

Kapitel 1

Einleitung

Der Onlinehandel (englisch: E-Commerce) hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten als einer der wachstumsstärksten Wirtschaftszweige etabliert und ist heute ein unverzichtbarer Bestandteil der Weltwirtschaft geworden. In der vergangenen Dekade konnte der globale Onlinehandel jährliche Wachstumsraten zwischen 13 % und 28 % verzeichnen (Næss-Schmidt et al., 2021). In Deutschland ist der Umsatz von Waren im Onlinegeschäft zwischen 2010 und 2019 von anfänglich 18,3 Milliarden Euro auf rund 69,8 Milliarden Euro angewachsen (Furchheim et al., 2021). Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2018 kauften 97 % der Internetnutzer in Deutschland auch mindestens einmal im Jahr online ein (Rohleder, 2019). Die Relevanz des Onlinehandels für den Einzelhandel nimmt stetig zu, da dieser dem stationären Handel zunehmend Marktanteile abnimmt. Auch 2020, im ersten Jahr der Corona-Pandemie, ist der Umsatz der Branche in Deutschland um 21,3 % auf 84,7 Milliarden Euro gestiegen, während der Umsatz im stationären Einzelhandel in diesem Zeitraum um 6,2 % zurückgegangen ist (Statista, 2022a; Reinartz et al., 2021). Der Anteil des Onlinehandels am gesamten Einzelhandel betrug somit im Jahr 2020 bereits rund 12,8 %, was etwa einem Achtel entspricht (Abbildung 1.1). Der steigende Anteil des E-Commerce macht den Wandel im Konsumverhalten der Kunden deutlich. Statt im stationären Einzelhandel kaufen heute vor allem jüngere Menschen vornehmlich online ein und nutzen den Paketversand direkt nach Hause. Mit Blick auf das Mobilitätsverhalten der Kunden bedeutet dies, dass diese nicht mehr selbst am Verkehr teilnehmen um sich Waren, z. B. in Kaufhäusern des Einzelhandels, zu besorgen. Stattdessen wird vornehmlich online gesucht, gekauft und bestellt. Die Transportabwicklung erfolgt anschließend durch Paketunternehmen.

Von dem fortschreitenden Trend zum Einkauf im Onlinehandel und dem damit einhergehenden steigenden Sendungsvolumen konnten vor allem die Anbieter von Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP) profitieren (Stiehm et al., 2019). Abbildung 1.2 zeigt die Entwicklung des KEP-Sendungsvolumens in Deutschland seit 2010. Demnach lag das durchschnittliche jährliche Wachstum des Sendungsvolumens im Zeitraum zwischen 2010 und 2019 bei +5,1 %. Im Jahr 2019 betrug das Sendungsvolumen von KEP-Lieferungen in Deutschland 3,65 Milliarden Sendungen. Während der Corona-Pandemie ist der Markt rapide gewachsen; mit einem Sendungsvolumen von 4,05 Milliarden Sendungen (+10,9 %) wurde erstmals ein Wachstum im zweistelligen Prozent-

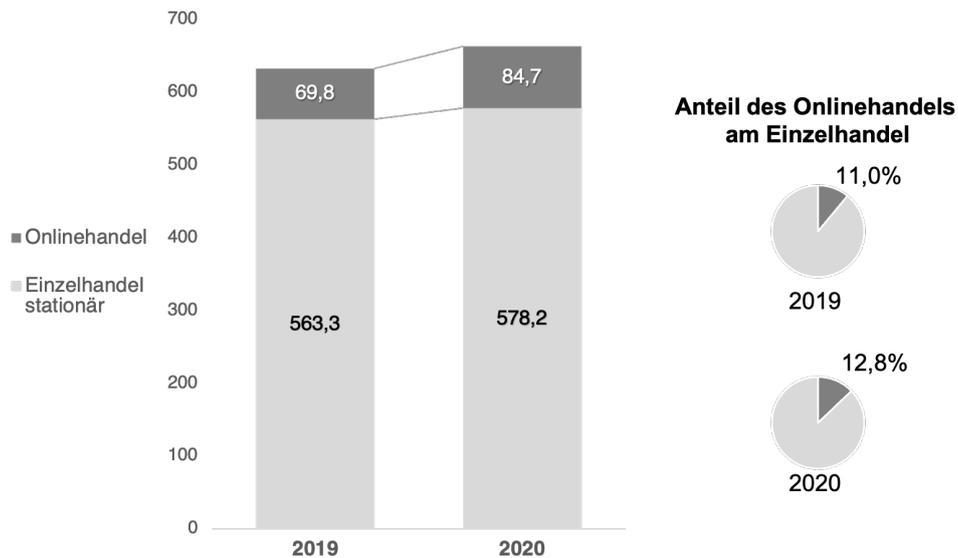


Abbildung 1.1: Umsatz des Einzelhandels sowie des Onlinehandels in Deutschland (in Anl. an Reinartz et al., 2021)

bereich erzielt. Insbesondere die Privatkundenbelieferung „Business-to-Consumer“ (B2C) gewinnt durch den rasant wachsenden Onlinehandel in den letzten Jahren Anteile hinzu und weist hohe Wachstumsraten im Bereich Paket aus (2019: +8,3 %; 2020: +18,6 %). Die Geschäftskundenbelieferung „Business-to-Business“ (B2B) ist dagegen im Bereich Paket mit -2,8 % in 2019 und -5,2 % in 2020 leicht rückläufig (BIEK, 2021a). Das Verhältnis von B2C zu B2B entspricht damit nun insgesamt etwa 2:1 (vgl. Schwemmer, 2018).

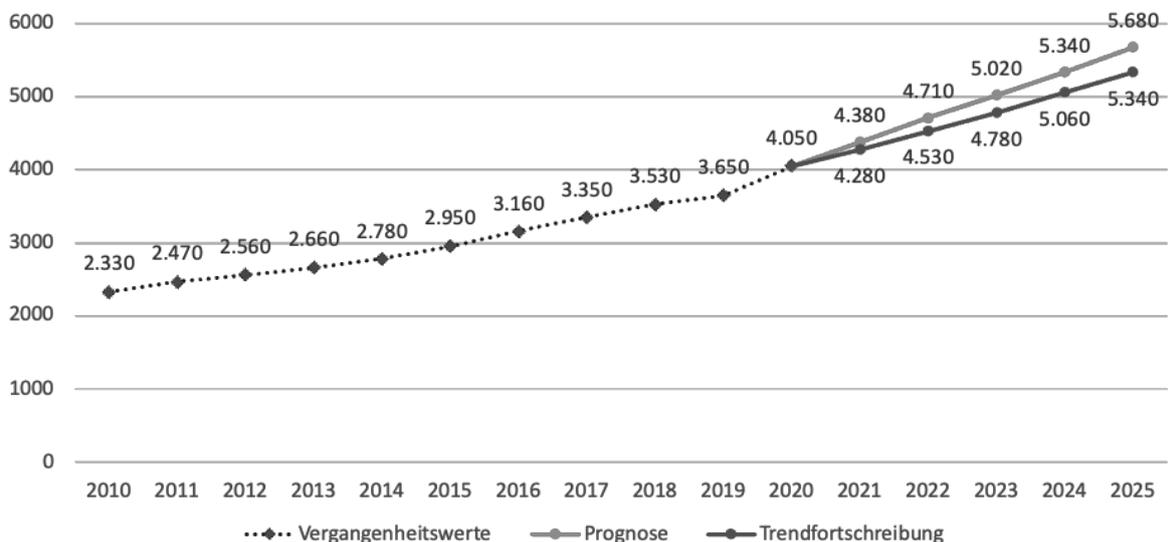


Abbildung 1.2: Prognose für die Entwicklung des KEP-Sendungsvolumens Deutschlands 2010 bis 2025 in Millionen Sendungen (in Anl. an BIEK, 2021a)

Neben steigenden Sendungsmengen sind die Anbieter von KEP-Diensten aktuell mit einer Reihe weiterer Herausforderungen konfrontiert. Am Markt herrscht ein hoher Konkurrenz- und Kostendruck, der sich durch den Markteintritt des Onlineversandhändlers Amazon in die Paketzustellung weiter verschärft hat. Im Jahr 2017 stellte Amazon bereits rund 22 Millionen Pakete (8 % der

Amazon-Sendungen) in Deutschland selbst zu, mit dem Ziel, das Zustellvolumen bis zum Jahr 2020 auf etwa 102 Millionen Pakete (25 % der Amazon-Sendungen) auszubauen (Kolf, 2018).

Trotz des hohen Kostendrucks ist es den Anbietern von KEP-Diensten bislang nicht gelungen, die anfallenden Kosten der Leistungserbringung über höhere Versandkosten an die Kunden weiter zu geben, weshalb die Durchschnittserlöse je Sendung in den letzten Jahren kontinuierlich gefallen sind (Schwemmer, 2018). Während der Durchschnittserlös für eine Sendung im Jahr 2010 noch bei 6,05 Euro lag, fiel dieser zum Jahr 2020 auf 5,81 Euro pro Paket (BIEK, 2021a). Somit besteht aktuell eine wesentliche Aufgabe der KEP-Dienstleister darin, die operativen Kosten je Sendung zu senken und die Effizienz zu erhöhen. Das größte Rationalisierungspotential bietet der Bereich des Nachlaufes auf der letzten Meile, der – verglichen mit Vor- und Hauptlauf – mehr als die Hälfte der Gesamtkosten ausmacht (Heinemann, 2021).

Aufgrund des hohen Sendungsvolumens und des damit verbundenen Anstiegs der Lieferverkehre wird die KEP-Zustellung in den Städten von der Politik und Gesellschaft zunehmend als problematisch wahrgenommen. Die Reduktion von verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen, Lärm, Flächeninanspruchnahme sowie Unfällen stellen vornehmliche Handlungsfelder der Politik dar (Kuchenbecker et al., 2021). Aufgrund der steigenden ökonomischen, ökologischen und sozialen Herausforderungen steigt der Bedarf nach innovativen Lösungen in der Stadtlogistik, auf den KEP-Anbieter unter anderem mit einer Verdichtung der Zustellpunkte auf Paketshops und -stationen sowie der Umsetzung von Mikro-Depot-Konzepten in den Städten reagieren (BIEK, 2021a). In den letzten Jahren werden zudem stetig neue Zustellkonzepte und -strategien sowie technische Innovationen in einer Reihe von Pilotprojekten unter Beteiligung von unterschiedlichen Akteuren wie Logistikdienstleistern, Städten, Gemeinden und Forschungsinstitutionen erprobt. Die Untersuchung von Jordan et al. (2020) listet beispielsweise 31 Projekte in unterschiedlichen Städten auf, in denen mindestens einer von zehn identifizierten Lösungsansätzen praktisch angewandt oder erprobt wird. Darunter finden sich auch Mikro-Depots sowie alternative Antriebs- und Fahrzeugtechnologien. Der Schlüssel für eine ressourceneffiziente und nachhaltige Stadtlogistik liegt vor allem darin, die richtige Kombination an Maßnahmen für die jeweilige Zielregion zu finden (Stütz et al., 2016). Die Erprobung von Lösungsansätzen ist in der Praxis jedoch zeit- und kostenintensiv und die Ergebnisse jeder Fallstudie sind jeweils spezifisch für den untersuchten Anwendungskontext, wie die Größe der Stadt, die Infrastruktur sowie die Netzwerkstrukturen der Logistikdienstleister (Arnold et al., 2017).

Die Pilotierung im Kleinen ist häufig ein erster Schritt in Richtung flächendeckender Lösungen, denn vor einer praktischen Evaluation fehlt in der Regel die Datenbasis, um die Wirksamkeit und Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen zu begründen und evidenzbasierte Entscheidungen zu ermöglichen (Leerkamp et al., 2020). Zur Ermittlung dieser Daten können, alternativ zu zeitintensiven und kostspieligen Modellversuchen in der Praxis, leistungsstarke Computermodelle eingesetzt werden. Mithilfe der Techniken des Operations Research erfolgt die Modellbildung, Experimentdurchführung und Auswertung als ausführbares Programm am Computer (Gutenschwager et al., 2017). Softwarebasierte Lösungen können somit bei der Entwicklung von neuartigen Konzepten und Maßnahmen unterstützen und leisten somit einen Beitrag, um

den steigenden Anforderungen von Kunden, Politik und Gesellschaft gerecht zu werden. Bevor Lösungen in der Praxis zum Einsatz kommen, lassen sich so vielversprechende Ansätze und Maßnahmen am Modell erproben und dadurch vergleichbar machen. Dies ermöglicht, die Stärken und Schwächen der Maßnahmen vorab zu evaluieren und Verbesserungsmaßnahmen für den realen Betrieb abzuleiten.

Der Einsatz von Simulation bietet für die Planung und Optimierung von logistischen Systemen eine Vielzahl von Vorteilen, denn die Quantifizierung durch eine Simulationsstudie stellt eine objektive Grundlage für die Entscheidungsfindung her, auch bei unscharfen und stochastischen Daten (Eley, 2012). Nachteile der Methode sind der hohe Zeitaufwand der manuellen Modellierung und der anschließenden Validierung und Verifizierung der Simulationsmodelle sowie die starke Abhängigkeit von der Qualität der verwendeten Daten. Das Zusammentragen und Validieren umfangreicher Eingangsdaten stellt die größte Herausforderung für Simulationsstudien in der Praxis dar (Arnold et al., 2017). Zudem ist die Modellbildung ein anspruchsvoller Prozess, der ein systematisches und sorgfältiges Vorgehen erfordert (Gutenschwager et al., 2017). An dieser Stelle setzt diese Arbeit an.

Die Neuartigkeit des hier vorgestellten Ansatzes besteht darin, eine Modellierungsmethode zu entwickeln, die Modellierung und Validierung des Modells schneller und flexibler gestaltet. Dazu wird der Modellaufbau teilweise automatisiert und auf Basis eines Datenmodells durchgeführt. Dadurch könnte der Modellierungsaufwand erheblich reduziert werden, da Änderungen in den Daten nicht mehr manuell in das Modell eingepflegt werden müssen. Zudem werden einige Planungs- und Steuerungsentscheidungen des Zustellprozesses innerhalb des Modells gelöst, was durch die Integration von problemspezifischen Lösungsverfahren in die Simulation ermöglicht wird. Dies führt zu einem geringeren Datenbedarf und kürzeren Modellierungs- und Validierungszyklen. Die Zielstellung dieser Arbeit wird im Folgenden erläutert.

Aufgrund der großen Relevanz des Themenfeldes der KEP-Zustellung und der steigenden Anforderungen an die Planung von Zustellverkehren in der Stadt verfolgt diese Arbeit die Fragestellung, wie ein geeigneter methodischer Ansatz zur Modellierung und Analyse der KEP-Zustellung gestaltet werden kann. Das Ziel dieser Untersuchung ist, eine Modellierungsmethode zu entwickeln, die in der Lage ist, wichtige Planungs- und Steuerungsentscheidungen integriert zu lösen. Der Ansatz wird darauf abgestimmt, den Datenbedarf der Modellierung erheblich zu reduzieren, sodass eine Modellbildung auch ohne vollumfängliche Betriebsdaten aus dem realen Betrieb erfolgen kann. Stattdessen werden öffentlich zugängliche externe Informationen, wie Infrastrukturdaten und Geoinformationen sowie geeignete Verfahren zur Planung und Steuerung herangezogen. Dazu werden spezifische Simulationsbausteine entwickelt, um die Transportkette der Sendungen auf der letzten Meile detailliert abbilden und den Zustellprozess der KEP-Zustellung adäquat abbilden. Dies ermöglicht die Modellierung neuer und innovativer Zustellkonzepte und -technologien, noch bevor Ist-Daten aus der Praxis vorliegen. Die Modellierungsmethode bedarf der Evaluation durch Vergleich mit dem Ist-Zustand sowie im Austausch mit Experten aus der Praxis im Rahmen einer Anwendungsstudie.

Die Untersuchungsschwerpunkte lassen sich anhand der in Abbildung 1.3 benannten Ziele zusammenfassen:

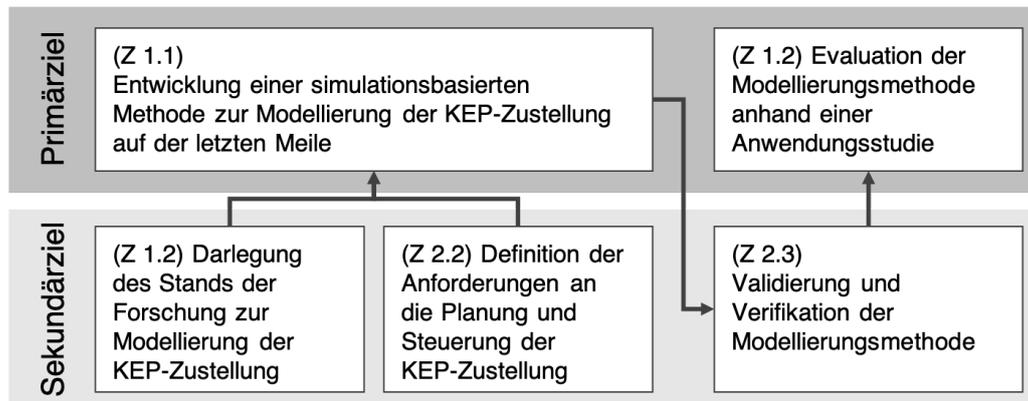


Abbildung 1.3: Ziele der Arbeit

Im Rahmen von (Z 2.1) und (Z 2.2) wird der aktuelle Stand der Forschung dargestellt. Dies stellt die Grundlage für die Entwicklung der Modellierungsmethode im Rahmen des (Z 1.1) dar. Im Rahmen des (Z 2.3) erfolgt die Anwendung der zuvor in (Z 1.1) entwickelten Methode. Im Rahmen des (Z 1.2) wird die im Rahmen des (Z 2.3) implementierten Methode anhand einer Anwendungsstudie evaluiert. Die Primärziele der Arbeit bauen in dieser Weise logisch aufeinander auf und werden durch die formulierten Sekundärziele unterstützt. Der Aufbau der Arbeit leitet sich von den genannten Zielen ab und gliedert sich wie folgt:

Den wesentlichen Grundpfeiler des methodischen Ansatzes bildet ein umfassendes Verständnis des Betrachtungsgegenstandes der KEP-Zustellung. Dies umfasst die wesentlichen Anforderungen und Ziele, welche die strategischen Entscheidungen rund um die Gestaltung der Transportnetze sowie der Transportketten zu den Endkunden umfasst. Um die spezifischen Umschlags- und Transportprozesse realitätsgetreu abzubilden, werden zudem die operativen Abläufe der Letzte-Meile-Zustellung untersucht. Dies umfasst die Darstellung der verwendeten Zustellkonzepte und -technologien sowie die Umschlags- und Transportprozesse (Kapitel 2). Diese logistischen Grundlagen bilden das Grundverständnis für die Entwicklung geeigneter Simulationsbausteine, die in der Lage sind, die dynamischen Abläufe entlang der logistischen Kette akkurat abbilden zu können (Kapitel 5).

Zunächst werden die logistischen Grundlagen dargestellt und wichtige Definitionen und Begriffe eingeführt. Anschließend wird die Planung und Steuerung der KEP-Zustellung auf der letzten Meile beschrieben. Dies dient dazu, wesentliche Entscheidungen in der Abwicklung der letzten Meile, die im täglichen Planungszyklus wiederkehrend getroffen werden, zu formalisieren und Lösungsverfahren auszuwählen, mit denen sich diese Entscheidungen treffen lassen. Im Zuge dessen werden dafür relevante Planungsprobleme sowie Lösungsmethoden vorgestellt, die sich auf die Planung und Steuerung der letzten Meile beziehen (Kapitel 3) und anschließend in die Entwicklung eines entsprechenden Steuerungsmoduls für die Lösungsmethode einfließen sollen. Um den Anforderungen Rechnung zu tragen, die sich aus den logistischen Grundlagen sowie den zu lösenden Planungs- und Steuerungsentscheidungen ableiten, wird anschließend eine geeignete

Modellierungsmethode ausgewählt. Dazu wird der aktuelle Stand der Forschung zur Modellierung der KEP-Zustellung auf der letzten Meile vergleichend dargestellt. Dabei werden relevante Forschungsergebnisse aus den Bereichen der Simulation, der mathematischen Optimierung sowie kombinierte Lösungsansätze dargelegt und Forschungslücken aufgezeigt. Auf Basis des Standes der Forschung sowie der Forschungslücke wird ein geeigneter Modellierungsansatz ausgewählt (Kapitel 4) und anschließend umgesetzt (Kapitel 5). Weiter werden die Systemarchitektur sowie die Komponenten, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt worden sind, umfassend vorgestellt sowie deren Aufbau und Funktionsweise erläutert. Darüber hinaus werden hier die implementierten Algorithmen zur Lösung der Planungs- und Steuerungsentscheidungen dokumentiert.

Anhand der entwickelten Modellierungsmethode erfolgt abschließend die Evaluation anhand einer Anwendungsstudie. Im Rahmen der praktischen Anwendung werden die Vorgehensweise bei der Modellierung, der Datenbedarf sowie die notwendigen Modellparameter dargestellt. Dies beinhaltet sowohl die Validierung und Verifizierung (V&V) des Modells als auch die Darstellung der im Rahmen der Anwendungsstudie erzielten Ergebnisse (Kapitel 6). Dies geschieht im Abgleich mit den in Kapitel 2 dargestellten Abläufen und Anforderungen an die Methode sowie der im Rahmen des Kapitel 3 aufgeführten Kennzahlen. Kapitel 7 gibt eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Arbeit sowie einen Ausblick auf weiterführende Forschungsfragen.

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich somit im Kern in zwei Hauptteile:

- Die Kapitel 2 bis 4 bilden den Grundlagenteil, der den aktuellen Stand der Forschung darlegt.
- Die Kapitel 5 und 6 bilden den Anwendungs- und Evaluationsteil, in dem der methodische Ansatz an einem konkreten Beispiel eingesetzt und validiert wird.