzung der urbanen Distributionszentren zu bewegen, ohne befürchten zu müssen, dass die Qualität ihrer Dienstleistung dadurch eingeschränkt wird.

5 Literaturverzeichnis

- Adetiloye, T. (2012). *Collaboration Planning of Stakeholders for Sustainable City Logistics*. Diss Concordia University.
- Allen, J., Throne, G., & Browne, M. (2007). *Good Practice on Urban Freight Transport. Best Urban Freight Solutions*. Rijswijk: NEA Transport research and training.
- Allen, J., Tanner, G., Browne, M., Anderson, S., Christodoulou, G., & Jones, P. (2003). Modelling policy measures and company initiatives for sustainable urban distribution. In *Final Technical Report'. Project carried out as part of the EPSRC/DfT Future Integrated Transport Programme*. University of Westminster.
- Allen, J., Thorne, G., & Browne, M. (2007). *BESTUFS- Praxisleitfaden für den städtischen Güterverkehr*.
- Ambrosini, C., Routenhier, J., Sonntag, M., & Meimbresse, B. (2008). *Urban Freight Modelling: A Review*. Lyon: Universität von Lyon, Fakultät für Transportwirtschaft.
- Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban-Logistics- how can it meet policy makers' sustainability. In *Journal of Transport Geography Volum, Issue 1* (pp. 71-81).
- Ben-Akiva, M., Meersman, H., & van de Voorde, E. (2013). *Freight transport modelling*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Cascetta, E., Marzano, V., & Papola, A. (2008). A Multo-regional input-output models for freight demand simulation at a national level. In *Recent Developments in Transport* (pp. 93-116).
- Chan, F., & Zhang, T. (2011). The impact of collaborative Transportation management on supply chains performance: a simulation approach . In *Expert Systems with applications, Ausgabe 38, Band 3* (pp. 2319-2329).
- Civitas. (n.d.). *Intelligent Transport Systems and traffic management in urban areas*. civitas policy note.
- Clarke, G., & Wright, J. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a Number of Delivery Points. In *Operations Research 12* (pp. 568-581).
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., & Laporte, G. (1997). A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. In *Networks 30* (pp. 105-119).
- Cortés, P., Guadix, J., Onieva, L., & Munuzuri, J. (1-19). Simulating the effects of pedestrianisation on urban freight deliveries. In *European Transport, AUsgabe 54, Band 10*.
- Dimitros, A., Tsamboulas, & Kapros, S. (2003). Freight village evaluation under uncertainty with public and private financing. In *Transport Policy, Ausgabe 10, Band 2* (pp. 141-156).
- Ehmke, J. (2012). *Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics*. Boston: Springer US.
- Erdmann, M. (1999). *Konsolidierungspotentiale von Speditionskooperationen: Eine simulationsgestützte Analyse*. Wiesbaden : Deutscher Universitätsverlag.

- Ellerkmann, Frank: Horizontale Kooperationen in der Beschaffungs- und Distributionslogistik, Dortmund: Universität Dortmund, Dissertation, 2003.
- Gattuso, D., Gian, C., & Pellicanò, D. (2014). A mirco-simulation model for performance evaluation of a logistics platform. In *Transportation Research Procedia, Ausgabe 3* (pp. 574-583).
- Gonzales-Feliu, J., Morana, J., & Grau, J. (2013). Design and scenario assessment for collaboration logistics and freight transport systems. In *International Journal of Transport Economics* (pp. 207-240).
- Greavers, R., Van der Voorde, E., & Vaneslander, T. (2014). Cost Modelling and Simulation of Last-Mile Characteristics in an innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (pp. 398-411).
- Greaves, R., van de Voorde, E., & Vaneslander, T. (2011). *characteristics and typology of the last-mile logistics from an innovation perspective in an urban context*. Antwerpen: Department of Transport and Regional Economics University of Antwerp.
- Gruler, A., Fikar, C., Hirsch, P., & Juan, A. A. (2017). Supporting multi-depot and stochastic waste collection management in clustered urban areas via simulation-optimization. In *Journal of simulation* (pp. 1-9).
- Hilty, M., Meyer, R., Page, B., Mügge, H., & Deecke, H. (1996). Konzeption eines Systems zur Abschätzung der Auswirkungen verkehrsbezogener Maßnahmen auf die Umwelt. In *Berichte des Fachbereichs Informatik* (p. Hamburg).
- Kallehauge, B. (2006). *On the vehicle routing problem with time windows*. Technical University of Denmark.
- Kapros, S., Panou, K., & Proios, G. (2014). Fast Screening Method for Assessment of Freight Demand at an initial Planning Stage of a new Transport and Logistics center. In *Transport Policy Ausgabe 23, Band 3* (pp. 98-106).
- Kaupp, M. (1997). *City-Logistik als kooperatives Güüterverkehrsmanagement*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Kimms, A., & Kozeletskyi, I. (2015). Shapley value-based cost allocation in the cooperative traveling salesman problem under rolling horizon planning. In *EURO Journal on Transportation*.
- Klaus, P. Krieger, W. (2012). *Gabler Lexikon Logistik*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Klüter, A.: Ein Konzept zur Umsetzung eines kollaborativen Tourenplanungsansatzes in einem datengetriebenen Supply-Chain-Simulationsmodell. Dortmund: Tu Dortmund, Fachschaft Maschinenbau, Masterarbeit, 2016.
- König, B. (1995). Heuristiken zur Ein-Depot-Tourenplanung. München: Technische Universität München, Institut für Informatik, Diplomarbeit.
- Krajewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., & Bieker, L. (2012). Recent Development and Applications of SUMO- Simulation of Urban Mobility. In *International Journal on Advances in Systems and Measurements 5* (pp. 128-138).
- Lehmacher, W.: Logistik im Zeichen der Urbanisierung: Versorgung von Stadt und Land im digitalen und mobilen Zeitalter. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015.

- Law, A. M.; Kelton, W. D.: Simulation modeling and analysis. 3rd ed. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- Mattfeld, D., & Vahrenkamp, R. (2014). *Logistiknetzwerke: Modelle für Standortwahl und Tourenplanung*. Wiesbaden: Springer.
- März, L.; Weigert, G.: Simulationsgestützte Optimierung. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*. VDI-Buch. Heidelberg: Springer, 2011, S. 3–12.
- Mc Dermott, D. (1975). An alternative framework of urban goods distribution: consolidation. In *Transport Journal* (pp. 29-39).
- Melo, S., & Macharis, C. (2011). *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
- Monczka, R., Trend, R. und Handfield, R.: *Purchasing and Supply Chain Management*, Boston: Cengage Learning, 2015, S. 144.
- Munoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J., Juan, A., & Caceres-Cruz, J. (2013). A simulation-based algorithm for the integrated location and routing problem in urban logistics. In *Simulation Conference (WSC)* (pp. 2032-2041).
- Munuzuri, J., Cortés, P., Onieva, L., & Gaudix, J. (2010). Modelling peak-hour urban freight movements with limited data availability. In *Computers & Industrial Engineering; Ausgabe 58; Band 1* (pp. 34-44).
- OECD. (2003). Delivering the Goods-21 Century Challenges to Urban Good Transport. In O. o.-O. Development.
- Oexler, P. (2002). Citylogistik-Dienste: Präferenzanalysen bei Citylogistik-Akteuren und Bewertung eines Pilotbetriebs dargestellt am Beispiel der dienstleistungsorientierten Citylogistik Regensburg. In *Wirtschaft & Raum, Band 9*. München: VVF München.
- Ornaknow, W., & Taniguchi, E. (n.d.). Multi-Agent Modeling for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Urban Distribution Centre.
- Oswald, Lena. Horizontale Logistikkoperationen-eine modellbasierte und system-dynamische Analyse. Mannheim: Universität Mannheim, Dissertation, 2010.
- Picot, A., Reichwald, R.; Wiegand, R: *Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management*, Wiesbaden: Gabeler, 2001, S.50.
- Poole, T. G.; Szymankiewicz, J. Z.: *Using simulation to solve problems*. London und New York: McGraw-Hill, 1977.
- Prakash , A., & Chan, F. (2012). A inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: a simulation study. In *International journal of Production Research, Ausgabe 50, Band 16* (pp. 4670-4685).
- Prakash, A., & Deshmukh, S. (2010). Horizontal collaboration in flexible suplly chains: a simulation study. In *Journal of studies on Manufacturing* (pp. 54-58).
- Quak, H. (2008). *Sustainability of Urban Freight Transport Retail Distribution and Local Regulations in Cities*. Rotterdam: Erasmus Research Institute of Management.

- Quientreo-Araújo, C., & al, e. (2016). A simheuristic algorithm for horizontal cooperation in urban distribution. Application to a case study in colombia. In *Winter simulation conference*.
- Raabe, A., Klüter, A., Clausen, U., & Pötting, M. (2016). An approach for modeling collaborative route planning in supply chain simulation. In *Proceeding of the 2016 Winter Simulation Conference*.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. VDI-Buch. Berlin und Heidelberg: Springer, 2008.
- Reinholz, A., & Schneider, H. (2009). Große Netze der Logistik. In *Große Netze der Logistik* (pp. 153-179).
- Rouboutsos, A., & Kapros, S. (2008). A game theory approach to urban public transport integration policy. In *Transport Policy 15, Band 4* (pp. 209-215).
- Royer, S.: Strategische Erfolgsfaktoren horizontaler kooperativer Wettbewerbsbeziehungen: eine auf Fallstudien basierende erfolgsorientierte Analyse am Beispiel der Automobilindustrie. München und Mering: Rainer Hampp Verlag, 2000, S. 11-18 und S.100-105.
- Rupprecht-Däullary, M. (1994). Die Zwischenbetriebliche Kooperation. In: *Zwischenbetriebliche Kooperation*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1994, S. 5-31.
- Schulteis, Günter: Die Bedeutung der Informations-und Kommunikationstechnologie für vertikale Unternehmungsk Kooperationen und deren Potenzial bei der Gestaltung unternehmungsübergreifender Geschäftsprozesse: dargestellt am Beispiel kommerzieller Standardanwendungssoftware. Wiesbaden: Deutscher Universitäten-Verlag, 2000, S. 44-55.
- Schwind, M., & Klunkel, M. (2009). Simulationsbasierte Optimierung kollaborativer Transportlösungen in Transportnetzwerken. In *GI Jahrestagung* (pp. 3605-3619).
- Schwind, M., & Klunkel, M. (2010). Collaborative Optimization of the last mile networks for courier, express and parcel delivery services. In *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik* (p. 389).
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constrains. In *Operations Research, Volume 35, Nummer 2* (pp. 254-265).
- Strauß, S. (1997). City-Logistik - Ein Instrument zur Verringerung des städtischen Güterverkehrs. In *Schriftreihe Verkehr, Heft 7*. Fachgebiet Verkehrssysteme und Verkehrsplanung Universität Kassel .
- Tang, Y. (2013). Transport Efficiency Increase for Axfoods Transport Carriers in Central Gothenburg. Masterarbeit Graduate Business School for Economics and Commercial Law Göteborg.
- Taniguchi , E., Thompson , R., & Yamada, T. (2009). Modelling the behaviour of stakeholders in city logistics. In *Innovations in city logistics* (pp. 1-15).
- Taniguchi, E., & Russel, T. (2002). Modeling City Logistics. In *Transportation Reasearch Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 1790* (pp. 45-51).

- Taniguchi, E., & Tompson, R. (2008). City Logistics and Freight Transport. In E. S. LTD, *Handbook of Logistics and Supply Chain Management*. Amsterdam.
- Taniguchi, E., Tamagawa, D., & Yamada, T. (2010). Evaluating city logistic measures using a multi-agent model. In *Procedia-Social and Behavioral Sciences, Ausgabe 2, Band 3* (pp. 6002-6012).
- Taniguchi, E., Thompson, R., & Yamada, T. (n.d.). Modelling the behaviour of stakeholders in city logistics.
- Teo, J., Taniguchi, E., & Qureshi, A. (2014). A Multi-agent systems modelling approach to evaluate urban motorways for city logistics. In *International Journal of Urban Sciences, Ausgabe 18, Band 2* (pp. 154-166).
- Töpfer, Armin. Betriebswirtschaftslehre: anwendungs-und prozessorientierte Grundlagen. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, S. 1291.
- van Duin, R., Anand, N., & Tavasszy, L. (2010). Multi agent modeling for city logistics policy analysis: potentials and challenges. In *Proceeding of the 45th Annual Conference Transportation and Logistics Trends and Policies: Successes and Failures*.
- van Duin, R. (1998). Simulation of underground freight transport system. In *WIT Transactions on the built environment, Ausgabe 36*.
- van Duin, R., Anand, N., & Tavasszy, L. (2014). Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation. In *International journal of urban Sciences, Ausgabe 18, Band 2* (pp. 133-153).
- van Duin, R., Kortmann, R., & van den Voogaard, S. (2014). City logistics through the canals? A simulation study on freight waterborne transport in the inner-city of Amsterdam. In *International Journal of Urban Science, Ausgabe 18, Band 2* (pp. 186-200).
- van Duin, R., van Klock, A., & Anand, N. (2012). Towards an agent-based modeling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres. In *Procedia-Social and Behavioral Sciences* (pp. 333-348).
- van Duin, R., van Klock, A., Anand, N., & Taniguchi, E. (2012). Towards an agent-based modelling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres. In *Procedia-Social and Behavioral Sciences, Ausgabe 39* (pp. 333-348).
- Vereinte Nationen: World urbanization prospects: The 2014 revision: highlights. New York: United Nations, 2014.
- Wallner, H. P.: Netzwerke und Kooperationen. Informations-und Arbeitsheft für Unternehmen, STENUM Unternehmensberatung und Forschungsgesellschaft für Umweltfragen mbH (HG), 1999. <http://www.stenum.at/produkte/netzwerke.pdf> (zuletzt geprüft am 16.04), S. 17.
- Wenzel, S. : VDI 3633, Blatt 11. Simulation und Visualisierung: Ein Statusbericht. (2002).
- Wertz, B.: Management von Lieferanten-Produzenten-Beziehungen: Eine Analyse von Unternehmensnetzwerken in der deutschen Automobilindustrie. Gabler Edition Wissenschaft. Unternehmensführung & Controlling. Wiesbaden: Gabler, 2000.

Wooldridge, M., J.: An introduction to multiagent systems. Hoboken (USA): John Wiley & Sons, 2009, S. 15-25 und S. 189

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Klassifikation von Simulationen..... | 14 |
| Abbildung 2: Publikationen nach Dekaden..... | 22 |
| Abbildung 3: Morphologisches Merkmalschema..... | 23 |
| Abbildung 4: Schematische Darstellung des Konzeptes..... | 27 |
| Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung von Loops..... | 31 |
| Abbildung 6: Darstellung der Relation der Agents..... | 35 |
| Abbildung 7: Relationen der Agenten zueinander..... | 40 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Liste der Veröffentlichungen..... | 17 |
|--|----|

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift