

Bachelorarbeit
im Bachelorstudiengang
Betriebswirtschaft
an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm

**Wie können neue Geschäftsmodelle für den Einsatz von autonomen Delivery Bots in der städtischen Heimzustellung aussehen?
Eine Untersuchung zum aktuellen Stand der Technik, offenen technischen Herausforderungen und neuen Geschäftsmodellen**

Erstkorrektor/-in: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kunze

Verfasser/-in: Hendrik Gölz (Matrikel-Nr.: 258713)

Thema erhalten: 16.05.2022

Arbeit abgegeben: 03.09.2022

LOSE BEILAGEN

1 USB-Stick

Abstract

Die vorliegende Abschlussarbeit beschäftigt sich mit autonomen Delivery Bots in der innerstädtischen Heimzustellung. Dabei soll der aktuelle Stand der Technik festgestellt, sowie mögliche Einsatzkonzepte und Problemstellungen auf technischer und organisatorischer Ebene identifiziert und diskutiert werden. Darüber hinaus soll untersucht werden, unter welchen Bedingungen sich der Einsatz autonomer Delivery Bots auf der letzten Meile als profitabel oder zumindest konkurrenzfähig gegenüber bisherigen Zustellverfahren erweisen kann. Zur Feststellung der Wirtschaftlichkeit eines solchen Einsatzes autonomer Zustellroboter wird ein Rechentool entwickelt.

Die Untersuchung des aktuellen Stands der Technik und den zugehörigen Einsatzkonzepten basiert maßgeblich auf einer Literaturrecherche, die in Erfahrung gebrachten Aspekte sollen vergleichend und bewertend aufgearbeitet werden. Das zu erstellende Rechentool soll auf Basis eines - der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung entsprechenden - Formelkonstrukts erfolgen und dabei eine möglichst hohe Variabilität aufweisen, um eine breite Anwendbarkeit sicherzustellen.

Autonome Zustellroboter können gemäß der erfolgten Literaturrecherche durchaus als ernstzunehmende Lösungsmöglichkeit, für die auf der letzten Meile entstehenden Probleme angesehen werden und bieten gegenüber der klassischen Van-Zustellung diverse Vorteile bspw. hinsichtlich Umweltverträglichkeit oder entstehenden Verkehrsproblemen. Aktuelle Problemfelder ergeben sich derzeit vor allem hinsichtlich juristischer Aspekte sowie in Bezug auf die Betreuung der Delivery Bots durch sogenannte Operatoren.

Die Ergebnisse der Profitabilitätsprüfung des Einsatzes autonomer Zustellroboter auf der letzten Meile zeigen eine starke Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit mit dem Erreichen einer möglichst hohen Auslastung der Flotte. In den überprüften Szenarien erweist sich eine Einbindung autonomer Zustellroboter in die den Gesamtverlauf einer Paketzustellung gegenüber einem ermittelten Referenzwert (für eine Standardzustellung) als nicht konkurrenzfähig.

Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine Anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe und die Überprüfung mittels Anti-Plagiatssoftware dulde

Ulm, 03.09.2022

Ort, Datum

Hendrik Gds

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis	I
Formelverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung	1
1.1 Untersuchungsgegenstand	1
1.2 Thematische Abgrenzung	3
1.3 Struktur der Arbeit.....	3
2 Grundkonzepte für den Einsatz von Delivery Bots.....	5
2.1 Terminologie.....	5
2.1.1 Autonome Delivery Bots	5
2.1.2 Urbane Gebiete und urbane Logistik	6
2.1.3 Letzte Meile	7
2.2 Die letzte Meile in der innerstädtischen Zustellung	8
2.3 Potenzialanalyse ausgewählter Last-Mile Konzepte im KEP-Sektor.....	12
2.4 Stand der Wissenschaft.....	20
2.4.1 Anwendungskonzepte für ADBs	20
2.4.1.1 [Depot-ADB-Endkunde]	20
2.4.1.2 [Depot-Van-ADB-Endkunde]	22
2.4.1.3 Ko-Infrastrukturnutzung durch ADBs	24
2.4.1.4 Straßen- vs. Trottoir-Nutzung	27
2.5 Anforderungsdefinition an Delivery Bots	27
3 Technischer Hauptteil.....	30
3.1 Stand der Technik	30
3.1.1 Methodik.....	30
3.1.2 Starship Technologies.....	31
3.1.3 Robby Technologies	33
3.1.4 efeuCampus Bruchsal	34

3.2	Vergleich der vorgestellten Modelle	35
3.2.1	Vergleich technischer Details	35
3.2.2	Anforderungsvergleich	37
3.2.3	Drones-per-Operator	40
3.2.3.1	Methodik	42
3.2.3.2	Herleitung DPO.....	43
3.2.3.3	Berechnung DPO.....	44
3.2.3.4	Kritische Diskussion	46
3.3	Technische Problemfelder und Lösungsperspektiven	46
3.3.1	Physische Infrastrukturnutzung	46
3.3.2	Lokalisierung und drahtlose Kommunikationstechnologien	47
3.3.3	Kundenauthentifizierung und Zugriff auf den Laderaum	49
3.3.4	Material-Handling.....	50
4	Betriebswirtschaftlicher Hauptteil.....	53
4.1	Terminologie.....	53
4.1.1	Geschäftsmodell.....	53
4.2	Geschäftsmodell-Konzeption	55
4.2.1	Methodik.....	55
4.2.2	Geschäftsmodell für die Verwendung von ADBs	58
4.2.2.1	Ausgangssituation	58
4.2.2.2	Kundensegmente	59
4.2.2.3	Wertangebote	59
4.2.2.4	Schlüsselaktivitäten.....	60
4.2.2.5	Kanäle.....	61
4.2.2.6	Kundenbeziehungen	62
4.2.2.7	Schlüsselressourcen.....	63
4.2.2.8	Schlüsselpartnerschaften	64
4.2.2.9	Einnahmequellen.....	64

4.2.2.10	Kostenstruktur	65
4.2.2.11	Business Model Canvas	65
4.3	Finanzplanung.....	66
4.3.1	Herleitung der Anzahl notwendiger ADBs und Mutterschiffe	66
4.3.2	Investitionsrechnung.....	70
4.3.3	Berechnung des Betriebsergebnisses	73
4.3.3.1	Methodik	75
4.3.3.2	Kostenartenrechnung.....	77
4.3.3.2.1	Materialkosten.....	77
4.3.3.2.2	Personalkosten	80
4.3.3.2.3	Dienstleistungskosten	83
4.3.3.2.4	Öffentliche Abgaben.....	83
4.3.3.2.5	Kalkulatorische Kosten.....	84
4.3.3.3	Kostenstellenrechnung	88
4.3.3.4	Kostenträgerrechnung	89
4.3.3.5	Ausweis des Betriebsergebnisses	91
4.3.4	Kritische Diskussion	91
4.3.4.1	Methodendiskussion.....	92
4.3.4.2	Ergebnisdiskussion.....	93
4.4	Feststellung der Profitabilität des Geschäftsmodells mittels Szenarioanalysen	96
4.4.1	Szenario A – Betriebsergebnis gemäß getroffenen Annahmen	96
4.4.2	Szenario B – Steigende Betriebs- und Investitionskosten der ADBs	99
4.4.3	Szenario C – Anpassung der DPO-Rate	101
4.4.4	Kritische Diskussion der Szenarioanalysen	104
5	Ausblick.....	105
6	Weiterer Forschungsbedarf	106
	Bibliography	IV
	Anhang.....	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stark vereinfachte Darstellung eines Logistiknetzwerks.....	9
Abbildung 2: Bewertung vorgestellter Konzepte hinsichtlich identifizierter Problemaspekte	18
Abbildung 3: Zustellung gemäß [Depot-ADB-Endkunde] -Konzept.....	22
Abbildung 4: Zustellung gemäß [Depot-Van-ADB-Endkunde] -Konzept.....	24
Abbildung 5: Ablauf der Notwendigkeitsprüfung einer ÖPNV- Ko-Nutzung (Notation gemäß UML 2)	25
Abbildung 6: Zustellung gemäß Ko-Infrastrukturnutzungskonzept	26
Abbildung 7: Vorgehensweise bei der Ermittlung der Größe DPO (Notation gemäß UML 2)	42
Abbildung 8: Vorgehensweise bei der Konzeption und Erstellung des Geschäftsmodells (Notation gemäß UML 2)	58
Abbildung 9: Geschäftsmodell für den Einsatz autonomer Zustellroboter in der innerstädtischen Heimzustellung dargestellt im Format des BMC.....	65
Abbildung 10: Darstellung der für Szenario A entstehenden Kosten.....	97
Abbildung 11: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario A.....	98
Abbildung 12: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario B	101
Abbildung 13: Darstellung der für Szenario C entstehenden Kosten	102
Abbildung 14: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario C	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Legende der in Kapitel 2 verwendeten Symbole und Abkürzungen	9
Tabelle 2: Übersicht über die Vor- und Nachteile vorgestellter Lösungskonzepte auf der letzten Meile.....	16
Tabelle 3: Identifizierte Anforderungen an autonome Delivery Bots und deren Betrieb.....	28
Tabelle 4: Auswahl namensnennender Publikationen aus der Literaturrecherche	31
Tabelle 5: Vergleich ADB-bezogener Details der vorgestellten Modelle	35
Tabelle 6: Anforderungsabgleich der vorgestellten ADB-Modelle mit den definierten Anforderungen an ADBs	38
Tabelle 7: Auswahl möglicher - Betreuung erfordernder - Problemsituationen.....	41
Tabelle 8: Situationsbezogene Annahmen DPO.....	44

Tabelle 9: Weitere Annahmen Berechnung DPO	45
Tabelle 10: Anforderungsdefinition an ADB-bezogene Sicherheitssysteme	49
Tabelle 11: Entstehende Fragestellungen bei der automatisierten ADB-Beladung.....	51
Tabelle 12: Dimensionen der Gestaltung und Analyse von Geschäftsmodellen gemäß Müller-Stewens und Lechner (2016)	54
Tabelle 13: Bausteine des BMC, Kernfragestellungen und mögliche Ausprägungen.....	56
Tabelle 14: Annahmen bzgl. Zustellparametern und angebotenen Servicezeiten	67
Tabelle 15: Zur Berechnung der <i>AnzADB</i> und <i>AnzVan</i> getroffene Annahmen und Berechnungen	69
Tabelle 16: Zur Herstellung der Betriebsbereitschaft notwendige Investitionen je Kategorie	70
Tabelle 17: Getroffene Annahmen und notwendige Berechnungen der Investitionsplanung .	71
Tabelle 18: Anfallende Materialkosten sowie deren Bewertungsgrundlage	77
Tabelle 19: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der ADB-Flotte (Nr. 1.1).....	78
Tabelle 20: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der Mutterschiff-Vans	79
Tabelle 21: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der Depot- und Verwaltungsflächen (Nr. 1.3)	79
Tabelle 22: Anfallende Personalkosten sowie die zugrundeliegende Bewertungsgrundlage..	80
Tabelle 23: Personalbedarfsermittlung- und Entgeltfestlegung nach Berufsbezeichnung für 2. und 3.....	81
Tabelle 24: Absolute Personalkosten nach Berufsbezeichnung	81
Tabelle 25: Anfallende Sozialkosten (Nr. 4) für Löhne und Gehälter sowie deren Bewertungsgrundlage	82
Tabelle 26: Anfallende Dienstleistungskosten und deren Bewertungsgrundlage.....	83
Tabelle 27: Anfallende kalkulatorische Kosten sowie deren Bewertungsgrundlage.....	84
Tabelle 28: Anfallende jährliche Abschreibungskosten sowie Nutzungsdauer gemäß Afa-Tabellen'	85
Tabelle 29: Tabellarische Darstellung anfallender Kosten geschlüsselt nach EK und GK....	87
Tabelle 30: Schlüsselung der Kosten in <i>kvar</i> und <i>Kfix</i> sowie Höhe der Ansetzung dieser ..	88
Tabelle 31: Darstellung des UKV-Schemas in der Teilkostenrechnung	91
Tabelle 32: ADB- und Mutterschiff-Van Flottengrößen für Szenario A.....	96
Tabelle 33: Investitionsbeträge für Szenario A	97
Tabelle 34: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario A.....	97
Tabelle 35: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario A	97
Tabelle 36: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario A	99

Tabelle 37: Sich gegenüber Szenario A in Szenario B verändernde Parameter	99
Tabelle 38: Investitionsbeträge für Szenario B.....	100
Tabelle 39: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario B.....	100
Tabelle 40: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario B	100
Tabelle 41: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario B	101
Tabelle 42: Sich gegenüber Szenario A in Szenario C verändernde Parameter	102
Tabelle 43: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario C.....	102
Tabelle 44: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario C	103
Tabelle 45: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario C	104

Formelverzeichnis

Formel 1: Anzahl notwendiger Operator-Eingriffe je Stunde	43
Formel 2: Dauer aller Operator-Eingriffe je Bot je Stunde	43
Formel 3: Drones-per-Operator	43
Formel 4: Gesamtzeit einer Remote-Betreuung durch einen Operator	44
Formel 5: Fahrzeit im Remote-Modus.....	45
Formel 6: Anzahl potenzieller Kunden.....	67
Formel 7: Zustellungen je ADB je Stunde.....	67
Formel 8: Zustellungen je Mutterschiff-Van je Stunde	68
Formel 9: Zustellungen je Mutterschiff-Van je Arbeitstag.....	68
Formel 10: Zustellungen je ADB je Arbeitstag	68
Formel 11: Anzahl benötigter Mutterschiff-Vans.....	69
Formel 12: Anzahl benötigter ADBs	69
Formel 13: Angebotspreis P.....	74
Formel 14: Energieverbrauch der ADB-Flotte (Nr. 1.1)	78
Formel 15: Energieverbrauch der Mutterschiff-Vans (Nr. 1.29)	78
Formel 16: Energieverbrauch der Depot- und Verwaltungsflächen (Nr. 1.3).....	79
Formel 17: Energiekosten für Depot- und Verwaltungsflächen	80
Formel 18: Personalkosten Van-Fahrer	82
Formel 19: Gesamtheit der anfallenden Gehälter (<i>PKGehalt</i>)	82
Formel 20: Gesamtheit der anfallenden Personalkosten (<i>PKges</i>)	82
Formel 21: Anfallender Sozialkostenanteil in Prozent	83
Formel 22: Gesamtheit der anfallenden Sozialkosten	83
Formel 23: Gesamtheit anfallender Dienstleistungskosten.....	83

Formel 24: Berechnungsvorschrift des linearen Abschreibungsverfahrens	85
Formel 25: Insgesamt anfallender jährlicher Abschreibungsbetrag (K_{Ages})	87
Formel 26: Anfallende Gesamtfixkosten (K_{fixGes})	89
Formel 27: Anfallende variable Kosten je Kostenträger (k_{var})	89
Formel 28: Berechnung des Nettoergebnisses	89
Formel 29: Absatzpreis P mit absoluten Brutto-Deckungsbeiträgen	90
Formel 30: Angepasster Deckungsbeitrag	90
Formel 31: Zur Ermittlung des Gesamtabsatzpreises weiterzugebenden Kosten	95
Formel 32: Finaler Absatzpreis (3-Phasen)	96
Formel 33: Kritische Menge (x_{krit})	98

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ADB	Autonomer Delivery Bot
API	Application Programming Interface
BAB	Betriebsabrechnungsbogen
BBP	Break-Bulk-Point
BMC	Business Model Canvas
DIN	Deutsches Institut für Normung
DPO	Drones-per-Operator
EK	Einzelkosten
GK	Gemeinkosten
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global Positioning System
KEP	Kurier-, Express-, und Paketdienstleister
KFZ	Kraftfahrzeug
LED	Lumineszenz-Diode
LKW	Lastrkraftwagen
MFA	Mehrgliedriges Authentifizierungsverfahren
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RADR	Road Autonomous Delivery Robots
RFID	Radio-Frequency Identification

SADR	Sidewalk Autonomous Delivery Robots
StVO	Straßenverkehrsordnung
TSP	Travelling Salesman Problem
UAV	Unmanned Autonomous Vehicle
UKV	Umsatzkostenverfahren
UML	Unified Modeling Language
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Einleitung

Seit geraumer Zeit versuchen Experten aus Wissenschaft und Politik für die teils chaotischen Zustände bei der Zustellung in Stadtgebieten Lösungen zu finden. Die unter anderem durch fortschreitende Urbanisierung und steigende Paketzahlen induzierten Probleme auf der sogenannten letzten Meile bringen diverse Lösungskonzepte hervor, die in ihrer Konzeption und Planungstiefe teils sehr unterschiedlich erscheinen. Die Medien erobern dabei vor allem die sogenannten Delivery Bots; kleine Lieferroboter die Zustellungen verschiedener Art durchführen können und dabei möglichst selbstständig und Menschen-unabhängig agieren. Was vor einiger Zeit noch nach Science-Fiction klang, erscheint durch die technischen Fortschritte der letzten Jahre in den Bereichen des autonomen Fahrens und künstlicher Intelligenz plötzlich in greifbarer Zukunft realistisch. Autonome Technologien, welche in der Intralogistik bereits mannigfaltig zum Einsatz kommen, werden bereits als Gamechanger auf der letzten Meile gehandelt. Eine derart einseitige, sich rein auf den Innovationsgedanken und die technische Schönheit der vermeintlichen Lösung konzentrierende Betrachtung reicht bei der Beurteilung des Konzeptes allerdings nicht aus. Abseits der grundsätzlichen Idee einer fahrerlosen Zustellung durch einen Roboter bedarf es einer Planung technischer Details, des Einsatzkonzeptes sowie den dazu notwendigen Rahmenbedingungen. Die vorliegende Abschlussarbeit wirft einen Blick darauf, was genau die autonomen Delivery Bots sind und wie sie zum Einsatz kommen sollen. Dabei sollen auch auftretende Probleme im Kontext der Zustellroboter unter die Lupe genommen werden sowie betriebswirtschaftliche Aspekte der Zustellung durch autonome Lieferroboter aufgearbeitet werden. Diese Abschlussarbeit ermöglicht einen umfassenden Einblick in das Themenfeld der Delivery Bots in Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten, Technik und die Wirtschaftlichkeit eines flächendeckenden Einsatzes ebendieser Roboter.

1.1 Untersuchungsgegenstand

Die in dieser Abhandlung versuchsweise zu lösende Problemstellung kann wie folgt formuliert werden:

„Wie können neue Geschäftsmodelle für den Einsatz von autonomen Delivery Bots in der städtischen Heimzustellung aussehen? – Eine Untersuchung zum aktuellen Stand der Technik, offenen technischen Herausforderungen und neuen Geschäftsmodellen“

Wie bereits in der Problemdefinition beschrieben, widmet sich die vorliegende Abhandlung der Betrachtung einer Paketzustellungsleistung durch autonome Zustellroboter in der innerstädtischen Heimzustellung. Dabei sollen einerseits die Einsatzmöglichkeiten sowie technische Details verschiedener Robotermodelle beleuchtet werden. Über die rein technischen Details hinaus sollen auch existierende Problemfelder sowie eventuelle existierende Lösungsperspektiven dargestellt werden. Neben der technischen Betrachtung sollen auch betriebswirtschaftliche Hintergründe und Aspekte einer Betrachtung unterzogen werden. Dabei soll der Blick auf die Konzeption eines Geschäftsmodells zum Einsatz autonomer Delivery Bots gerichtet werden, sowie eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit dessen ermöglicht werden.

Die Natur der vorliegenden Problemstellung empfiehlt eine Gliederung dieser Arbeit in einen konzeptionellen, technischen und betriebswirtschaftlichen Teilbereich und den daraus entstehenden Forschungsfragen:

- Welche Probleme entstehen auf der letzten Meile der Zustellung und welche Lösungsperspektiven versprechen welche Abhilfe?
- Wie ist der aktuelle Stand der Technik bei autonomen Zustellrobotern?
- Welche technischen Problemfelder existieren und welche Lösungsperspektiven bestehen für ebendiese?
- Wie kann ein Geschäftsmodell für den Einsatz autonomer Delivery Bots auf der letzten Meile aussehen?
- Wie kann ein Rechentool zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit eines solchen Geschäftsmodells aussehen?
- Unter welchen Bedingungen kann der Einsatz autonomer Zustellroboter auf der letzten Meile profitabel sein?

Die entsprechenden Forschungsfragen sollen im Laufe der Arbeit in den verschiedenen Kapiteln beantwortet werden. Darüber hinaus kann die Erstellung einer, den Maßstäben der Wissenschaftlichkeit nach *Karl Popper* entsprechenden Abhandlung als übergeordnetes Ziel definiert werden. Für diese Thesis bedeutet das, dass sich die verschiedenen Teilbereiche der Abhandlung gemäß des, in seinem 1996 erschienen Werk „Alles Leben ist Problemlösen“, dreistufigen Schemas gestalten. Dabei sollen die behandelten und verfassten Inhalte als Lösungsversuche (zweite Stufe) der Problemdefinition und den Forschungsfragen (erste

Stufe: „Das Problem“) betrachtet und in Anlehnung an die dritte Stufe des Popper'schen Schemas, der „Elimination“, einer kritischen Reflexion unterzogen werden.¹

1.2 Thematische Abgrenzung

Wie bereits in der Problemdefinition formuliert, beschäftigt sich diese Abhandlung mit autonom agierenden Delivery Bots (ADB). Sie beschränkt sich dabei auf die Betrachtung boden-basierter Technologien - Air-Drones, die ähnliche Aufgaben über den Luftweg erfüllen könnten, werden explizit nicht betrachtet. Zwar ließe sich auch für Air-Drones ein Geschäftsmodell in gleicher Herangehensweise erstellen, jedoch unterliegen diese gänzlich anderen technischen Voraussetzungen.

Darüber hinaus fokussiert sich die Arbeit auf die städtische Heimzustellung. Das bedeutet, dass sowohl die technischen Grundlagen als auch die betriebswirtschaftlichen Aspekte auf die Verwendung in urbanen Gebieten hin untersucht werden. Eine Nutzung solcher Delivery Bots in ruralen Gebieten erscheint aufgrund fehlender Infrastruktur und großer Distanzen wenig sinnvoll, weswegen von einer Betrachtung in dieser Arbeit abgesehen wird. Städtische Heimzustellung bedeutet im Kontext dieser Arbeit außerdem, dass es sich um Zustellungen im B2C-Bereich handelt, Lieferungen also direkt an den Kunden oder Konsumenten zugestellt werden, was Lieferungen kleinerer bis mittlerer Größe impliziert. Industriegüter werden hier nicht berücksichtigt.

1.3 Struktur der Arbeit

Auf die Einleitung folgend, sollen im zweiten, konzeptionellen Teil der Arbeit die aktuellen Umstände in der städtischen Heimzustellung geschildert, sowie untersucht werden, inwiefern Delivery Bots eine Lösungsalternative für eventuell auftretende Problemsituationen darstellen könnten. Ziel dieses zweiten Abschnittes ist es, dem Leser Grundkonzepte und Anforderungen für den Einsatz autonomer Delivery Bots vorzustellen.

Im dritten Kapitel soll der aktuelle Stand der Technik im Bereich der autonom agierenden Delivery Bots und den dazugehörigen Konzepten untersucht werden. Dabei soll möglichst facettenreich auf Fragen der Technik, der Nutzung und der Umsetzbarkeit solcher Konzepte eingegangen werden. Darüber hinaus sollen auftretende technische Probleme sowie ungelöste Fragestellungen im Kontext der Delivery Bots unter die Lupe genommen und eventuell existierende Lösungsperspektiven beleuchtet werden. Ziel des technischen Hauptteils ist es,

¹ vgl. Popper 1996, S. 16ff

dem Leser ein möglichst umfassendes, aber dennoch aussagekräftiges Bild des aktuellen Stands der Technik von Delivery Bots darzulegen.

Der vierte Teil der Abhandlung widmet sich den betriebswirtschaftlichen Aspekten der Problemdefinition. Dieser dient dem Ziel, ein tragbares, sprich finanziell lohnendes, Geschäftsmodell für den Betrieb von Delivery Bots zu entwickeln. Dieses wird aus der Perspektive eines bereits existierenden Paketzustelldienstes entwickelt und beschränkt sich dabei auf die Bedienung urbaner Gebiete. Zu diesem Business-Modell soll ein Rechentool entwickelt werden, das sowohl eine Investitions- als auch eine Kosten- und Erlösrechnung inkludiert. Darüber hinaus soll das entworfene Geschäftsmodell mittels mehrerer Szenarioanalysen einer Profitabilitätsprüfung unterzogen werden. Dadurch sollen die in den vorausgegangenen Teilen untersuchten Aspekte unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten aufgearbeitet, sowie in einem Rechentool zum Ausdruck gebracht werden.

2 Grundkonzepte für den Einsatz von Delivery Bots

In diesem Kapitel der Abhandlung werden, die in Kapitel 2.1 näher betrachteten Termini der urbanen Logistik und der letzten Meile in Verbindung zueinander gebracht, sowie Problemstellungen in diesem Kontext identifiziert. Dabei sollen die Hintergründe beleuchtet werden, aus denen diese Probleme resultieren und inwiefern ADBs eine mögliche Abhilfe bei der Bewältigung eben jener Probleme darstellen können. Diesbezüglich werden verschiedene Konzepte für den Einsatz von ADBs auf der letzten Meile vorgestellt sowie Anforderungen definiert, die ADBs erfüllen müssten, um als effiziente Lösungsalternative zu bisherigen Zustellkonzepten angesehen werden zu können. Dadurch wird eine Grundlage für eine genauere technische Betrachtung sowie einen späteren Vergleich verschiedener ADBs geschaffen.

2.1 Terminologie

Dieses Kapitel dient dem Zweck, die im weiteren Verlauf verwendeten Termini genauer zu definieren und so eine Klarheit in der Verwendung von Begriffen herzustellen. Dabei soll insbesondere auf die Problemstellung zurückgegriffen werden.

2.1.1 Autonome Delivery Bots

Das Hauptaugenmerk der Problembetrachtung dieser Schrift stellen die autonomen Delivery Bots dar. Vorerst soll eine allgemeine Begriffsdefinition geschaffen werden, um grundlegende Aspekte in Bezug auf autonom agierende Delivery Bots beleuchten zu können. Dabei bedarf es neben der Beschäftigung mit Delivery Bots an sich auch einer Auseinandersetzung mit dem Wort „autonom“.

Der Begriff „Delivery Bot“ – von englisch „robot“, Roboter – definiert Delivery Bots als Roboter, die Aufgaben im Bereich der Lieferung oder Zustellung übernehmen.² Als Roboter werden gemäß der Brockhaus Enzyklopädie automatische Maschinen bezeichnet, die „[...] von Menschen ausgeführte Tätigkeiten ganz oder teilweise [...]“ übernehmen.³ Delivery Bots, sind also Roboter, die Paket- und Güterzustellungen übernehmen sollen, ohne dass dabei ein Mensch, etwa ein Paketzusteller, beteiligt ist.⁴ Dabei sind sie in der Lage, unter Zuhilfenahme sogenannter Aktoren ohne externe Unterstützung und aus eigener Kraft ihre eigene Position in

² vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 27 f

³ Brockhaus 2022a

⁴ vgl. Figliozzi/Jennings 2020a, S. 22

einem ihnen zugewiesenen Umfeld zu verändern und dadurch ein ihnen gesetztes Ziel zu erreichen. Mögliche Einschränkungen in der Bewegungsfreiheit bzw. Mobilität der Delivery Bots bestehen folglich durch technische Eigenschaften des Roboters – etwa der Akkuladung - oder durch das Umfeld selbst.⁵

Der Begriff der Autonomie findet im Zusammenhang mit moderner Mobilität häufig schwammige Verwendung. Ein Roboter kann dann als autonom bezeichnet werden, wenn er in der Lage ist, sich einerseits in dem ihm bietenden Umfeld ohne fremde Hilfe oder Unterstützung selbstständig orientieren und andererseits eigenständig Entscheidungen über den Einsatz seiner Funktionen treffen kann. Die Art und Weise, auf die der Roboter seine Entscheidungen trifft, folgt den Gesetzen und Regeln der Software, die ihm zugrunde liegt. Darüber hinaus bedeutet autonom nicht gleich autonom. Bei der Charakterisierung einer Maschine oder eines Roboters als autonom werden verschiedene Abstufungen verwendet - die sogenannten Grade der Autonomie – die das Maß der Eigenständigkeit eines Roboters zum Ausdruck bringen.⁶ Welcher Grad an Autonomie für einen Roboter notwendig ist, leitet sich primär aus den zu erfüllenden Aufgaben ab und kann von Modell zu Modell variieren.⁷ Eine Definition von Anforderungen, die an einen Delivery Bot gestellt werden, auch in Bezug auf dessen Autonomie, finden sich in Kapitel 2.5. Zusammenfassend kann ein autonomer Delivery Bot als autonomer, mobiler Roboter definiert werden, der Aufgaben im Bereich des Transports insbesondere bei der Lieferung und Zustellung von Gütern übernehmen soll.

2.1.2 Urbane Gebiete und urbane Logistik

Vorliegende Abschlussarbeit konzentriert sich auf die Anwendung neuartiger Delivery Bots in urbanen Räumen. Als urbanen Raum – dem lateinischen Wort „urbanus“ entspringend, zu „urbs“ (Stadt) – werden solche Gebiete bezeichnet, die die wesentlichen Charakteristika einer Stadt aufweisen. Gemäß der Brockhaus-Enzyklopädie zählen dazu etwa die Größe (gemessen an der absoluten Einwohnerzahl), eine höhere Bebauungsdichte gegenüber ländlichen Gebieten sowie eine hohe Wohn- und Arbeitsstätdichte.⁸ Neben bereits genannten, sich auf die Verdichtung des Siedlungsraums beziehenden Kriterien, spielen auch historische und sozio-kulturelle Faktoren, wie beispielsweise eine Bildung von Wohnvierteln entsprechend der Einkommensklassen oder Ethnien eine Rolle bei der Charakterisierung einer Stadt als

⁵ vgl. Maier 2019, S. 27

⁶ vgl. U.S. Department of Transportation 2022

⁷ vgl. Maier 2019, S. 50 f

⁸ Brockhaus 2022b

solche.⁹ Ab wann eine Siedlung zur Stadt wird, wird in verschiedenen Ländern und Institutionen unterschiedlich gehandhabt. In der Bundesrepublik Deutschland werden die Raumabgrenzungen durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, entsprechend der „... Funktion und [...] Bedeutung der Städte mit Blick auf ihre Größe“ definiert; zur Bemessung der Größe wird die Einwohnerzahl herangezogen.¹⁰ Die Relevanz einer solchen Differenzierung für diese Arbeit begründet sich in der Skalierbarkeit und Umsetzbarkeit, des im späteren Verlauf der Abhandlung zu erstellenden Geschäftsmodells. Um die Möglichkeiten der Delivery Bots in der städtischen Heimzustellung zu untersuchen, spielen die Einwohnerzahl - und damit mittelbar zusammenhängende Anzahl der eventuell zu beliefernden Senken – eine wichtige Rolle. Je mehr Lieferungen an verschiedene Abnehmer durch Paketliefersdienste zugestellt werden müssen, desto größer wird der entstehende Aufwand im Bereich der Last-Mile-Logistik, deren genauere Betrachtung im nächsten Unterpunkt erfolgt.

2.1.3 Letzte Meile

Für die letzte Meile findet sich in der einschlägigen betriebswirtschaftlichen Literatur keine eindeutige Definition. Zunächst muss festgehalten werden, dass der Ausdruck metaphorischen Charakter aufweist, da die letzte Meile nicht bezeichnend für eine präzise Entfernungsangabe ist, sondern für einen speziellen Abschnitt distributionslogistischer Aktivitäten steht.¹¹ Allgemein kann statiert werden, dass es sich bei der letzten Meile um den Abschnitt der Lieferkette handelt, der den Abhol- und Lieferverkehr in Endkundennähe beinhaltet.¹² Sie bezeichnet die Distanz zwischen einem Umschlagspunkt (Break-Bulk-Point (BBP)), an dem Transportlose geteilt werden und dem Empfänger des zuzustellenden Objektes. Der Begriff findet vor allem im Kontext von Kurier-, Express- und Paketdienstleistern (KEP) Verwendung, da diese besonders viele Endkunden auf der letzten Meile bedienen. Verglichen mit den übrigen Teilen der Lieferkette stellt sich die letzte Meile als besonders kostenintensiv heraus. Dies resultiert aus den geringen Zustellmengen pro Stopp des Liefervehikels (und damit einer reduzierten Produktivität), der zwingenden Bereitstellung eines Retourenservices (im Falle einer nicht erfolgten Zustellung) und anderen Service Level Agreements.^{13,14} Eine

⁹ vgl. Lee/Möller 2020, S. 135 f

¹⁰ Bundesamt für Bau- 2022

¹¹ vgl. Bräbänder 2020, S. 6f

¹² vgl. Schulte 2017, S. 322

¹³ vgl. Bräbänder 2020, S. 23

genauere Betrachtung der auf der letzten Meile entstehenden Probleme erfolgt in Kapitel 2.2. Zu den Lösungsansätzen für die hohen Kosten im Bereich der letzten Meile, werden neben Paketzustellboxen sowie personalisierten Übergabestellen auch Delivery Bots- und Air Drones gezählt.¹⁵

2.2 Die letzte Meile in der innerstädtischen Zustellung

Die in dieser Abhandlung betrachtete Zustelleistung von Paketen und Lieferungen an Haushalte oder Endkunden wird von KEP-Dienstleistern erbracht. Diese greifen dabei auf ein unternehmenseigenes Netzwerk zurück, ein sogenanntes Logistiknetzwerk. Ein Logistiknetzwerk kann als Durchflusssystem betrachtet werden, das verschiedene Knotenpunkte über sogenannte Kanten miteinander verbindet. Hauptaufgabe eines Logistiksystems ist es demnach, eine Quelle (Q) direkt, oder über zwischengeschaltete Knoten bedarfs- und termingerech mit einer oder mehreren Senken (S) zu verbinden. Als Quelle bezeichnet man dabei den Ursprung des zu transportierenden Objektes (in diesem Fall kann damit beispielsweise ein KEP-eigenes Zwischenlager betrachtet werden), wohingegen die Senke durch den Abnehmer des Transportobjekts repräsentiert wird. Zwischengeschaltete Knotenpunkte können Umschlagsplätze, Depots oder Cross-Docking-Stationen darstellen. Besagte Knotenpunkte werden durch Kanten (Pfeile) miteinander verbunden, die Verkehrs- oder Informationswege darstellen und dabei sowohl als Zeit, geographische Distanz oder Information bemessen werden können.¹⁶

¹⁴ vgl. Hausladen 2011, S. 178

¹⁵ vgl. Schulte 2017, S. 324f

¹⁶ vgl. Bretzke 2015, S. 102 f

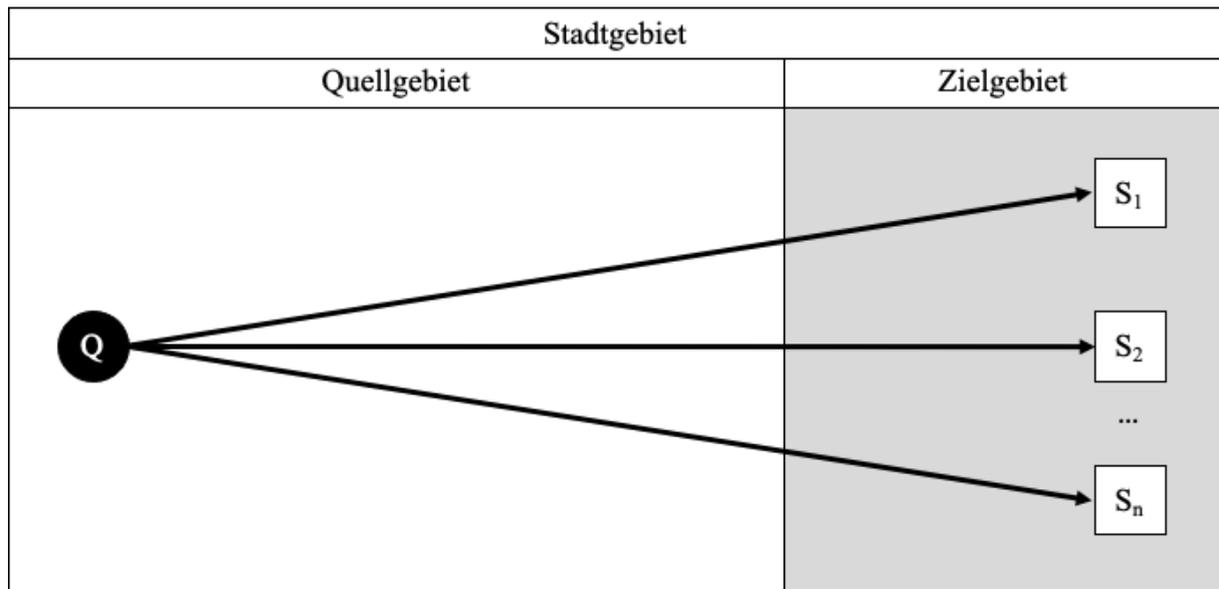


Abbildung 1: Stark vereinfachte Darstellung eines Logistiknetzwerks (Eigene Darstellung)

Eine Legende der in den Abbildung 1, Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 6 verwendeten Symbole und Abkürzungen findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Legende der in Kapitel 2 verwendeten Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Abkürzung	Bemerkung
	Quelle	Q	/
	Senke	S_1, S_2, \dots, S_n	n = Anzahl der zu bedienenden Senken
	Umschlagspunkt	U_1, U_2, \dots, U_m	m = Anzahl aufeinander folgender Umschlagspunkte
	Fahrtweg	/	Zurückzulegende Strecke
	ADB	/	/
	Van	/	/

¹⁷ Dooder 2022

	Öffentliches Transportmittel	/	/
---	---------------------------------	---	---

Eine ausführliche Definition eines Logistiknetzwerks ist deshalb vonnöten, weil der Betrachtungshorizont dieser Arbeit einen Fokus auf Dienstleisternetze in urbanen Gebieten legt, die sich wesentlich von industriellen Logistiknetzwerken unterscheiden und deshalb eine differenzierte Betrachtung erfordern. In der Regel besitzen Industrie- und größere Unternehmen ein eigenes Distributionssystem, das für Externe (Haushalte, Privatpersonen und Unternehmensfremde) unzugänglich ist und als geschlossen bezeichnet werden kann. KEP-Dienstleister hingegen nutzen offene Netze (Dienstleisternetze), die für Endkunden und Haushalte nutzbar sind.¹⁸ Der für diese Abhandlung relevante und wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Formen logistischer Netzwerke liegt in der Marktorientierung der Systeme. Offene Systeme bewegen sich auf dem freien Markt, sind dementsprechend wettbewerbsgetrieben und gewinnorientiert.¹⁹ Hauptausrichtung dieser KEP-Systeme ist also nicht nur die termin- und bedarfsgerechte Zustellung, sondern vor allem auch die Wirtschaftlichkeit der Versorgung der Endkunden und Haushalte mit Waren und Gütern, um Gewinne erwirtschaften zu können.

Urbane Gebiete stellen für KEP-Dienstleister insofern ein besonderes Logistiknetzwerk dar, als dass die Anzahl der Senken sehr hoch ausfallen kann (u.a. abhängig von der Größe der Stadt) und die städtische Verkehrsinfrastruktur wesentlichen Einfluss auf die Kanten des Logistiknetzwerks (und damit auf die entstehenden Kosten) hat. Dabei kann sich das Infrastrukturnetz einer Stadt sowohl förderlich als auch hindernd auf distributionslogistische Aktivitäten auswirken und bildet dabei eine wesentliche Rahmenbedingung für Logistiknetzwerke und deren Wirtschaftlichkeit.²⁰

Innerhalb eines Logistiksystems kann ein Transport von einer beliebigen Anzahl an Quellen zu einer beliebigen Anzahl an Senken, typischerweise in drei Phasen gegliedert werden: Den Vorlauf (Abholung beim Versender oder Lieferung durch Versender an Konsolidierungspunkt), den Hauptlauf (Überwindung räumlicher Distanz zwischen Quell- und Zielgebiet) sowie den Nachlauf (vgl. letzte Meile, Zustellung beim Empfänger). Betrachtet man die Kostenstruktur der KEP-Dienstleister über einen einzelnen Transport

¹⁸ vgl. Dabidian/Langkau 2013, S. 147 f

¹⁹ vgl. Bretzke 2015, S. 357

²⁰ vgl. Bretzke 2015, S. 104

hinweg, so fällt auf, dass der Nachlauf, also die letzte Meile, für einen großen Anteil der Gesamtkosten verantwortlich ist.

Die letzte Meile ist deshalb so besonders teuer, weil sie in den meisten Fällen von einer Vielzahl an Ineffizienzen geprägt ist, die oftmals in direktem Zusammenhang zu den Charakteristiken einer Stadt stehen.²¹ Dazu zählen sowohl strukturelle als auch übergabespezifische Aspekte: Bei der Betrachtung der Transportkostenstruktur über Vor-, Haupt- und Nachlauf hinweg, gestaltet sich der Vor- und Hauptlauf als weniger teuer als die letzte Meile, weil eine große Anzahl an Paketen (gebündelt in einem Los) über eine große Distanz transportiert wird. Im Nachlauf des Transports hingegen, nachdem das Los gebrochen wurde, werden besonders viele Stopps – und damit Zeit und Ressourcen - benötigt um die Güter an die verschiedenen Endkunden zustellen zu können.²² Wenn die Gesamtkosten des Transports also in Bezug zur zu transportierenden Distanz gesetzt werden, stellen sich die letzten Kilometer vor der Zustellung als besonders kostspielig heraus, obwohl diese einen eher geringen Beitrag zur eigentlichen Distanzüberwindung darstellen.²³ Dadurch entfallen etwa 50-75% der Transportkosten einer Sendung der KEP-Dienstleister auf die letzte Meile.²⁴ Die Faktoren, die die Kostenprobleme auf der letzten Meile befeuern sind vielfältig:

Mit der Entwicklung des E-Commerce und der dadurch induzierten Veränderung des Kaufverhaltens der Menschen in den letzten Jahren, verändert sich auch das Sendungsvolumen und damit die Zahl der durch KEP-Dienstleister auszuliefernden Pakete.²⁵ Neben dem Wachstum der Sendungszahlen stellt auch die Atomarisierung der Sendungen eine Herausforderung dar - die Sendungen werden immer kleiner, die auf eine Sendung entfallenden Transportkosten steigen.²⁶ Dazu kommen häufig Probleme bei der Übergabe der Sendung durch den Paketzusteller, etwa durch Abwesenheit des Adressaten, sodass das Paket wieder in das Zustellfahrzeug verladen und in einem zweiten Versuch zugestellt werden muss, wodurch zusätzliche Kosten verursacht werden. Eine Entwicklung in diese Richtung liegt unter anderem der zunehmenden Berufstätigkeit innerhalb der Familien sowie einer grundsätzlich erhöhten Mobilität der Menschen zugrunde.²⁷ Auch infrastrukturelle und verkehrsbezogene Aspekte bilden Hindernisse auf der letzten Meile: In urbanen Gebieten

²¹ vgl. Jaller/Otero-Palencia/Pahwa 2020, S. 14

²² vgl. Bräbänder 2020, S. 23 ff

²³ vgl. Bretzke 2015, S. 370

²⁴ vgl. Zsifkovits 2013, S. 198 f

²⁵ vgl. Vahrenkamp/Kotzab 2017, S. 128 f

²⁶ vgl. Bräbänder 2020, S. 26

²⁷ vgl. Zsifkovits 2013, S. 199

gestaltet sich die Parkplatz- oder Halteplatzsuche oftmals schwierig, was zur Folge haben kann, dass der Zusteller weite Strecken zu Fuß zurücklegen muss. Darüber hinaus können Straßenbedingungen, Verkehrsregulierungen sowie Staus und Zeitfenster die Zustellung behindern und den eigentlichen Zeit- und Kostenaufwand um ein vielfaches steigern.^{28,29} Steigende Erwartungen der Kunden, die sich an Expressversand sowie Next- und Same-day-Delivery gewöhnt haben, erhöhen zusätzlich den Zeitdruck durch Deadlines; dieser Effekt wird zu bestimmten Jahreszeiten, etwa am sogenannten Black Friday oder in der Vorweihnachtszeit, noch einmal verstärkt.³⁰ Doch nicht nur in Bezug auf die Liefergeschwindigkeit, sondern auch bei der Nachhaltigkeit der Zustellung haben sich die Anforderungen verändert. Die vielen Zustellfahrzeuge in den Städten belasten die Umwelt und die Gesundheit der Menschen durch Lärm- und Abgasemissionen. Ein steigendes Umwelt- und Klimabewusstsein sowohl auf Seiten der Abnehmer als auch seitens der Politik drängen KEP-Dienstleister, ihre Zustellfahrten möglichst umweltfreundlich und emissionsfrei umzugestalten. Dazu zählt etwa der Umstieg auf Verkehrsträger nachhaltiger Antriebsarten sowie die Messung des Transport Carbon Footprint.³¹ Einhergehend mit den steigenden Sendungszahlen geht die Nachfrage nach Mitarbeitern, die ebendiese zustellen. Die durch geringe Margen pro Paket gering ausfallenden Löhne stehen selten in einem gerechtfertigten Verhältnis, zu dem wie vielmals in den Medien zitierten, stressigen und physisch anspruchsvollen Arbeitsalltag der Paketzusteller.^{32,33} Qualifizierte und motivierte Arbeitskräfte für diese Tätigkeiten zu rekrutieren gestaltet sich aufgrund ebendieser Faktoren für KEP-Dienstleister zunehmend schwieriger.³⁴

2.3 Potenzialanalyse ausgewählter Last-Mile Konzepte im KEP-Sektor

Im vorherigen Kapitel wurden mehrere problematische Elemente der Last-Mile-Zustellung herausgearbeitet. Dabei wurde die Kostenproblematik der letzten Meile unter anderem auf folgende Faktoren zurückgeführt:

²⁸ vgl. Bräbänder 2020, S. 25

²⁹ vgl. Schulte 2017, S. 382 f

³⁰ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 2 f

³¹ vgl. Geiger/Diekmann 2013, S. 28 f

³² vgl. Peterson 2018

³³ vgl. Vahrenkamp/Kotzab 2017, S. 132 f

³⁴ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 3

1. Steigendes Sendungsvolumen und Atomarisierung
2. Stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrsprobleme
3. Übergabebezogene Zustellprobleme
4. Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit
5. Verfügbarkeit von Humanressourcen
6. Kosten von Humanressourcen

Zur Lösung der durch die Bedienung der letzten Meile induzierten Probleme werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur verschiedene Konzepte diskutiert und in der Praxis bereits getestet oder eingesetzt. Eine Auswahl soll im Folgenden vorgestellt werden.

Der Self-Service-Ansatz beruht auf der Entkopplung der Zustellung und der Annahme der Lieferung durch den Adressaten mittels zwischengeschalteter Elemente wie Paketannahmestellen, Packstationen oder neuartigen Tower-Konzepten.³⁵ Die drei erwähnten Elemente vereint der Vorteil, dass entweder keine Zweit- oder ggf. nicht einmal eine Erstzustellung vorgenommen werden muss, wenn dem Logistikdienstleister im Voraus mitgeteilt wird, wo der Kunde das Paket abholen möchte. Mittels der Nutzung solcher konsolidierender Zustellpunkte kann die Zustellquote, durch eine Verschiebung des Zustellortes und -zeitpunkts, erhöht und Touren besser geplant werden.³⁶ Zusätzlich wird der Lieferverkehr in innerstädtischen Gebieten reduziert, dadurch können neben Zeit und Kosten auch Emissionen eingespart werden.³⁷

Wie bereits dargelegt, spielt auch die ökologische Nachhaltigkeit eine große Rolle auf der letzten Meile. Um klassische Zustellverfahren (Van-Zustellung) umweltfreundlicher und emissionsärmer zu gestalten, bestehen verschiedene, überwiegend technische Möglichkeiten. Dazu zählen etwa die Anwendung aerodynamischer Elemente, eine Modifizierung des Fahrzeuggetriebes sowie die Nutzung einer Start-Stopp-Automatik, um eine Reduktion des Kraftstoffverbrauches zu erwirken. Das wesentliche Entscheidungskriterium über die Realisierung solcher Fahrzeugmodifizierungen stellt die Wirtschaftlichkeit dieser dar, welche in unmittelbarem Zusammenhang mit den Kraftstoffpreisen steht und diesbezüglich überprüft werden muss.³⁸ Darüber hinaus ermöglicht die Elektromobilität Emissionseinsparpotenziale

³⁵ vgl. Vahrenkamp/Kotzab 2017, S. 157

³⁶ vgl. Hölter/Ninnemann 2020, S. 32

³⁷ vgl. Iwan/Kijewska/Lemke 2016, S. 646 ff

³⁸ vgl. Wittenbrink 2021, S. 122 ff

und bietet auch hinsichtlich der Lärmbelastung in Städten immense Vorteile.³⁹ Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung einer solchen Elektrifizierung der Zustellfahrzeuge stellt der von der Deutsche Post DHL genutzte StreetScooter dar.⁴⁰ Ein weiterer, primär ökologisch motivierter Ansatz beruht auf dem Einsatz sogenannter Lastenräder für die letzte Meile. Diese Pedelecs nutzen Muskelkraft zur Fortbewegung, ein batteriebetriebener Motor kann im Bedarfsfall zugeschaltet werden. Der Vorteil solcher Lastenräder kommt insbesondere in den Innenstädten zur Geltung, in denen das Sendungsvolumen und die Kundendichte besonders hoch sind.⁴¹ Hier überzeugen diese durch ihre Kompaktheit, die Vermeidung großer Verkehrsaufkommen durch die Nutzung von Fahrradwegen sowie die lokale Emissionsfreiheit. Probleme bei der Anwendung elektrisch unterstützter Lastenräder ergeben sich etwa bei der Kapazität der zu transportierenden Fracht: Sowohl Gewicht als auch Volumen des Lastenrades sind begrenzt und können in Sendungsaufkommensschwerpunkten an ihre Grenzen geraten.^{42,43}

Über die bereits vorgestellten Konzepte hinaus werden unbemannte Fahr- und Fluggeräte als mögliche Lösungen für die innerstädtischen Zustellprobleme angesehen. Im konkreten handelt es sich dabei um Delivery Bots und Air-Drones; letztere werden in dieser Abhandlung nicht genauer betrachtet. Die ADBs sollen dabei die Zustellfahrten auf der letzten Meile übernehmen und die Lieferung weitestgehend ohne menschlichen Einfluss zum Kunden transportieren. An einem Ausgangspunkt müssen diese mit der zu transportierenden Ladung bestückt werden und sind anschließend in der Lage ihr Ziel selbstständig zu erreichen. Der Zugriff auf die Ware durch den Kunden oder Endnutzer erfolgt je nach Modell und Konzept unterschiedlich, meist jedoch über eine Applikation für mobile Geräte.⁴⁴ Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise konkreter Modelle findet sich in Kapitel 3.1. Die batteriebetriebenen ADBs fahren dabei rein elektrisch, sind also lokal emissionsfrei und reduzieren gleichzeitig die Lärmbelastung in urbanen Gebieten.^{45,46} Für den Einsatz solcher ADBs existieren verschiedene Konzepte, welche sich hinsichtlich des Ausgangspunktes der

³⁹ vgl. Bräbänder 2020, S. 64

⁴⁰ vgl. Kampker et al. 2021, S. 303 f

⁴¹ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 14 f

⁴² vgl. Bogdanski/Cailliau 2020, S. 22

⁴³ vgl. Wittowsky et al. 2020, S. 6 f

⁴⁴ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 28 f

⁴⁵ vgl. Sonneberg et al. 2019, S. 1540

⁴⁶ vgl. Demir/Syntetos/van Woensel 2022, S. 9

Zustellung und der Nutzung der Verkehrsinfrastruktur unterscheiden. Eine genauere Betrachtung besagter Einsatzmöglichkeiten erfolgt in Kapitel 2.4.1.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte sollen vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2 identifizierten Probleme auf der letzten Meile verglichen und deren Beitrag zur Lösung dieser beurteilt werden.

Tabelle 2: Übersicht über die Vor- und Nachteile vorgestellter Lösungskonzepte auf der letzten Meile

Problem Konzept	Steigendes Sendungsvolumen und Atomarisierung	Stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrsprobleme	Übergabebezogene Zustellprobleme	Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit	Verfügbarkeit von Humanressourcen	Kosten von Humanressourcen
V-Van	- Anpassung nur durch Einsatz größerer Flotte möglich	- Keine Antwort auf stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrsprobleme	- Keine Antwort auf übergabebezogene Zustellprobleme	- Keine Antwort auf gestiegene Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit	- Keine Veränderung des Personalproblems	- Keine Veränderung der Personalkostenstruktur
E-Van	- Keine Antwort auf steigende Paketzahlen	- Keine Antwort auf stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrsprobleme	- Keine Antwort auf übergabebezogene Zustellprobleme	+ Reduktion der Abgasemissionen bzw. lokale Emissionsfreiheit bei Elektrofahrzeugen ⁴⁷	- Keine Veränderung des Personalproblems	- Keine Veränderung der Personalkostenstruktur
Self-Service	+ Entlastung durch weniger Zustellfahrten im Zielgebiet + Mehr Fahrzeugkapazitäten für andere Zustellkonzepte	+ Zustellung zum Endkunden nicht nötig, Entlastung der Verkehrsinfrastruktur	+ Kunde ist selbst für Abholung verantwortlich	+ Weniger Zustellfahrten, Emissionen und Lärm (Abhängig von Lage und Zugänglichkeit) ⁴⁸	+ Weniger Zustellfahrer durch weniger Touren benötigt	+ Reduzierte Personalkosten durch reduzierte Fahrerzahl

⁴⁷ vgl. Kampker et al. 2021, S. 300 f

⁴⁸ vgl. Iwan/Kijewska/Lemke 2016, S. 648

Lastenrad	- Beschränkter Laderaum, Mehrfachfahrten oder Kombination mit anderen Konzepten bei hohem Paket-aufkommen unumgänglich ⁴⁹	+ Geringere Platzanforderungen bei der Zustellung + Flexiblere Touren durch urbane Gebiete ⁵⁰	- Keine Antwort auf übergabe-bezogene Zustellprobleme	+ Lokal emissionsfrei, kaum Lärm- oder Umweltbelastung ⁵¹	+ Zulassungs- und führerscheinfrei - Erhöhte physische Anforderungen an Fahrer ⁵²	- Keine Veränderung der Personalkostenstruktur
Delivery Bot	+ Atomarisierung begünstigt Zustellung durch ADBs - Beschränkter Laderaum, ⁵³ durch Wegfall des Paketzustellers jedoch als zusätzliche Kapazität nutzbar	+ Weniger Liefer-Vans in urbanen Gebieten. ⁵⁴ - Beanspruchung anderer Verkehrselemente denkbar (bspw. Trottoir)	+ Individualisierte Zeitfenster der Übergabe ⁵⁵ , dadurch höhere Zustellquote	+ Lokal emissionsfrei, Reduktion der Emissionen und Lärmbelastung ⁵⁶	+ Wegfall des Fahrers, Personenbezug nur bei Beladung, Überwachung und Problemsituationen ⁵⁷	+ Reduzierte Personalkosten durch Wegfall des Fahrers - Entstehung anderer Personalkosten für neu entstehende Positionen (z.B. Überwachung oder Instandhaltung)

⁴⁹ vgl. Wittowsky et al. 2020, S. 6

⁵⁰ vgl. Bogdanski/Cailliau 2020, S. 25

⁵¹ vgl. Jaller/Otero-Palencia/Pahwa 2020, S. 16

⁵² vgl. Bogdanski/Cailliau 2020, S. 22

⁵³ vgl. Sonneberg et al. 2019, S. 1540

⁵⁴ vgl. Grunow et al. 2022, S. 4

⁵⁵ vgl. Grunow et al. 2022, S. 3

⁵⁶ vgl. Figliozzi 2020, S. 9 f

⁵⁷ vgl. Sonneberg et al. 2019, S. 1540

Die Auswahl vorgestellter Konzepte weist sowohl Stärken als auch Schwächen bei der Bewältigung der benannten Probleme auf. Die Güte der Lösungsqualität soll in Abbildung 2 zum Ausdruck gebracht und ein Vergleich zum bisherigen Standard-Konzept (Zustellung durch Vans mit Verbrenner-Antrieb, „V-Van“) geschaffen werden. Die entsprechende Metrik soll im Folgenden erläutert werden: Jedes Konzept bietet in Bezug auf eines der identifizierten Probleme eine Lösung, deren Qualität in vier Stufen gegliedert werden kann:

- A. Konzept bietet eine schlüssige Lösung für das Problem, ohne signifikante Schwächen (Grün gekennzeichnet)
- B. Konzept bietet eine Lösung für das Problem, diese weist jedoch signifikante Schwächen auf (Gelb gekennzeichnet)
- C. Konzept bietet keine Lösung für das Problem (Rot gekennzeichnet)
- X. Keine eindeutige Bewertung möglich

Über die dreistufige Bewertungsskala hinaus, symbolisiert ein X in den Zellen der Matrix, dass die Bewertung von bestimmten Umständen abhängt und nicht eindeutig vorgenommen werden konnte. Eine genauere Beschreibung dieser Situationen, sowie der signifikanten und anderen Schwächen erfolgt im Anhang. Die Bewertung der Lösungsgüte erfolgt auf Basis der bisher festgestellten Charakteristiken eines jeden Konzeptes und der daraus resultierenden Tabelle 2; die tatsächliche Umsetzbarkeit dieser Aspekte muss in weiteren Schritten überprüft werden.

Problem Konzept	Steigendes Sendungsvolumen und Atomarisierung	Stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrs- probleme	Übergabe- bezogene Zustellprobleme	Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit	Verfügbarkeit von Humanressourcen	Kosten der Humanressourcen
V-Van	C	C	C	C	C	C
E- Van	C	C	C	B	C	C
Self-Service	B	X	A	X	A	A
Lastenrad mit Mini-Depot	B	A	C	A	A	C
Delivery Bot mit Mini-Depot	B	A	A	A	A	X

Abbildung 2: Bewertung vorgestellter Konzepte hinsichtlich identifizierter Problemaspekte

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich wird, bieten Fahrzeugmodifikationen sowie der reine Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge (E-Van) die wenigsten Vorteile bei der Lösung der Probleme auf der letzten Meile. Das größte Lösungspotenzial weisen hingegen der Delivery Bot sowie die Self-Service Konzepte auf. Sie bieten solide Antworten auf Fragen der Infrastruktur, des Verkehrs sowie ökologische Belange. Darüber hinaus versprechen diese Konzepte Abhilfe bei den Personalschwierigkeiten der KEP-Dienstleister. Um allen Problemen Herr zu werden, reicht die Anwendung eines einzelnen Konzeptes durch KEP-Dienstleister nicht aus. Eine abgestimmte Kombination verschiedener Elemente könnte jedoch einen wichtigen Beitrag zur Lösung der Probleme auf der letzten Meile leisten.⁵⁸ Ein großflächiger Einsatz von Lastenrädern und Delivery Bots scheint aufgrund begrenzter Reichweiten und Ladekapazitäten nur im Zusammenspiel einer zielgebietsnahen Beladung durch Mini-Depots sinnvoll. Mittels der Errichtung solcher Mini-Depots, welche als Ausgangs- und Zielpunkt einer jeder Tour dienen, wird durch den gemeinsamen Transport zum Mini-Depot eine erneute Sendungskonsolidierung erwirkt und die letzte Meile dadurch verkürzt. Dabei kann etwa eine Wechselbrücke zum Einsatz kommen, welche auf einem Parkplatz oder vordefinierten Bereich platziert wird und als Dreh- und Angelpunkt der eigentlichen Zustell Touren fungiert.⁵⁹ Ein anderer Ansatz sieht die nächtliche und spätabendliche Nutzung von Parkhausflächen vor: Dabei soll ein Trailer in einem Parkhaus oder einer Tiefgarage als Mikro-Hub dienen und nachts mit allen das Zielgebiet betreffenden Lieferungen beladen werden. Bei Tagesanbruch soll der Trailer dann an einen möglichst zentralen Punkt gefahren werden und von diesem aus, gleich dem Funktionsprinzips der Wechselbrücke, als Mini-Depot eingesetzt werden.⁶⁰ Darüber hinaus bieten sich auch im Kontext der Delivery Bots konkrete Möglichkeiten der Nutzung eines Mini-Depots, das neben einer Verkürzung der letzten Meile auch den Operationsradius des ADBs erweitern kann. Eine detaillierte Vorstellung eines solchen Anwendungskonzeptes findet sich in Kapitel 2.4.1.2. Während Lastenrad, Self-Service und Elektromobilität bereits mannigfaltigen Einsatz in der Zustellung finden, müssen neuartige Konzepte wie der Delivery Bot erst noch beweisen, dass sie abseits der Theorie in der praktischen Anwendung nicht nur eine effektive, sondern auch eine effiziente Abhilfe darstellen können.⁶¹ Dazu gilt es rentable

⁵⁸ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 42

⁵⁹ vgl. Bogdanski/Cailliau 2020, S. 22 f.

⁶⁰ vgl. Hinrichs/Steffens/Wilke 2020, S. 290 f.

⁶¹ vgl. Boysen/Fedtke/Schwerdfeger 2021, S. 41

Geschäftsmodelle zu entwickeln, die eine hohe Funktionalität mit einer Effizienz im operativen Betrieb verbinden.

2.4 Stand der Wissenschaft

Um eine genauere technische Betrachtung zu ermöglichen, bedarf es einer detaillierten Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Einsatzkonzepten. Sie bilden dabei außerdem die Basis einer fundierten Geschäftsmodell-Konzeption sowie des darauf beruhenden Rechen-Tools.

2.4.1 Anwendungskonzepte für ADBs

Nachdem die Möglichkeiten von ADBs auf der letzten Meile aufgezeigt, und die entsprechenden Termini näher definiert wurden, sollen diverse Einsatzkonzepte ebendieser vorgestellt werden. Basierend darauf, sollen in einem nächsten Schritt Anforderungen definiert werden, welche erfüllt werden müssten, um den reibungslosen Einsatz innerhalb dieser vordefinierten Ansätze gewährleisten zu können. Die Notation der vorgestellten Konzepte erfolgt in Anlehnung an *Boysen/Fedtke/Schwerdfeger* (2021) und benennt die beteiligten Elemente gemäß dem chronologischen Ablauf einer Zustellung.

2.4.1.1 [Depot-ADB-Endkunde]

Der hier vorgestellte Ansatz stellt die vermeintlich einfachste Form der ADB-Nutzung in urbanen Gebieten dar. Dabei operiert der ADB von einem Depot aus, in dem er beladen wird und fährt von diesem aus selbstständig und ohne fremde Hilfe ins Zielgebiet um die Zustellung durchzuführen. Nach erfolgter Zustellung kehrt der ADB in das Depot zurück, um neu beladen zu werden. Grundsätzliche Fragen hinsichtlich des vorgestellten Konzeptes beziehen sich auf die Anzahl und die Standorte der Depots und die damit zusammenhängenden Kosten und zurückzulegenden Strecken. Darüber hinaus beeinflusst die Zahl möglicher Zustellungen pro Fahrt, die einerseits von der Akkuladung und andererseits der Paketkapazität des ADBs abhängt, die Tourenplanung. Der Ansatz unterscheidet sich grundsätzlich nur in der Wahl des Transportmittels von der klassischen Paketzustellung durch einen Liefervan.

Bei der Tourenplanung handelt es sich um ein Vehicle Routing Problem (VRP): Die Ladekapazität des Fahrzeugs ist beschränkt, die Bedarfe der Kunden (Senken) sind über die konkreten Zustellaufträge bekannt und jeder Kunde muss nur einmal beliefert werden. Ziel der Tourenplanung ist es also, die Fahrzeit und Fahrstrecke zu minimieren, um eine möglichst

effiziente Tour bilden zu können. Innerhalb jeder erstellten Tour, die vom Depot ausgeht, handelt es sich um ein Travelling-Salesman-Problem (TSP).⁶² Eine wichtige Rolle bei der Tourenplanung spielt die Größe der Flotte einsetzbarer Delivery Bots: Da der Laderaum auf sehr wenige Pakete beschränkt ist, können nur sehr wenige Zustellungen pro Tour eines jeden ADBs durchgeführt werden. Darüber hinaus basieren viele konkrete ADB-Modelle auf einem App-gesteuerten Zugriff des Adressaten auf den Laderaum im Moment der Zustellung. Um diese Interaktion zwischen Menschen und Roboter zu ermöglichen, müssen Zeitfenster der Zustellung vordefiniert werden, um eine erfolgreiche Zustellung sicherzustellen. Die erwähnten Zeitfenster transformieren das existierende VRP zu einem Vehicle-Routing-Problem with Time Windows (VRPTW). Bei den von den Endkunden vorgegebenen Zeitfenstern handelt es sich um sogenannte Hard-Time-Windows, die nicht verletzt werden dürfen. Solange keine Technologien oder Möglichkeiten bestehen, das Paket selbstständig aus dem ADB zu entladen, muss die Zustellung innerhalb dieses Zeitfensters erfolgen. Um das VRPTW formal zu definieren und zu lösen, bedarf es neben einer Erweiterung des formalen Modells um die zeitlichen Bedingungen, auch einer Anpassung des Lösungsansatzes.⁶³ Der beim VRP zum Einsatz kommende Savings-Algorithmus muss insofern modifiziert werden, dass er die zeitlichen Nebenbedingungen des formalen Modells berücksichtigt.⁶⁴

Die maßgebliche Problematik bei der Bedienung direkt aus dem Depot heraus stellen die langsamen Fahrgeschwindigkeiten der ADBs in Kombination mit den langen Strecken dar. Um letztere zu reduzieren, müssten mehrere und gut platzierte Depots gebaut werden, jedoch erweisen sich brauchbare Logistikflächen innerhalb urbaner Gebiete als überaus selten und teuer, wodurch hohe Investitions- und Betriebskosten anfallen würden.⁶⁵ Je länger die Strecken ausfallen, desto mehr Zeit brauchen die Bots, um das Ziel ihrer Route zu erreichen. In den zwei folgenden Unterpunkten werden Möglichkeiten vorgestellt, die durch den ADB zurückzulegende Strecke zu reduzieren.

⁶² vgl. Domsche/Scholl 2010, S. 204 ff.

⁶³ vgl. Domsche/Scholl 2010, S. 207 f.

⁶⁴ vgl. Domsche/Scholl 2010, S. 243 f.

⁶⁵ vgl. Hinrichs/Steffens/Wilke 2020, S. 290

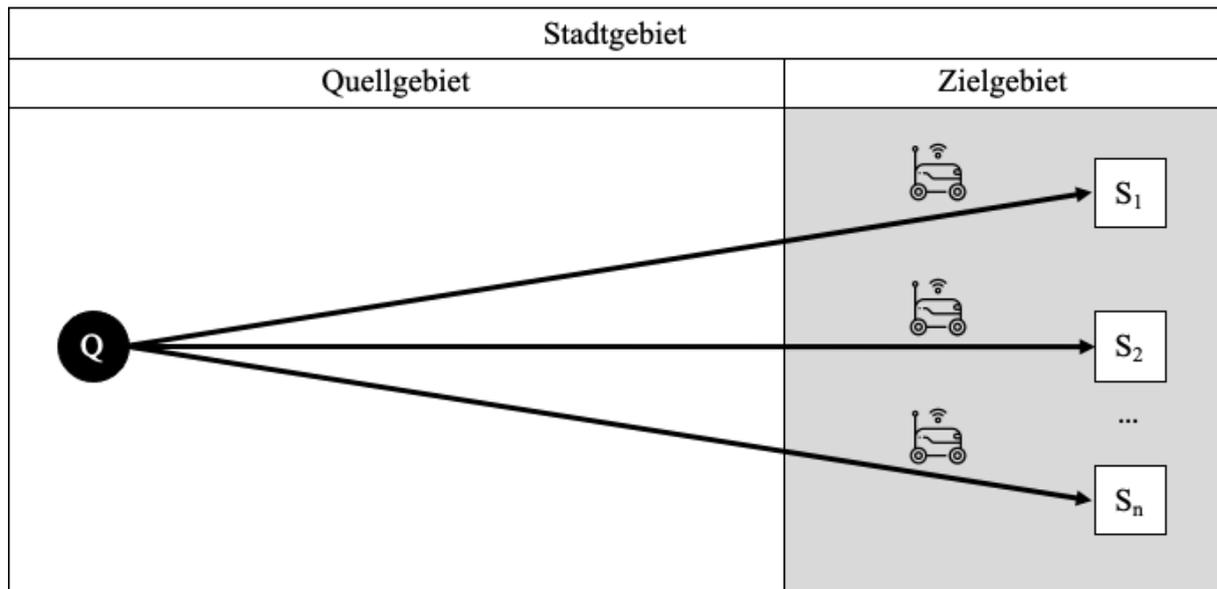


Abbildung 3: Zustellung gemäß [Depot-ADB-Endkunde] -Konzept (Eigene Darstellung)

2.4.1.2 [Depot-Van-ADB-Endkunde]

Ein vielfach diskutierter Ansatz sieht eine Kombination klassischer Liefervans und den ADBs vor. Um der durch Batteriebetrieb beschränkten Reichweite und geringen Fahrgeschwindigkeit der ADBs entgegenzuwirken, soll ein modifizierter Zustellvan als „Mutterschiff“ dienen und die ADBs von einem zentralen Depot ins Zielgebiet bringen, von dem aus sie eigenständig Zustellungen übernehmen. Durch den Einsatz der Vans lässt sich das Operationsradius der ADBs massiv erweitern, sodass nicht zwingendermaßen zusätzliche Außendepots errichtet werden müssten, um weiter entfernte Stadtteile oder Außenbezirke bedienen zu können. So können Kosten für die Errichtung und den Betrieb dezentralisierter Depots gespart werden. Im Zielgebiet angekommen, sollen die Delivery Bots durch den Fahrer mit einem oder mehreren zuzustellenden Objekten beladen werden und finden auf Basis ihres Zustellauftrags eigenständig ihr Ziel. Im Anschluss an die erfolgte (evtl., aber auch erfolglose) Zustellung kann innerhalb des [Depot-Van-ADB-Endkunde] -Konzepts zwischen zwei weiteren Ansätzen differenziert werden.

Einerseits können die ADBs nach erfolgreicher Zustellung zum Van zurückkehren, um dort entweder für die nächste Auslieferung neu beladen, oder für den Rücktransport ins Depot eingesammelt zu werden. Dazu müssen die ADBs in der Lage sein, selbstständig zum Van zurückzufinden. Eine Betrachtung dieser ersten Variante aus Operations-Research Perspektive und ein Abgleich mit traditionellen Van-Zustellverfahren wird in *Jennings und Figliozzi (2019)* vorgenommen. Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, dass ADBs bei der Reduktion der zurückgelegten Strecke eine praktikable Alternative gegenüber traditionellen Zustellverfahren

darstellen.⁶⁶ Ob das Mutterschiff während den einzelnen Zustellungen am Ausgangspunkt verweilt, oder andere Aufgaben wahrnimmt wird in der entsprechenden Literatur nicht näher definiert. Für diesen ersten Ansatz haben *Chen/Demir/Huang* (2021) einen konkreten heuristischen Lösungsansatz entwickelt. Sie wenden dabei eine Adaptive Large Neighborhood Search Heuristik an, um das VRPTW zu lösen.⁶⁷ Ein anderer Ansatz besteht gemäß *Boysen et al.* darin, die Bots nach der Zustellung zu einem dezentralisierten Depot zu leiten, um dem Van lange Wartezeiten bis zur Rückkehr der ADBs zu ersparen.⁶⁸ Das Mutterschiff nimmt die ADBs dann an den Sammelpunkten wieder auf.

Ein konkretes Van-basiertes ADB-Konzept wurde im September des Jahres 2016 von Mercedes-Benz-Vans und Starship Technologies vorgestellt. Der seinerzeit als Prototyp vorgestellte modifizierte Sprinter-Van soll dabei acht Robotern inklusive der zu liefernden Ware Platz bieten. Die Parkplätze für die autonomen Einheiten befinden sich auf dem Boden des Vans, Regalsysteme zur Verstauung der auszuliefernden Ware darüber.^{69,70} Das Projekt sieht eine Rückkehr des Roboters zum Van vor, um erneut beladen zu werden. Starship Technologies zufolge sollen so bis zu 400 Pakete innerhalb einer 9-Stunden Schicht zugestellt werden können, was einer Steigerung von über 120% gegenüber üblichen Zustellverfahren entspräche.⁷¹ Gemäß des Projektes „Robotic Delivery Systems“ sind der als mobiler Hub dienende Van und die ADBs immer miteinander verbunden, sodass die Roboter selbstständig den Weg zurück in den Van finden. Das Konzept sieht außerdem keine Stillstandszeit für den Fahrer des Vans vor: Der Fahrzeugführer soll, während den Zustelltouren der ADBs, die nächsten Stopps vorbereiten oder unhandliche Pakete ausliefern, die nicht durch die Roboter abgefertigt werden können.⁷²

⁶⁶ vgl. Jennings/Figliozzi 2019

⁶⁷ vgl. Chen/Demir/Huang 2021, S. 1164 ff.

⁶⁸ vgl. Boysen/Schwerdfeger/Weidinger 2018

⁶⁹ vgl. Mercedes-Benz 2017a

⁷⁰ vgl. Mercedes-Benz 2017b

⁷¹ vgl. Starship Technologies 2016

⁷² vgl. Mercedes-Benz 2017b

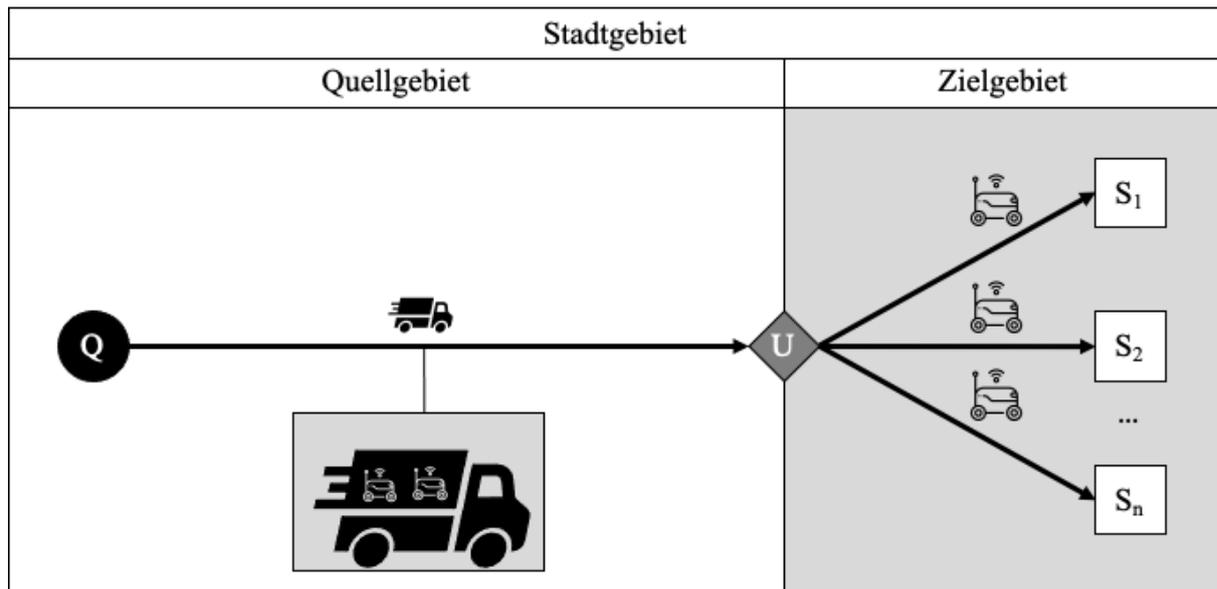


Abbildung 4: Zustellung gemäß [Depot-Van-ADB-Endkunde] -Konzept (Eigene Darstellung)

2.4.1.3 Ko-Infrastrukturnutzung durch ADBs

Um eine Erweiterung des batteriebedingt gering ausfallenden Operationsradius zu erwirken könnten neben Mutterschiff-Vans auch Verkehrsmittel des öffentlichen Nahverkehrs eingesetzt werden. Das Funktionsprinzip ähnelt dem des Van-basierten Konzeptes. Der ADB soll mithilfe eines weiteren Verkehrsmittels, etwa eines Busses oder einer Straßenbahn in das Zielgebiet seiner Zustellaufträge transportiert werden und von dort aus die Zustellung beim Endkunden selbstständig übernehmen. Statt jedoch auf unternehmens- bzw. betreibereigene Ressourcen zurückzugreifen, soll von öffentlicher Infrastruktur und Verkehrsmitteln Gebrauch gemacht werden. Durch die Mitnahme der ADBs im Huckepack-Format entsteht ein gemeinschaftlicher, aus Personen- und Gütertransport bestehender, Verkehr.⁷³ Durch die Nutzung eines solchen gemeinsamen Verkehrs ließen sich Emissionen und zurückgelegte Strecken innerhalb urbaner Gebiete reduzieren.⁷⁴

Inwiefern ein ADB auf die Nutzung eines öffentlichen Verkehrsmittels zurückgreift, hängt von verschiedenen Faktoren ab: Dazu zählen die Distanz zur Zustelladresse, die Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel und die notwendigen technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen.

⁷³ vgl. Thiel et al. 2021, S. 197

⁷⁴ vgl. Mourad/Puchinger/Van Woensel 2020, S. 2117

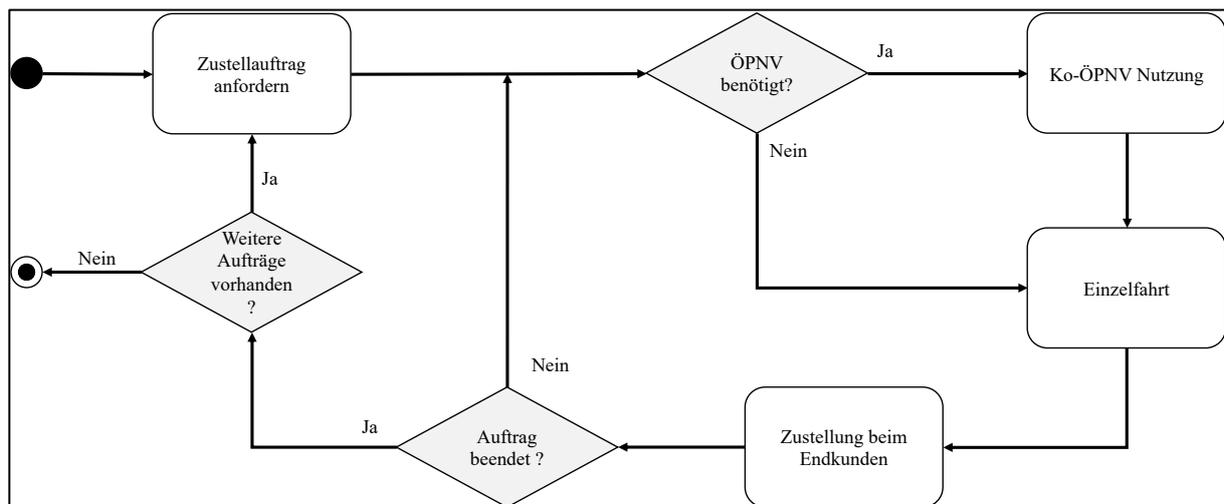


Abbildung 5: Ablauf der Notwendigkeitsprüfung einer ÖPNV- Ko-Nutzung gemäß UML 2 Notation (Eigene, ergänzte Darstellung in Anlehnung an Thiel et al. (2021))

Ein Transport des ADBs durch öffentliche Verkehrsmittel erweist sich nur dann als sinnvoll und zeitsparend, wenn der ADB selbstständig in der Lage ist, jene ohne größeren Aufwand oder fremde Hilfe zu nutzen. Dabei entstehen verschiedene Probleme: Anders als der Mensch, ist der ADB nicht in der Lage den Halteknopf des Vehikels zu betätigen – auch physische Barrieren wie Spalten zwischen Haltestelle und Fahrzeug könnten ihm Probleme bereiten. Abhilfe hierbei könnte eine Programmierschnittstelle (API) zwischen den zwei Fahrzeugen bieten: Über diese API könnte der ADB, eine Lokalisierung des nächst-gelegenen ÖPNV-Fahrzeugs durchführen; darüber hinaus ließen sich mittels dieser eine Angabe des Haltewunschs, das Öffnen der Tür oder das Ausfahren einer Rampe umsetzen.⁷⁵ Um eine solche Kommunikation zwischen den Fahrzeugen zu realisieren, müsste eine Netzwerkverbindung bereitgestellt werden. Weitere Probleme könnten sich bei der Nutzung untergrundbasierter Fortbewegungsmittel wie U-Bahnen ergeben: Die Haltestellen der U-Bahnen sind meistens über Rolltreppen, Aufzüge oder längere Treppenabschnitte zu erreichen, welche durch ihre Ausrichtung auf menschliche Nutzung eine Herausforderung für ADBs darstellen.⁷⁶ Die Umsetzung einer weiteren Systemschnittstelle zwischen ADBs auf der einen, sowie Rolltreppen und Aufzügen auf der anderen Seite erweist sich, aufgrund der verschiedenen Hersteller Letzterer, als große Herausforderung. Je nach Bauart der Roboter,

⁷⁵ vgl. Thiel et al. 2021, S. 206 ff

⁷⁶ vgl. Thomasen 2020, S. 308 f

könnten infrastrukturelle Anpassungen notwendig werden, um die öffentlichen Verkehrsmittel barrierefrei zu gestalten und dadurch einen gemeinsamen Verkehr zu ermöglichen.⁷⁷

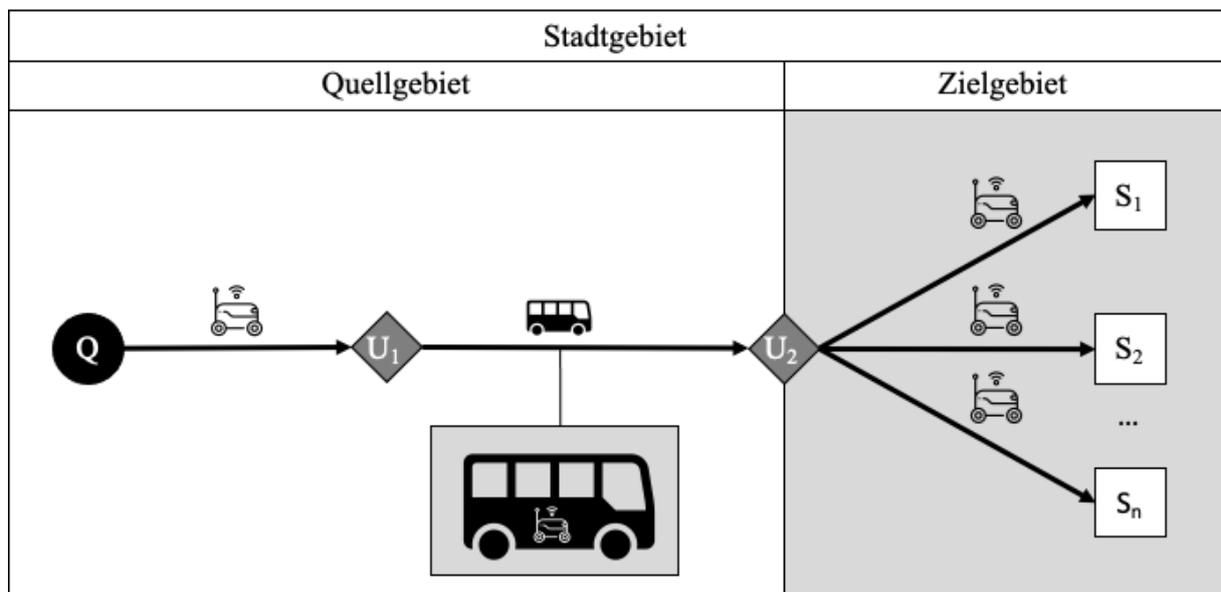


Abbildung 6: Zustellung gemäß Ko-Infrastrukturnutzungskonzept (Eigene Darstellung)

Neben den technisch und infrastrukturell induzierten Herausforderungen stellt sich auch der gemeinsame Transport von Waren und Personen als Hürde dar. Der öffentliche Nahverkehr dient primär dem Personentransport und darf diesen – wie auch die Passagiere an sich - nicht negativ beeinträchtigen.⁷⁸ Dem entsprechend dürfte ein ADB keinem Menschen den Platz wegnehmen, wenn kein anderer zur Verfügung stände. Auch bei einer Veränderung der Passagiersituation während der Fahrt müsste der ADB anpassungsfähig sein und gegebenenfalls das Fahrzeug verlassen. Die in diesem Fall notwendige Neuplanung der Route und eventuelle Anpassungen des weiteren Zustellverlaufs kosten mehr Zeit und Geld, im ungünstigsten Fall muss ein externer Betreuer eingreifen.⁷⁹ Ein Lösungsansatz für die Bewältigung der aus der Priorität und den Bedürfnissen des Personenverkehrs resultierenden Probleme, stellt die Nutzung spezieller Zeitfenster dar. Diese Zeitfenster beschreiben die Zeit des Tages, an denen die öffentlichen Nahverkehrsmittel durch ADBs genutzt werden können - die besonders stark frequentierten Morgenstunden oder der Feierabendverkehr sind davon ausgeschlossen.⁸⁰

⁷⁷ vgl. Thiel et al. 2021, S. 208 f

⁷⁸ vgl. Thiel et al. 2021, S. 207

⁷⁹ vgl. Mourad/Puchinger/Van Woensel 2020, S. 2117 ff

⁸⁰ vgl. Kunze 2016, S. 297

2.4.1.4 Straßen- vs. Trottoir-Nutzung

Über die bisher vorgestellten Anwendungskonzepte hinweg kann beim Einsatz autonomer Delivery Bots zwischen zwei Typen von ADBs differenziert werden. Sie unterscheiden sich dabei in der Infrastrukturnutzung, genauer gesagt bei der Nutzung des Verkehrssystems eines Gebietes: Während sich die sogenannten Sidewalk Autonomous Delivery Robots (SADR) auf dem Gehweg und öffentlichen Bereichen bewegen, sind die Road Autonomous Delivery Robots (RADR) auch in der Lage, auf der Straße zu fahren.⁸¹ Der wesentliche Unterschied liegt dabei in der Fahrgeschwindigkeit. Straßentaugliche ADBs können höhere Geschwindigkeiten erreichen und können so die Dauer einer einzelnen Zustellung gegenüber SADR reduzieren.⁸² Die niedrigere Geschwindigkeit der SADR liegt in der Anwesenheit von Personen auf den Gehwegen und der damit einhergehenden Kollisionsgefahr begründet.^{83,84} Auf RADR wird in dieser Abhandlung nicht genauer eingegangen; Diese Entscheidung fußt auf den vielen Problemen die mit der Nutzung autonomer Fahrzeuge im Straßenverkehr einhergehen. Dazu zählen etwa Fragen der Zulassung und Versicherung, ethische Fragen in Problemsituationen, sowie juristische Aspekte in Unfallszenarien, die dazu in verschiedenen Staaten der Welt unterschiedlich angegangen werden.⁸⁵ Für die spätere Erstellung eines Geschäftsmodells spielt die Frage, ob sich der ADB auf der Straße oder dem Gehweg bewegt jedoch eine nicht unerhebliche Rolle: Die Fahrgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Faktor bei der Zahl der möglichen Paketzustellungen; Ob es sich also um einen SADR oder einen RADR handelt, muss im Zuge einer Anpassung der entsprechenden Parameter berücksichtigt werden.

2.5 Anforderungsdefinition an Delivery Bots

Die verschiedenen vorgestellten Anwendungskonzepte sollen eine effiziente Nutzung autonomer Delivery Bots in der innerstädtischen Heimzustellung ermöglichen. Für die Umsetzung ebendieser müssen die ADBs verschiedene Anforderungen erfüllen, die im nachfolgenden definiert werden sollen.

Die entsprechenden Anforderungen können sowohl technischer Natur (den ADB konkret betreffend) als auch betriebswirtschaftlicher Natur (das Einsatzkonzept und sonstige

⁸¹ vgl. Figliozzi/Jennings 2020b, S. 1 f.

⁸² vgl. Baum/Assmann/Strubelt 2019, S. 2459

⁸³ vgl. Vepsäläinen 2022, S. 1 f.

⁸⁴ vgl. Leerkamp/Soteropoulos/Berger 2021, S. 115 f.

⁸⁵ vgl. Thiel et al. 2021, S. 205 f.

Rahmenbedingungen betreffend) sein. *Grunow et al. (2022)* identifizieren sechs Hauptanforderungen - welche weitere Unterpunkte bündeln – an Transportroboter. Dazu zählen neben dem gesetzlichen Rahmen, der Infrastruktur sowie Standardisierung auch die Kosten, der betriebliche Ablauf und die Fahrzeugtechnik.⁸⁶ Über die von *Grunow et al.* Genannten Elemente hinaus erweisen sich jedoch weitere Punkte als wesentliche Faktoren bzw. Anforderungen, um einen effizienten Einsatz autonomer Lieferroboter zu gewährleisten: Dazu zählen etwa das Sicherheitskonzept sowie der Betreuungsumstand der ADBs, welcher mittels der „Drones per Operator“ zum Ausdruck gebracht werden kann.

In Tabelle 3 sollen grundlegende Aspekte besagter Kategorien anhand konkreter Beispiele verdeutlicht werden.

Tabelle 3: Identifizierte Anforderungen an autonome Delivery Bots und deren Betrieb

Kategorie	Grundlegende Aspekte	Beispiele
Fahrzeugtechnik	Technische Anforderungen	Navigation, Fahrgeschwindigkeit, Batteriereichweite, Überwindung von physischen Barrieren und Hürden, Laderaumkapazität
Infrastruktur	Barrierefreiheit und Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs	Verfügbarkeit von Infrastruktur, Kommunikation zwischen ADB und Infrastrukturelementen
Gesetzlicher Rahmen	Rechtssicherheit beim Betrieb der ADBs	Zulassung, Versicherung
Standardisierung	Normierung	Prozessstandardisierung
Betrieblicher Ablauf	Neuentwurf/Umgestaltung bestehender Prozesse	Umsetzung des gewählten Einsatzkonzeptes, Laden der Batterie, Tourenplanung
Kosten	Profitabilität, Kostenplanung	Personalkosten, Investitionskosten, Einsatz- und Betriebskosten

⁸⁶ vgl. *Grunow et al. 2022*, S. 5 f.

Drones per Operator	Betreuungssituation der ADBs	Wartung und Überwachung, Vorgehen in Problemsituationen, Personalanforderungen
Sicherheitskonzept	Sicherheitstechnische Aspekte	Fahrzeugsicherheit, Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer

Auf die drei Kategorien Fahrzeugtechnik und Infrastruktur soll aufgrund des direkten Fahrzeugbezugs näher eingegangen werden:

Die Fahrzeugtechnik betreffend, müssten die ADBs beispielsweise in der Lage sein, sich tatsächlich autonom zu bewegen und zu navigieren, um eine Überwachung durch Mitarbeiter überflüssig zu machen. Darüber hinaus müssten sie eine gewisse Geschwindigkeit erreichen können und eine gewisse Zahl an Paketen transportieren können, um einen wirtschaftlichen Tourenbetrieb zu ermöglichen. Auch das Überwinden von physischen Hürden sowie die Interaktion mit dem Adressaten muss gewährleistet sein, sodass möglichst selten Problemsituationen entstehen, bei denen ein Mitarbeiter eingreifen muss. Auch bei der Nutzung der innerstädtischen Infrastruktur, etwa bei der Benutzung von Ampeln zur Kreuzung größerer Verkehrswege oder die in Kapitel 2.4.1.3 erwähnte Nutzung anderer Transportmittel, müssen technische Lösungen vorhanden sein.

3 Technischer Hauptteil

Nachdem in den vorhergegangenen Kapiteln verschiedene Anwendungskonzepte für ADBs in urbanen Gebieten dargelegt und entsprechende Anforderungen an diese definiert wurden, sollen in diesem Kapitel konkrete ADB-Modelle vorgestellt und auf ebendiese hin untersucht und dadurch ein Vergleich ermöglicht werden. Darüber hinaus sollen konkrete Problemfelder identifiziert, erläutert und mögliche Lösungskonzepte vorgestellt werden.

3.1 Stand der Technik

Am Einsatz autonomer Roboter in der Paketzustellung arbeiten eine Vielzahl an Unternehmen, die im Hinblick auf das Anwendungskonzept unterschiedliche Modelle entwickeln. Diese unterscheiden sich neben den technischen Aspekten vor allem auch beim Stand der Entwicklung und der Marktreife. Im Folgenden werden verschiedene ADBs vorgestellt und auf die in Kapitel 2.5 definierten Anforderungen hin überprüft.

3.1.1 Methodik

Der technische Hauptteil der vorliegenden Abhandlung dient dem Zweck, dem Leser einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik zu vermitteln, indem konkrete Modelle vorgestellt und deren Funktions- und Einsatzweise erläutert werden. Um spezifische ADB-Modelle zu Analyse Zwecken herauszusuchen, wurde eine mehrschichtige Literaturrecherche betrieben. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein klares Verständnis dessen geschaffen, was ein autonomer Delivery Bot ist, sowie Synonyme und Abkürzungen in Erfahrung gebracht. Darüber hinaus wurden in einem zweiten Schritt über die Google Scholar Suchfunktion mehrere Suchen nach den Wortfolgen „Delivery Robot“, „Autonomous Delivery Robot“, „Lieferroboter“ und „SADR delivery bot“ durchgeführt. Dem Verfasser zugängliche Artikel wurden auf konkrete Anwendungsbeispiele und Namensnennungen hin untersucht, sowie die Hersteller und deren Projekte gesammelt. Dabei wurde zwischen SADR und RADR differenziert und letztere schließlich aufgrund der sich speziell auf urbane Gebiete konzentrierenden Fragestellung der Arbeit, von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Eine Auswahl namensnennender Publikationen, aus denen Hersteller und konkrete Modelle entnommen wurden findet sich in Tabelle 4.

Tabelle 4: Auswahl namensnennender Publikationen aus der Literaturrecherche

Quelle	Titel	Erscheinungsjahr	Sprache
<i>Baum, Assmann, Strubelt</i>	State of the art – Automated micro-vehicles for urban logistics	2019	Englisch
<i>Jennings, Figliozzi</i>	A Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel	2019	Englisch
<i>Hoffmann, Prause</i>	On the Regulatory Framework for Last-Mile Delivery Robots	2018	Englisch
<i>Boysen, Fedtke, Schwerdfeger</i>	Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective	2020	Englisch

Über die Literaturrecherche hinaus wurde sowohl zu den bereits identifizierten als auch zu anderen geläufigen Herstellern von Zustellrobotern eine Webrecherche durchgeführt. So bestand etwa mittels Kontakte über die Hochschule Neu-Ulm die Möglichkeit, im Rahmen des Ulmer Logistik Meetings 2022, mehr über den efeuCampus Bruchsal in Erfahrung zu bringen, auf dem unter anderem autonome Zustellroboter erprobt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde auch ein vor-Ort-Besuch am efeuCampus in Bruchsal ermöglicht, sodass der entsprechende ADB und die Prozesse vor Ort genauer betrachtet werden konnten.

Nachdem Hersteller und Modelle gefunden waren, wurden diejenigen ADBs genauer untersucht, zu denen weitere Stichwortsuchen verwendbare Treffer ergaben und für die basierend auf den zuvor durchgeführten Literatur- und Webrecherchen eine solide Informationsbasis besteht, um eine möglichst aussagekräftige Analyse und einen darauffolgenden Vergleich zu ermöglichen. Es ist nicht das erklärte Ziel dieses Kapitels einen möglichst umfassenden Überblick über ADB-Modelle im Ganzen zu geben, sondern einige wenige Modelle detailliert darzustellen und deren Einsatzprinzip zu verdeutlichen. Aufgrund der Vielzahl an Entwicklungen im Sektor autonomer Zustellfahrzeuge spränge eine solche gesamtheitliche Betrachtung den Rahmen der vorliegenden Arbeit.

3.1.2 Starship Technologies

Der erste vorzustellende Delivery Bot entspringt dem 2014 gegründeten Unternehmen Starship Technologies. Das Unternehmen mit Hauptsitz in San Francisco arbeitet seither an der Entwicklung und dem Einsatz des Delivery Bots „Starship“ und verzeichnet im Februar

2022 laut Unternehmenswebsite die 3.000.000 autonome Zustellung durch ihre ADBs. Dabei kommen die Starships in den USA, Großbritannien, Deutschland und Estland in unterschiedlichem Ausmaß zum Einsatz. Haupteinsatzgebiet stellt momentan die Essenzustellung an Universitäten dar.⁸⁷ Darüber hinaus sind aufgrund der Größe des Laderaums auch Zustellungen im Bereich E-Commerce und Postsektor denkbar.⁸⁸

Beim Starship handelt es sich um einen 56 x 68 x 56 cm großen, 6-rädrigen Delivery Bot, der mit einem Eigengewicht von etwa 27 kg eine Transportlast von bis zu 10 kg bewegen kann.⁸⁹ Der batteriebetriebene Roboter fährt auf dem Fußgängerweg und erreicht durch seinen Elektroantrieb - emissionsfrei - eine Geschwindigkeit von bis zu 6 km/h bei einer Reichweite von etwa 6,5 km.^{90,91} Ausgestattet mit mehreren Kameras, einer Vielzahl an sensorischen Elementen und Ortungssystemen wie GPS ist das Starship in der Lage weitestgehend autonom zu agieren. Dennoch wird der Roboter, etwa bei der Kreuzung von Straßen oder im Endbereich der Zustellung durch einen Menschen ferngesteuert. Der ADB steht während der gesamten Zustellfahrt via WLAN und anderer Netze in Verbindung zu einer zentralen Stelle, mit der ein stetiger Austausch von Daten und Videomaterial geführt wird. So kann die Überwachungsstelle genau sehen, was im Umfeld des ADBs passiert und im Bedarfsfall eingreifen.⁹² Je autonomer die Fahrt vonstatten geht, desto günstiger wird die Zustellung, da die Überwachungsstelle weniger Einfluss nehmen muss. Mittels Machine-Learning soll der ADB seine Autonomie steigern und so unter anderem in Echtzeit Veränderungen - etwa das wechselnde Lichtsignal einer Ampel - identifizieren und entsprechend reagieren können. Seinen Input bezieht das Starship dabei über seine Sensorik und die erwähnten Kameras.⁹³ Bestellungen können über die unternehmenseigene Starship-App aufgegeben werden, die im Anschluss durch den ADB ausgeliefert werden. Der Zugriff auf den Laderaum erfolgt nach erhaltener Ankunftsbenachrichtigung ebenfalls über die App.⁹⁴ Sollte ein unzulässiger Zugriff realisiert werden, etwa im Falle eines Diebstahls, kann das Kontrollzentrum über Kameras

⁸⁷ vgl. Starship Technologies 2022b

⁸⁸ vgl. Hoffmann/Prause 2018, S. 5

⁸⁹ vgl. Valdez/Cook/Potter 2021, S. 2596

⁹⁰ vgl. Hoffmann/Prause 2018, S. 5

⁹¹ vgl. Jennings/Figliozzi 2019, S. 16

⁹² vgl. Hoffmann/Prause 2018, S. 5

⁹³ vgl. Valdez/Cook/Potter 2021, S. 2597

⁹⁴ vgl. Valdez/Cook/Potter 2021, S. 2596

und Lautsprecher mit dem Täter kommunizieren sowie diesen identifizieren und orten, während der Roboter in eine Art Schutz- und Verschlussmodus übergeht.⁹⁵

Derzeit befindet sich die aktuelle Version der Starship-Roboter im kommerziellen Einsatz, unter anderem in den USA, Großbritannien, Estland und Finnland.⁹⁶

3.1.3 Robby Technologies

Ein weiteres Unternehmen, das am Einsatz autonomer Delivery Bots arbeitet, ist Robby Technologies. Das im Jahre 2016 gegründete Unternehmen ist, wie auch Starship Technologies, in Kalifornien ansässig und arbeitet am sogenannten „Robby 2“. Dieser, dem Starship optisch ähnelnde ADB, verfügt über einen Allradantrieb mit sechs Rädern und erreicht in urbanen Gebieten, auf dem Gehweg fahrend, 5-10 km/h. Auf einer Reichweite von etwa 30 km ist er in der Lage, bei einem Eigengewicht von etwa 30 kg, 15-27 kg weitere Ladung zu transportieren.^{97,98,99} Die Ladung wird dabei in einer Kammer transportiert, das Unternehmen verspricht aber Flexibilität bei der Gestaltung des Transportbehälters, sodass auch mehrere Kammern genutzt werden könnten. Zu den Haupteinsatzgebieten des Robby 2 gehören die Zustellung von Lebensmitteln – es bestehen auch Möglichkeiten zur Zustellung von Paketen. Der ADB ist in der Lage, Bordsteine und andere kleinere Hürden zu erklimmen sowie unwegsames Gelände zu durchfahren. Auch der Einsatz in menschengefüllten Bereichen und öffentlichen Plätzen ist für den wasser- und wetterfesten Roboter möglich.¹⁰⁰ Die Navigation erfolgt über Sensorik und Infrarot-Kameras, die auch eine nächtliche Nutzung ermöglichen. Dabei kommen neben um 360 Grad ausgerichteten Kameras auch GPS-Ortung und Grafikprozessoren von Nvidia zum Einsatz.^{101,102} Darüber hinaus ist der ADB mit einem Lautsprecher ausgestattet, der es dem ADB gestattet, mit dem Adressaten der Zustellung zu kommunizieren. Delivery Bots des Typs Robby 2 wurden bereits in öffentlichen Bereichen getestet und haben dabei bereits Zustellungen zum Kunden durchgeführt.¹⁰³

⁹⁵ vgl. Hoffmann/Prause 2018, S. 6

⁹⁶ vgl. Starship Technologies 2022b

⁹⁷ vgl. Baum/Assmann/Strubelt 2019, S. 2461

⁹⁸ vgl. Robby Technologies 2019

⁹⁹ vgl. Jennings/Figliozzi 2019, S. 16

¹⁰⁰ vgl. Robby Technologies 2019

¹⁰¹ vgl. Baum/Assmann/Strubelt 2019, S. 2461

¹⁰² vgl. Bogue 2019, S. 330

¹⁰³ vgl. Baum/Assmann/Strubelt 2019, S. 2458

3.1.4 efeuCampus Bruchsal

Während mit dem Starship und Robby 2 zwei für den kommerziellen Betrieb konzipierte Delivery Bots vorgestellt wurden, stellt der ADB des efeuCampus in Bruchsal eine andere Art Delivery Bot dar. Bei dem EU-geförderten Projekt sollen in einem Stadtquartier in Bruchsal konkrete Smart-City-Ideen und Lösungen unter realen Bedingungen getestet und optimiert werden. Im Fokus des Projekts stehen dabei die Nutzung autonomer Transportfahrzeuge zu Ver- und Entsorgungszwecken. Entgegen der üblichen Anwendung, einem Fahrzeug des entsprechenden KEP-Dienstleisters die Zustellung zu überlassen, werden am efeuCampus die Pakete in einem Quartiersdepot gesammelt, sortiert und anschließend durch quartiers- bzw. projekteigene Delivery Bots zu den Kunden gebracht. Durch diese Form der Zustellung werden die KEP-Dienstleister auf der „letzten letzten Meile“ gänzlich ersetzt.¹⁰⁴ Der bis zu 110 x 60 x 95 cm große, 4-rädrige Roboter verfügt über eine mögliche Transportlast von maximal 100 kg die er auf Gehwegen fahrend, mit einer maximalen Geschwindigkeit von 5,7 km/h, transportieren kann. Dabei ist er in der Lage auch Stufen oder Kanten mit bis zu 12 cm Höhe zu überwinden und kann bei extremen Temperaturen operieren. Über Laserscanner und Kameras, 5G-Verbindung und GPS-Ortung kann der ADB jederzeit lokalisiert werden. Die Kommunikation mit seinem direkten Umfeld erfolgt über Lautsprecher und ein LED-Lichtband, das etwa Richtungsänderungen des Fahrzeugs signalisiert.¹⁰⁵ Das Projekt unterscheidet sich auch hinsichtlich des ADB-Transportbehälters von den bereits vorgestellten Modellen. Die efeu-ADBs verfügen über zwei abnehmbare, über RFID-Chips eindeutig identifizierbare, Transportboxen, die während der Fahrt über eine Magnetverriegelung am Fahrzeug befestigt sind. Die sich in den Transportboxen befindlichen Pakete werden entweder auf synchrone (Transportbox bleibt am ADB, direkte Entnahme des Pakets aus der Transportbox durch den Adressaten) oder asynchrone Weise (ADB-eigenes Hubsystem befördert und verriegelt die verschlossene Transportbox in ein Übergabedock) zugestellt. Bestellungen aus dem Quartiersdepot können über die projekteigene „efeuApp“ aufgegeben werden, welche auch zur Freigabe der Paketboxen genutzt wird. Über die Zustellung von Paketen hinaus kann auf dem efeuCampus auch der Rücktransport ins Quartiersdepot über die efeuApp organisiert werden.¹⁰⁶ Der efeuCampus stellt ein Testfeld für den Einsatz autonomer ADBs dar – dessen Ergebnisse erst nach Beendigung des Projektzeitraums vollständig zu bewerten sind. Derzeit befinden sich die Zustellungen und Abholungen also in der Testphase.

¹⁰⁴ vgl. efeu Campus Bruchsal 2022d

¹⁰⁵ vgl. efeu Campus Bruchsal 2022f

¹⁰⁶ vgl. efeu Campus Bruchsal 2022b

3.2 Vergleich der vorgestellten Modelle

Ein direkter Vergleich zwischen den drei vorgestellten Delivery Bots kann auf zwei Ebenen vorgenommen werden: Einerseits können die sich konkret auf den ADB an sich beziehenden Aspekte verglichen werden (wobei stets zwischen den unterschiedlichen Ausrichtungen der entsprechenden Unternehmungen unterschieden werden muss), andererseits kann ein Abgleich auf Basis der in Kapitel 2.5 definierten Anforderungen durchgeführt werden, um eine Aussage zum aktuellen Stand der Technik zu treffen.

3.2.1 Vergleich technischer Details

Die folgende Tabelle soll eine Übersicht über die drei vorgestellten Modelle und den diesbezüglich beleuchteten technischen und organisatorischen Aspekten bieten.

Tabelle 5: Vergleich ADB-bezogener Details der vorgestellten Modelle

Modell Aspekt	Starship	Robby 2	efeuCampus-ADB
Träger	Starship Technologies, Kalifornien, USA	Robby Technologies, Kalifornien, USA	efeuCampus Bruchsal GmbH, Baden-Württemberg, Deutschland
Forschungsmittelgeber	/	/	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, Europäischer Fond für regionale Entwicklung, Wirtschaftsförderung der Stadt Bruchsal, Stadt Bruchsal
Grundsätzliche Ausrichtung der Unternehmung	Kommerzieller Betrieb	Kommerzieller Betrieb	Forschungsprojekt
Status der Unternehmung	Kommerzieller Betrieb	Vorkommerzieller Betrieb	Vorkommerzieller Betrieb

Aufgabenspektrum des Roboters	Zustellung	Zustellung	Zustellung und Abholung
Einsatzbereich nach Sektoren	Lebensmittel-zustellung, Paketdienstleistungen möglich	Lebensmittel-zustellung, Paketdienstleistungen	Paketdienstleistung, Abfallentsorgung
Abmessungen ADB (H x B x T) in cm	56 x 68 x 58	Keine Angaben	60 x 60 x 95 (nicht ausgefahrenes Hubsystem), 110 x 60 x 95 (ausgefahrenes Hubsystem)
Anzahl Räder	6	6	4
SADR oder RADR	SADR	SADR	SADR
Maximale Geschwindigkeit in km/h	6	10	5,7
Batteriereichweite in km	ca. 6,5	ca. 32	Keine Angaben
Transportbox	Am ADB fixiert	Am ADB fixiert	Vom ADB lösbar
Anzahl Transportelemente	Keine Angaben	1, Anzahl veränderbar	2
Maximales Transportgewicht in kg	10	27	100
Eigengewicht in kg	27	30	Keine Angaben
Navigation / Lokalisierung	Sensorik, Kameras, GPS-Ortung, Nutzung von WLAN und Drahtlosnetzen	Sensorik, 360° Infrarotkameras, GPS-Ortung	Sensorik, Kameras, Laserscanner, 5G-Verbindung, GPS-Ortung
Umfeldkommunikation	Mikrofon, Lautsprecher	Lautsprecher	LED-Band, Hupe
Bestellauslösung	Via Starship-App	Keine Angaben	Via efeuApp

Zugriff des Adressaten	Freischaltung via Starship App	Keine Angaben	Freischaltung via efeuApp
------------------------	-----------------------------------	---------------	------------------------------

Von den für den kommerziellen Betrieb konzipierten Bots stellt sich das Starship gegenüber dem Robby 2 – die tatsächliche Einsatzfähigkeit und aktuelle Anwendungsfälle betreffend - als weiter fortgeschritten heraus. Während die Delivery Bots von Starship Technologies bereits an vielen Campus zum Einsatz kommen und darüber hinaus bereits vereinzelt in Städten eingesetzt werden, kann zu Robby 2 keine derartige Aussage getroffen werden – der Einsatz geht bisher nicht über eine Test- und Erprobungsphase hinaus. Der ADB des efeuCampus in Bruchsal ist hinsichtlich des Einsatzes differenziert zu bewerten: Da es sich um ein Forschungsprojekt handelt, kann derzeit nur von einem vorkommerziellen Betrieb – einer Erprobungsphase gleichend - gesprochen werden. Dennoch kommen die Roboter auf dem Campusgelände zum Einsatz und das Projekt sammelt Daten und Erfahrung im Umgang mit autonomen Zustellungen. Mittels dadurch entstehender Erkenntnisse könnten zukünftig Grundlagen für einen späteren – über eine Pilotphase hinausreichenden – operativen Betrieb im Quartier geschaffen werden.

Aus fahrzeugspezifischer Perspektive heraus – unter Berücksichtigung der rein transportbezogenen Merkmale - überragt der Robby 2 das Starship. Er ist bei einem minimal größeren Eigengewicht in der Lage, mehr Nutzlast als das Starship zu transportieren. Darüber hinaus verfügt er über eine größere Reichweite und kann eine höhere Geschwindigkeit beim Fahren auf dem Trottoir erreichen. Der ADB des efeuCampus, ist verglichen mit Starship und Robby 2 in der Lage, wesentlich mehr Nutzlast zu transportieren, dessen Maße übersteigen die des Starships jedoch erheblich. Ob eine lösbare vom ADB lösbare Transportbox einen Vorteil gegenüber einem fixierten Laderaum darstellt, hängt von der Perspektive bzw. dem Anwendungskonzept und dessen grundsätzlicher Organisation ab. Aus navigationstechnischer Sicht unterscheiden sich die Roboter nur minimal, auch bei der Bestellungsabwicklung verfahren alle drei vorgestellten Konzepte ähnlich.

3.2.2 Anforderungsvergleich

Beim Vergleich der drei vorgestellten Modelle hinsichtlich der in Kapitel 2.5 definierten Anforderungen wird das bereits erstellte Schema genutzt, um eine ganzheitliche, über die technischen Aspekte hinausgehende Bewertung zu ermöglichen.

Tabelle 6: Anforderungsabgleich der vorgestellten ADB-Modelle mit den definierten Anforderungen an ADBs

Kategorie	Aspekt	Starship	Robby 2	efeuCampus-ADB
Fahrzeugtechnik	Navigation	Siehe Tabelle 5	Siehe Tabelle 5	Siehe Tabelle 5
	Fahr- geschwindigkeit			
	Batterie- reichweite			
	Laderaum- kapazität			
Infrastruktur	Verfügbarkeit von Infrastruktur	Nicht vom ADB abhängig	Nicht vom ADB abhängig	Nicht vom ADB abhängig
	Kommunikation zwischen ADB und Infrastruktur- elementen	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
Gesetzlicher Rahmen	Zulassung in der Bundesrepublik Deutschland	Keine allgemeine Betriebserlaubnis gemäß § 20 StVZO ^{107,108}	Keine Angaben	Derzeit Zulassung nur im Follow-me Modus; Umfassendere Zulassung gemäß StvZO beantragt
	Versicherung des Fahrzeugs	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
Standard- isierung	Prozess- standardisierung	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben

¹⁰⁷ Studie zu Starship in Hamburg¹⁰⁸ vgl. §20 StVZO

Betrieblicher Ablauf	Planung Einsatzkonzept	[Depot-ADB-Endkunde]	Keine Angaben	[Depot-ADB-Endkunde]
	Laden der Batterie	Keine Angaben	Keine Angaben	Regelmäßiger, kontaktloser Ladevorgang im Quartiersdepot, dem Übergabedock oder während des Fahrens. ADB fährt selbstständig in Ladestation. ¹⁰⁹
	Wartung/ Instandhaltung	Keine Angaben	Keine Angaben	Durchführung von Wartungs- und kleineren Instandhaltungsarbeiten im Quartiersdepot ¹¹⁰
Kosten	Investitionskosten	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
	Einsatz- und Betriebskosten	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
Drones per Operator	Anzahl Drones pro Operator	Keine Angaben, parameterbasierte Schätzung in Kapitel 3.2.3.3	Keine Angaben, parameterbasierte Schätzung in Kapitel 3.2.3.3	Keine Angaben, parameterbasierte Schätzung in Kapitel 3.2.3.3
Sicherheitskonzept	Fahrzeugsicherheit	Fahrzeugsicherheit maßgeblich auf Sensorik basierend, keine	Fahrzeugsicherheit maßgeblich auf Sensorik basierend, keine	Sicherheitssteuerung und Fahrzeugsensorik

¹⁰⁹ vgl. efeu Campus Bruchsal 2022c

¹¹⁰ vgl. efeu Campus Bruchsal 2022a

		weiteren Angaben	weiteren Angaben	
	Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer	Niedrige Fahrgeschwindigkeit, ADB in der Lage Menschen und Objekte zu erkennen und auszuweichen ¹¹¹	Keine Angaben	Personenschutzsystem basierend auf der Einhaltung der Normen DIN EN 1525, DIN EN ISO 3691-4 und DIN EN ISO 13849-1 ¹¹²

3.2.3 Drones-per-Operator

Der Einsatz fahrerloser autonomer Fahrzeuge (UAVs) verspricht maßgebliche Kosteneinsparungen durch den Wegfall der für die Fahrzeugführer aufkommenden Personalkosten. Im Kontext autonom agierender Delivery Bots fällt das Personal aber nicht gänzlich weg (vgl. hierzu Tabelle 3) sondern es entsteht ein neuer, sich vom bisherigen unterscheidender Personalbedarf. Statt eines Fahrers, der unmittelbar für die Fortbewegung und Steuerung des ihm zugewiesenen Fahrzeugs verantwortlich ist, rücken sogenannte Operatoren in das Blickfeld der Personalkostenbetrachtung. Sie stellen das Rückgrat der Bot-Flotte dar und sind dabei für die Überwachung und Kontrolle der entsprechenden ADBs zuständig. Über drahtlose Technologien sind sie in der Lage die Roboter aus einem Kontrollzentrum heraus zu überwachen (Positionsbestimmung, Zustandsabfrage, usw.) sowie im Bedarfsfall mittels Remotezugriff die Steuerung des ADB zu übernehmen und vom autonomen in den manuellen Fahrmodus überzugehen. Ob sich ein Geschäftsmodell für den Einsatz autonomer Delivery Bots als profitabel erweist, hängt unter anderem davon ab, wie viele Roboter durch einen Operator betreut werden können und dürfen. Dabei spielen neben den, auf den Fähigkeiten und der dem Operator zur Verfügung stehenden Zeit basierenden Faktoren auch rechtliche Vorgaben eine Rolle.¹¹³ So bestehen etwa für den Betrieb von Air-Drones genaue Regularien und Vorschriften – wie die Durchführungsverordnung 2021/664 der europäischen Kommission vom 22. April 2021 über einen Rechtsrahmen für den U-Space - welche neben Aspekten der Sicherheit auch Fragen der Zulassung und des Betriebs genau

¹¹¹ vgl. Starship Technologies 2022a

¹¹² vgl. efeu Campus Bruchsal 2022e

¹¹³ vgl. McKinsey & Company 2022

definieren und so einen rechtlichen Einsatzrahmen bilden.¹¹⁴ Dadurch entsteht ein präzises, juristisch genau definiertes Handlungsspektrum, an das sich die Betreiber der Air-Drones halten müssen. Für den Betrieb von bodenbasierten Technologien wie ADBs bestehen bisher keine rechtlich bindenden Regularien.

Im Falle der vorgestellten Modelle ließen sich durch die in Kapitel 3.1.1 beschriebene Methodik keine Aussage zur Drones-per-Operator (DPO) Zahl ermitteln. Da diese aber ein wichtiger Kostentreiber einer jeden ADB-bezogenen Unternehmung darstellt, soll im Folgenden eine parameterbasierte Schätzung durchgeführt werden, um die Drones-per-Operator zu ermitteln. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass ein Operator nur in den laufenden Betrieb eines ADBs eingreifen soll, wenn sich dieser in einer Problemsituation befindet, der Grad seiner Autonomie nicht genügt, um die anstehenden Prozesse oder Situationen selbstständig zu bewältigen oder sicherheitstechnische Bedenken bestehen. Eine Auswahl solcher Situationen findet sich in Tabelle 7.

Tabelle 7: Auswahl möglicher - Betreuung erfordernder - Problemsituationen

Problemsituation	Präzisierung
Kreuzen von Straßen mit Ampelbetrieb	Überwindung anderer Verkehrswege zur Erreichung des Zustellziels
Kreuzen von Straßen mit geltender Vorfahrtsregelung	Einhaltung der Verkehrsvorschriften gemäß StVO, Sicherstellung der Unversehrtheit des ADBs
Überwinden von Gräben	Überwinden von infrastrukturell- oder baustellenbedingten Hürden, bspw. Bordsteine oder größere Furchen und Gräben
Navigation in besonders engen oder schmalen Bereichen	Sicherstellung der Fahrzeugunversehrtheit und der Unversehrtheit anderer Verkehrsteilnehmer und Objekte
Navigation in schlecht kartographierten Bereichen	Manuelles Erreichen des Zustellortes
Steuerung im Falle eines technischen Defekts	Sicherung des Fahrzeugs inklusive Ladung, Problemidentifikation sowie Erarbeitung eines Lösungsansatzes

¹¹⁴ vgl. Europäische Kommission 2021

Eine genauere Betrachtung eines Betreuungsfalls muss also zwingendermaßen zeitbasiert erfolgen. Im Folgenden soll der Fall einer üblichen, ampelbasierten Straßenquerung untersucht werden.

3.2.3.1 Methodik

Das folgende Aktivitätsdiagramm soll die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Drones-per-Operator darstellen.

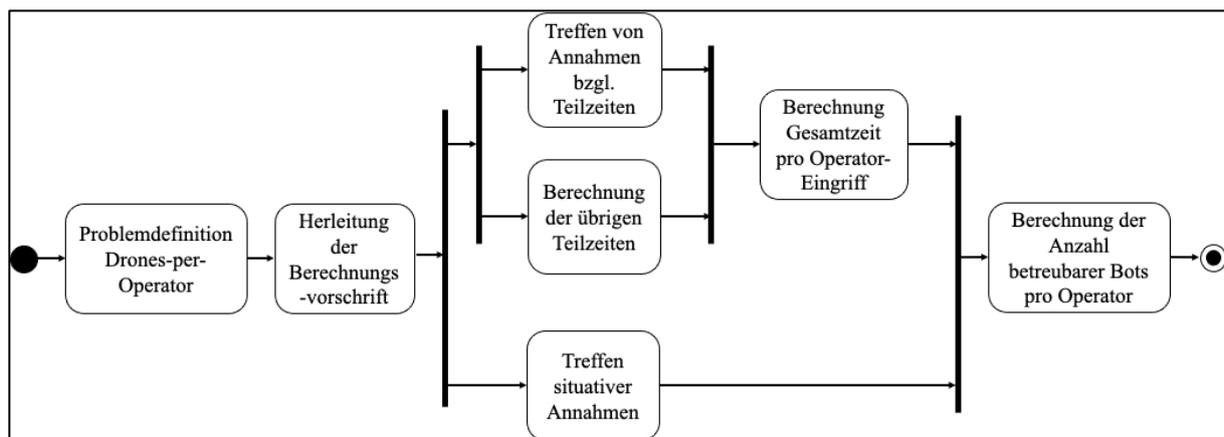


Abbildung 7: Vorgehensweise bei der Ermittlung der Größe DPO gemäß UML2-Notation (Eigene Darstellung)

Die in einem ersten Schritt vorzunehmende Problemdefinition erfolgte bereits in Kapitel 3.2.3. Nachdem das Problem definiert wurde und über eine Literaturrecherche keine Formel zur Berechnung der Drones-per-Operator gefunden werden konnte, muss eine entsprechende Berechnungsvorschrift hergeleitet werden. Im Anschluss daran sollen einerseits situative - die Ausgangslage der Betrachtung betreffende - Annahmen definiert werden und andererseits die Gesamtzeit eines Operator-Eingriffs ermittelt werden. Um für letzteren Aspekt eine konkrete Zahl ermitteln zu können, müssen für bestimmte Teilzeiten Annahmen getroffen werden, während andere zeitliche Komponenten berechnet werden können. Nachdem eine solche sowohl annahmen- als auch berechnungsbasierte Rechengrundlage geschaffen wurde, soll die Anzahl betreibbarer Bots durch einen einzelnen Operator ermittelt werden. Die Herleitung der Berechnungsvorschrift findet sich im folgenden Kapitel.

3.2.3.2 Herleitung DPO

Betrachtung eines einzelnen ADBs: Anzahl notwendiger Querungen je Stunde

Um die Anzahl notwendiger Querungen je Stunde zu berechnen, muss eine Zustellzeit $t_{zustell}$ definiert werden, welche zum Ausdruck bringt, wie lange ein ADB für eine Zustellfahrt benötigt. Darüber hinaus bedarf es einer Festlegung hinsichtlich der Anzahl an Straßenquerungen a_{quer} , die innerhalb jeder Zustellfahrt durchgeführt werden müssen. Mit Formel 1 lässt sich die konkrete Anzahl an notwendigen Operator-Eingriffen bei Straßenquerungen je Stunde berechnen.

Formel 1: Anzahl notwendiger Operator-Eingriffe je Stunde

$$\text{Anzahl an notwendigen Operator – Eingriffen je Stunde} = \left(\frac{60 [min]}{t_{zustell}} \right) * a_{quer}$$

Betrachtung eines einzelnen ADBs: Dauer aller Querungen je Stunde

Um mithilfe der Formel 1 die Dauer aller Querungen je Stunde zu berechnen, muss diese um die zeitliche Komponente der Operator-Fernsteuerung erweitert werden. Dazu wird die Gesamtzeit einer Remote-Betreuung durch einen Operator t_{rem} definiert, welche sich zwingendermaßen aus verschiedenen Teilzeiten zusammensetzt.

Mit Formel 2 lässt sich die Dauer aller Operator-Eingriffe für einen einzelnen Bot je Stunde berechnen.

Formel 2: Dauer aller Operator-Eingriffe je Bot je Stunde

$$\text{Dauer aller Operator – Eingriffe je Bot je Stunde} = \left(\left(\frac{60 [min]}{t_{zustell}} \right) * a_{quer} \right) * t_{rem}$$

Betrachtung mehrerer ADBs: Anzahl möglicher betreubarer ADBs je Stunde:

Nachdem die kumulierte Dauer einer jeden Betreuung je Bot ermittelt wurde, muss diese ins Verhältnis zu einer Stunde Arbeitszeit gesetzt werden. Mit Formel 3 lässt sich so eine Aussage darüber treffen, wie viele ADBs von einem Operator betreut werden können.

Formel 3: Drones-per-Operator

$$DPO = \frac{60 [min]}{\left(\left(\frac{60 [min]}{t_{zustell}} \right) * a_{quer} \right) * t_{rem}}$$

3.2.3.3 Berechnung DPO

Die Zeit, die der Operator benötigt, um mit dem Roboter die Straße zu überqueren kann durch Formel 4 zum Ausdruck gebracht werden:

Formel 4: Gesamtzeit einer Remote-Betreuung durch einen Operator

$$t_{rem} = t_{act} + t_{pos} + t_w + t_{drre} + t_{deact}$$

wobei

t_{rem} = Gesamtzeit einer Remote – Betreuung durch einen Operator

t_{act} = Aktivierungsdauer der Remote – Control

t_{pos} = Positionierungsdauer im Remotegebiet

t_w = Wartedauer im Remotegebiet

t_{drre} = Fahrzeit im Remote – Modus

t_{deact} = Deaktivierungsdauer der Remote – Control

Durch die dargestellten Variablen lässt sich eine zeitlich definierte Aussage darüber treffen, wie lange ein Operator für die Betreuung einer Straßenquerung für einen einzelnen ADB braucht (t_{rem}) und woraus die einzelnen Teilzeiten bestehen. Durch das Treffen diverser Annahmen lässt sich eine Zahl für die Drones-per-Operator berechnen.

Tabelle 8: Situationsbezogene Annahmen DPO

Abk.	Betreffend	Getroffene Annahme	Bemerkung
/	Anzahl Lieferungen pro Bot pro Zustellfahrt	1 Lieferung	Zustellung des Zustellobjektes, anschließende Rückkehr zum Depot
$t_{zustell}$	Fahrdauer pro Zustellfahrt eines Bots	$t_{zustell} = 15 [min]$	/
a_{quer}	Anzahl erforderlicher Eingriffe pro Zustellfahrt	$a_{quer} = 2$	Eine zu querende Ampel: Eine Querung auf dem Hin-, eine Querung auf dem Rückweg
d_{quer}	Bei der Querung zurückzulegende Distanz	$d_{quer} = 8 [m]$	Beinhaltet 2 Fahrspuren inklusive Verkehrsinsel und Radweg.

Tabelle 9: Weitere Annahmen Berechnung DPO

Abk.	Betreffend	Annahme
t_{act}	Zeit, bis der Operator vollen Zugriff auf den ADB erlangt	$t_{act} = 15 [s]$
t_{pos}	Zeit, die der Operator braucht, um den ADB an der Ampel in Querungsbereitschaft zu versetzen	$t_{pos} = 20 [s]$
t_w	Wartezeit an der Ampel oder auf der Verkehrsinsel	$t_w = 40 [s]$
t_{deact}	Zeit der Entkopplung von Operator und Bot sowie Rückkehr in den autonomen Modus	$t_{deact} = 5 [s]$

Nachdem für alle Teilzeiten Annahmen getroffen wurden außer t_{drre} , erfolgte die Berechnung dieser Größe auf Basis der in Tabelle 5 notierten Geschwindigkeiten der vorgestellten ADBs. Zur Berechnung dieser Querungszeit eines jeden ADBs wurde von der folgenden Formel Gebrauch gemacht:

Formel 5: Fahrzeit im Remote-Modus

$$t_{drre} = \frac{d_{quer} [m]}{\text{Fahrgeschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]}$$

Für die Modelle ergaben sich Querungszeiten von 4,8 Sekunden (Starship), 2,88 Sekunden (Robby 2) und 5,05 Sekunden (efeuCampus-ADB). Eine solche Berechnung kann allerdings als realitätsfern bezeichnet werden, da sie von einer durchgehenden Höchstgeschwindigkeit während der Fahrt ausgeht und dabei Be- und Entschleunigungszeiten ignoriert. Darüber hinaus muss beim Queren einer Ampel auf andere Verkehrsteilnehmer, die ebenfalls versuchen die Straße zu kreuzen, Rücksicht genommen werden, weshalb eine Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit ausgeschlossen scheint. In diesem Zuge wurde auch für t_{drre} eine Annahme getroffen: Die Querungszeit wurde auf 10 Sekunden festgelegt.

Werden alle Teilzeiten kumuliert, erhält man als Ergebnis der Formel 4 eine Dauer von 90 Sekunden oder 1,5 Minuten pro Eingriff des Operators. Unter Zuhilfenahme der Formel 3 lässt sich die Anzahl möglicher betreubarer Bots durch einen einzelnen Operator berechnen.

Gemäß der definierten Berechnungsvorschrift ergibt sich eine DPO-Zahl von 5. Da bei der Berechnung für alle drei thematisierten ADBs die gleichen Annahmen getroffen wurden kann das Ergebnis auf die drei Modelle angewandt werden.

3.2.3.4 Kritische Diskussion

Bei der Ermittlung der Drones-per-Operator können sowohl die angewandte Methodik zur Herleitung der Berechnungsvorschrift als auch die getroffenen Annahmen kritisch diskutiert werden. Die Berechnungsvorschrift beruht maßgeblich auf der Annahme, dass jede notwendige Betreuung durch einen Operator gleich lange dauert – die Berechnung erfolgt also auf Basis eines angenommenen Mittelwerts. Eine solche Betrachtung scheint in der Realität aber ausgeschlossen, so schalten beispielsweise manche Ampeln schneller als andere, was die Wartezeit t_w beeinflusst. Auch im Falle einer schwerwiegenden Komplikation fällt die Gesamtzeit t_{rem} wesentlich höher aus, als die in diesem Rechenbeispiel bezifferten 90 Sekunden. Des Weiteren wird hier davon ausgegangen, dass die Bearbeitung der Situationen sequenziell verläuft, eine parallele Bearbeitung wird dabei ausgeschlossen.¹¹⁵ Unter dieser Voraussetzung würden für gleichzeitig anfallende Betreuungssituationen für mindestens einen der ADBs zusätzliche Wartezeiten entstehen. Grundsätzlich ist das Berechnungsmodell aufgrund der fehlenden literaturbasierten Datenlage in großem Maß auf Annahmen basierend, die auf unrealistischen Einschätzungen beruhen können. Das ermittelte Ergebnis einer Drones-per-Operator Rate für die drei vorgestellten Modelle Starship, Robby 2 und den ADB des efeuCampus ist folglich eine stark annahmenlastige Schätzung. Abseits der anfallenden Teilzeiten spielen in der Realität bei der Berechnung einer DPO-Zahl auch Faktoren wie das User-Interface des Operators, die kabellose Verbindungsqualität und die softwaretechnische Zugänglichkeit eine wichtige Rolle.

3.3 Technische Problemfelder und Lösungsperspektiven

Nachdem verschiedene ADB-Modelle vorgestellt und in einem letzten Schritt sowohl auf technischer als auch auf anforderungstechnischer Ebene miteinander verglichen wurden, soll in diesem Kapitel auf Probleme und offene technische Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Einsatz autonomer Zustellroboter eingegangen werden. Entsprechende in folgenden Unterkapiteln vorgestellte Problematiken und Fragestellungen entspringen der vorausgegangenen Literaturrecherche.

3.3.1 Physische Infrastrukturnutzung

Maßgebliche Probleme beim Einsatz von ADBs entstehen durch den Umstand, dass diese zur Erfüllung der ihnen zugetragenen Aufgaben nicht nur eines, sondern mehrere verschiedene

¹¹⁵ vgl. Valero/de la Puente/Rodríguez-Losada 2010, S. 102

Elemente des Straßenverkehrs nutzen müssen. Dazu zählen neben der Nutzung der Gehwege auch das Fahren auf Radwegen oder die bereits diskutierte Kreuzung anderer Verkehrswege. Herausforderungen können dabei einerseits durch die Begegnung und den Umgang mit anderen Verkehrsteilnehmern und andererseits auf technischer Ebene bei der Nutzung der verschiedenen Verkehrswege entstehen.

So muss etwa bei der Querung einer Straße ein Verkehrsweg überwunden werden, der nicht im unmittelbaren Fokus des ADBs steht und stehen kann. Durch die teilweise erreichbaren hohen Geschwindigkeiten verschiedener Verkehrsmittel auf den Straßen können Situationen entstehen, auf die der ADB im autonomen Fahrmodus nur schwer oder gar nicht reagieren kann. Dazu zählen etwa die Erfassung und datentechnische Verarbeitung eines Fahrzeugs, das sich mit hoher Geschwindigkeit aus einem für den ADB schwer zu erfassenden Winkel der zu kreuzenden Stelle nähert. Durch die niedrigen Fahrgeschwindigkeiten der Roboter bestehen kaum Möglichkeiten, sich aus einer solchen Situation rechtzeitig zu befreien. Die Nutzung von Ampeln scheint deshalb für das Kreuzen von Straßen unerlässlich. Über die reine Unterlegenheit eines ADBs gegenüber anderen Verkehrsmitteln (bspw. KFZ oder LKWs) hinaus, entstehen dabei jedoch auch andere Probleme: Das von der Ampel ausgestrahlte Lichtsignal muss durch den ADB auf optischem Wege oder durch ein anderes Signal erfasst werden. Da eine signalbasierte Ansteuerung des ADBs eine ähnliche Verbindung zwischen Ampelsystem und Bot erfordert, wie die in Kapitel 2.4.1.3 diskutierte API, wären in diesem Falle großflächige - eine homogene und ADB-kompatible Ampel-Infrastruktur herstellende - Modifikationen erforderlich. Erfolgt keine digitale Signalübertragung zwischen Bot und Ampel, muss das optische Signal abgewartet werden. Die Erkennung dessen kann unter besonderen Lichtverhältnissen schwierig sein, sodass die Kreuzung einer Ampel die Aufmerksamkeit eines Operators erfordert, der den ADB im Remote-Control Modus über die Straße fährt. Neben den Schwierigkeiten, die an einer Ampel entstehen können, stellen auch andere Elemente öffentlicher Infrastruktur Herausforderungen dar. So kann sich die Überwindung von Höhendifferenzen schwierig gestalten, sobald kein barrierefreier Zugang bereitgestellt wird. Dazu zählen etwa Treppen, Rolltreppen oder Aufzüge. Um letztere nutzen zu können müsste ebenfalls eine Systemschnittstelle zwischen Aufzug und ADB hergestellt werden.

3.3.2 Lokalisierung und drahtlose Kommunikationstechnologien

Über die Fortbewegung des ADB betreffenden Aspekte hinaus, können auch auf technischem Wege Probleme bei der Nutzung urbaner Infrastruktur entstehen. Wie aus Tabelle 5

ersichtlich wird, navigieren alle drei vorgestellten Modelle unter anderem mittels des Satellitenortungssystems „Global Positioning System“ (GPS). GPS bildet die maßgebliche Grundlage zur Positionsbestimmung des ADBs innerhalb eines kartographierten Gebietes. Dadurch lässt sich in Echtzeit eine Aussage über die Position und die Ausrichtung des ADBs treffen, wodurch eine Überwachung und Kontrolle der Roboter ermöglicht wird. Darüber hinaus wird diese Datengrundlage benötigt, um die Navigation des Roboters auf der ihm zugeteilten Zustellroute zu ermöglichen. Innerhalb urbaner Gebiete kann sich jedoch, je nach Bebauung, durch menschengeschaffene Sichtbarrieren eine mindere Qualität der Positionslösung ergeben. Durch eine Unterbrechung des Signals zwischen Satelliten und Empfänger können somit schlechte Empfangsbedingungen und Signalstörungen entstehen.¹¹⁶ Auch die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger und die Aktualität der zu kartographierenden Gebiete spielt eine wesentliche Rolle: Nur aktuelles Datenmaterial gewährleistet einen sicheren und effizienten Ablauf der Zustellfahrt – Baustellen und veraltetes Kartenmaterial können den ADB vor Probleme stellen. Ein ähnlicher Sachverhalt stellt sich beim Aspekt der Mobilfunknetzabdeckung in urbanen Gebieten. So stellen Funklöcher eine weitere Hürde für die Nutzung der ADBs dar. Angaben der Bundesnetzagentur zufolge stellen rund 0,36% der gesamten Bezugsflächen der Bundesrepublik Deutschland ein Funkloch (nicht durch Mobilfunktechnologie gedeckte Bereiche) dar, weitere 20,44% werden als graue Flecken (von nicht allen Netzbetreibern mit mindestens 4G-Technologie versorgte Flächen).¹¹⁷

Welche Technologie des Mobilfunknetzes für den Einsatz des entsprechenden ADBs erforderlich ist, obliegt den technischen Anforderungen des jeweiligen Modells und bestimmt dadurch unter anderem das mögliche Einsatzgebiet. Infrastrukturbezogene Lösungsansätze bestehen etwa in der vorausschauenden Infrastrukturplanung sowohl für zu erschließende als auch für bestehende Gebiete. So können in neu entstehenden Quartieren zukunftsweisende Technologien eingebaut und dadurch die Einsatzwahrscheinlichkeit für ADBs gesteigert werden. Um eine solche Lösung zu ermöglichen, wäre eine Einbettung in ein quartiereigenes, dienstleisterunabhängiges System – ähnlich des efeuCampus – sinnvoll, sodass eine homogene Technologielandschaft dienstleister- und herstellerbezogene Barrieren beseitigt. Die Anpassung bestehender Technologien in bestehenden Quartieren bedarf einer gesonderten Betrachtung. Im Zuge der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung soll ein weiterer Ausbau des Mobilfunknetzes eine „flächendeckende Versorgung mit mobilen Sprach- und

¹¹⁶ vgl. Reisdorf/Wanielik 2013, S. 75 f.

¹¹⁷ vgl. Bundesnetzagentur 2022

Dateidiensten (LTE/4G)¹¹⁸ gewährleisten, wodurch die Stabilität der Datenübertragung der ADBs und deren interner Prozesse verbessert werden würde. Darüber hinaus ließen sich mittels regelmäßiger Aktualisierung von Kartenmaterial spontan auftretende Navigationsprobleme, etwa durch unvorhergesehene Baustellen, reduzieren.

3.3.3 Kundenauthentifizierung und Zugriff auf den Laderaum

Hat der ADB den Zielort seiner Zustellung erreicht, erfolgt die Übergabe des Zustellobjektes an den Adressaten. Im Gegensatz zur klassischen Zustellung mittels V-Van, bei der der Paketzusteller das Paket an der Haustüre übergibt, muss der Adressat das Paket selbstständig aus dem Laderaum des ADBs entnehmen. Um sicherzustellen, dass kein Fremdzugriff durch unautorisierte Personen durchgeführt wird, bedarf es eines Sicherheitssystems, das es ausschließlich dem Adressaten ermöglicht, den Laderaum zu öffnen und das für ihn bestimmte Paket zu entnehmen. Zur Sicherstellung dieses Umstandes müssen Sicherheitssysteme für ADBs gewisse Anforderungen erfüllen:

Tabelle 10: Anforderungsdefinition an ADB-bezogene Sicherheitssysteme

Nr.	Anforderung
1	Sicherheit des Laderaums während der Zustellfahrt
2	Ermöglichen der Öffnung des Laderaums nur für den Adressaten
3	Eingängige Bedienung und benutzerfreundliches User-Interface für den Adressaten
4	Zeitsparender Entnahme- und Quittungsprozess

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich wird, ermöglichen alle drei in den vorhergegangenen Kapiteln vorgestellten ADBs eine Entsperrung des Laderaums (bzw. der Transportbox) mittels einer ADB-eigenen Applikation für Smartphones.

Eine Verriegelung der Transportbox bzw. des Laderaums während der Fahrt ließe sich mittels entsprechender Software und physischer Barrieren umsetzen, sodass der Roboter etwa nur im ruhenden/stehenden Zustand die Öffnung des Deckels zulässt. Möglichkeiten, die Ware und den Roboter an sich vor ungewolltem Zugriff zu schützen bestehen vor allem auf technischer und softwaretechnischer Ebene. So schlagen etwa *Wang et al.* (2022) vor, für mobile Zustellroboter ein mehrgliedriges Authentifizierungsverfahren (MFA) anzuwenden, das aus zwei kooperativen- (sich durch einen aktiven Beitrag des Adressaten auszeichnenden)

¹¹⁸ Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2019, S. 6

Modulen besteht. Dabei soll einerseits ein einmalig verwendbares Passwort zum Einsatz kommen und in einem darauffolgenden Schritt eine eindeutige Identifizierung des Adressaten (via Stimmabdruck oder Gesichtserkennung) durchgeführt werden. Dazu müssten Nutzer biometrische oder akustische Datensätze hinterlegen, sodass nach erfolgter Eingabe des Einmalpassworts ein Abgleich des vorhandenen Datensatzes mit der Momentaufnahme des ADBs erfolgen kann. Werden beide Schritte als erfolgreich angesehen, erhält der Nutzer Zugriff auf den Laderaum. Nur durch Richtigkeit des Einmalpassworts kann auf weitere adressatenbasierte Datensätze zugegriffen werden – so könnten die biometrischen Daten vor fremdem Zugriff geschützt werden.¹¹⁹

Durch die Anwendung einer solchen MFA ließe sich Anforderung (2) erfüllen. Aus entwicklungstechnischer Perspektive erfordert eine solche Multifaktorauthentifizierung eine Erweiterung bzw. Anpassung der technischen Merkmale eines ADBs. So müssten etwa zur Erkennung von Gesicht oder Stimme zusätzliche Mikrofone oder spezielle Kameras eingebaut werden, sowie ein Algorithmus implementiert werden, der die entsprechenden Datensätze abgleicht. Darüber hinaus müsste die Gesichtserkennung einwandfrei funktionieren, andernfalls würden viele Problemsituationen entstehen, bei denen der Adressat keinen Zugriff auf die ihm zustehende Ware erhält und Support durch einen Operator benötigt. Datenschutztechnische Fragestellungen, die sich aus der Anwendung eines solchen Verfahrens ergeben würden, müssen separat untersucht werden. Möglichkeiten, die Anforderungen (3) und (4) zu erfüllen bestehen in der Entwicklung einer benutzerfreundlichen Applikation, in der auf übersichtliche Weise schneller Zugriff auf den ADB gewährt werden kann. Eine etwaige Implementierung des von *Wang et al.* vorgeschlagenen Verfahrens in eine solche mobile Applikation würde den Entriegelungsvorgang beschleunigen.

3.3.4 Material-Handling

Wie bereits in vorausgegangenen Kapiteln festgestellt wurde, beruht die Effizienz des Einsatzes autonomer Delivery Bots unter anderem auf dem Grad der Autonomie und damit auf der Selbstständigkeit, die der Roboter bei der Erfüllung seiner Aufgaben an den Tag legen kann. Neben der, bereits diskutierten Autonomie während der Fahrt, können auch die Prozesse vor und nach der Zurücklegung der räumlichen Distanz betrachtet werden: Die Be- und Entladung des ADBs. Die Beladung eines jeden einzelnen ADBs kann manuell, sprich

¹¹⁹ vgl. Wang/Gope/Cheng 2022, S. 2 f.

durch einen Mitarbeiter vorgenommen werden. Diese Methode erweist sich jedoch als aufwändig und personalkostenintensiv, da sich ein Mitarbeiter um die Bestückung der ADBs mit zuzustellender Ware kümmern muss. Eine Möglichkeit, den Beladeprozess zu automatisieren bestünde in einer Art Rutschensystem, mithilfe dessen Pakete über Förderbänder und unter Nutzung der Schwerkraft durch Rutschen in den geöffneten Laderaum eines Roboters gelangen. Wichtige bei einer solchen Automatisierung zu beachtenden Fragestellungen lauten beispielsweise:

Tabelle 11: Entstehende Fragestellungen bei der automatisierten ADB-Beladung

Nr.	Fragestellung
1	Wie kann die Unversehrtheit zerbrechlicher oder empfindlicher Objekte im Beladeprozess garantiert werden?
2	Wie kann verhindert werden, dass sich die Zustellobjekte bei der Beladung im Laderaum verkanten und so einen sicheren Verschluss des Laderaums behindern?
3	Wie erfährt der ADB die Zustelladresse des entsprechenden Transportobjektes?
4	Was kostet die Automatisierung einer solchen Beladung? (Flächenbedarf, Fördertechnik, Software, Kontrolle, usw.)

Zur Lösung der Fragestellungen (1) und (2) könnte ein genau geplantes Logistiklayout dienen. Dabei müsste die entsprechende Fördertechnik einen sicheren Transport, etwa über eine Anpassung der Rutsch-Winkel, sicherstellen, sodass die zuzustellenden Pakete nicht zu schnell, sondern kontrolliert in den Laderaum gleiten, statt zu fallen. Die Umsetzung eines solchen Rutschensystems bedürfte je nach Bauart des ADBs eine Anpassung des Roboters, sodass eine seitliche bzw. schräge Öffnung zum Zwecke der Beladung dienen könnte. Darüber hinaus muss sich der ADB selbstständig in eine determinierte Position begeben, die ein optimales Beladeverhalten ermöglicht. Um dem ADB neben der Ladung auch die entsprechende Zustelladresse auf den Weg zu geben, könnten Strichcodes oder RFID-Chips eingesetzt werden, wodurch sich das Paket eindeutig identifizieren ließe und Informationen über den Adressaten des Pakets direkt am Objekt gespeichert werden könnten. Um die Daten auslesen zu können bedürfte es mehrerer Barcode- oder RFID-Scanner, sowohl an der entsprechenden Fördertechnik als auch am ADB. Eine Bewertung der Kosten eines solchen automatisierten Beladekonzepts kann ohne konkrete technische Baupläne und ohne Kenntnis der Kosten für die entsprechende Logistikfläche nicht vorgenommen werden.

Ein solches Rutschensystem lässt sich jedoch nur unter der Anwendung depotbasierter Anwendungskonzepte umsetzen, denn es bedarf für die Installation des Fördersystems einen stabilen Untergrund, sowie eine gewisse Grundfläche. Darüber hinaus müsste das System trotzdem durch einen Mitarbeiter überwacht werden, der in Problemsituationen eingreifen kann, wodurch die vermeintlichen Personalkosteneinsparungen zunichte gemacht werden würden. Unter Berücksichtigung des entstehenden Personalaufwands und den anfallenden Investitionen bei der Installation des Systems scheint die Nutzung ebendieses nicht rentabel.

Bei der Übergabe des Zustellobjektes an den Adressaten hingegen könnten andere Lösungen zum Einsatz kommen. Beispielhaft hierfür ist das modulare Transportboxensystem, das auf dem efeuCampus in Bruchsal zum Einsatz kommt. Statt also auf die direkte Begegnung mit dem Adressaten und die Entnahme durch diesen zu beharren, könnte eine asynchrone Zustellung vorgenommen werden. Durch diese Entkopplung zwischen Zustellzeitpunkt und Anwesenheit des Adressaten, ließen sich unter der Voraussetzung, dass die dazu erforderliche Infrastruktur (Übergabedocks mit einheitlichem Transportboxformat) vorhanden ist, mehr Zustellungen durchführen. Die Schaffung eines einheitlichen Formates, sowohl für Transportboxen als auch für die notwendigen Übergabedocks, erfordert allerdings eine bindende Verpflichtung der entsprechenden Dienstleister an diese Vorgaben oder eine Abkehr von der dienstleisterbasierten Zustellung und eine Zuwendung zu quartiersbezogenen Lösungen, wie sie im efeuCampus erforscht werden.

4 Betriebswirtschaftlicher Hauptteil

Nachdem in vorhergegangenen Kapiteln grundsätzliche Aspekte des Betriebs autonomer Delivery Bots betrachtet und technische Details und Problemstellungen definiert wurden, sollen in diesem vierten Hauptteil die betriebswirtschaftlichen Aspekte einer ADB-basierten Zustellung untersucht werden. Dazu soll ein Geschäftsmodell sowie ein dazu passendes Rechentool konzipiert werden, mithilfe dessen sich eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer ADB-basierten Paketzustellung treffen lässt.

4.1 Terminologie

In diesem ersten Unterkapitel des betriebswirtschaftlichen Hauptteils der Abhandlung soll durch eine genauere Definition der verwendeten Termini Begriffsklarheit hergestellt werden.

4.1.1 Geschäftsmodell

Um in kommenden Kapiteln ein Geschäftsmodell für den Einsatz besagter Delivery Bots generieren zu können, muss zuerst ein gemeinsames Verständnis davon hergestellt werden, was ein Geschäftsmodell ist und wodurch es sich auszeichnet. Dazu finden sich in der betriebswirtschaftlichen Literatur, insbesondere in Werken zu strategischem Management und Unternehmensführung, eine Vielzahl an Definitionen, deren Breite einen großen Interpretationsspielraum zulässt. Eines der bekanntesten Werke, das sich mit Geschäftsmodellen – im weiteren Verlauf dieser Arbeit auch Business-Model genannt – auseinandersetzt, ist das 2011 erschienene „Business Model Generation“. Darin definieren die Autoren *Osterwalder* und *Pigneur* ein Geschäftsmodell als Beschreibung dessen, wodurch eine Unternehmung „[...] Werte schafft, vermittelt und erfasst“¹²⁰. Dabei liefern sie mit dem Business Model Canvas (BMC) ein aus neun verschiedenen Bausteinen bestehendes Framework, mithilfe dessen sich Geschäftsmodelle übersichtlich und umfassend erstellen, beschreiben und beurteilen lassen. *Wirtz* hingegen, beschreibt ein Geschäftsmodell als eine simplifizierte sowie aggregierte Darstellung der für die Werterstellung relevanten Aktivitäten eines Unternehmens.¹²¹ *Müller-Stewens* und *Lechner* (2016) reduzieren Geschäftsmodelle auf fünf relevante Dimensionen, um Geschäftsmodelle analysieren oder neu entwickeln zu

¹²⁰ Osterwalder/Pigneur 2010, S. 18

¹²¹ vgl. Wirtz 2020, S. 56

können.¹²² Eine Darstellung der Dimensionen sowie einer Beschreibung findet sich in Tabelle 12.

Tabelle 12: Dimensionen der Gestaltung und Analyse von Geschäftsmodellen gemäß Müller-Stewens und Lechner (2016)

Dimension	Beschreibung
Nutzenversprechen	Bedürfnisbefriedigung bzw. Lösen eines Kundenproblems; Worin sieht das Unternehmen seine Aufgabe?
Design der Aktivitäten	Grundlegende Struktur und Anzahl der Aktivitäten des Geschäftsmodells; Komplexität des Aufbaus (Konzentration auf wenige Aktivitätselemente vs. Kombination und Fokus mehrerer Aktivitätselemente); Frage der Wertschöpfungstiefe (Autarkie vs. Kooperation);
Steuerung	Koordination und Interaktion der Aktivitäten untereinander; Ausprägung der Steuerungssystematik (Push- vs. Pull Steuerung) Grad der Vernetzung verschiedener unternehmensspezifischer Aktivitäten
Ressourcen	Art der zur Wertschöpfung notwendigen Ressourcen sowie deren Einsatz; Physische Ressourcen; Humanressourcen; Organisationale Ressourcen
Ertragsmechanik	Mechanik zur Erzielung finanzieller Überschüsse durch Erbringung des Nutzen- bzw. Leistungsversprechens; Zusammenhang zwischen Ertragsmodell, Kostenstruktur, Margenmodell und Ressourcengeschwindigkeit

Die verschiedenen vorgestellten Ansätze zur Beschreibung von Geschäftsmodellen lassen sich schwer in einer eindeutigen Definition statieren. Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass sich Geschäftsmodelle als Kompendium sämtlicher Aktivitäten und Entscheidungen definieren lassen, die bestimmte unternehmensbezogene Aspekte betreffen. Dazu zählt die Zielkundengruppe, die Natur des zu generierenden Mehrwerts, die Art und Weise zur Erstellung dessen sowie der Weg durch den generierten Mehrwert Gewinne zu

¹²² vgl. Müller-Stewens/Lechner 2016, S. 371 ff.

erwirtschaften.¹²³ Neben dem erwähnten BMC bestehen weitere Methoden und Modelle zur Visualisierung von Geschäftsmodellen. Anwendung und Hauptziel solcher Modelle finden sich etwa bei der Vorstellung des eigenen Unternehmens gegenüber betriebsfremden Personen oder möglichen Investoren, um sie auf übersichtliche Weise umfassend mit dem eigenen Unternehmen vertraut zu machen.¹²⁴

4.2 Geschäftsmodell-Konzeption

In diesem Unterkapitel soll einerseits die Methodik der Konzeption vorgestellt und andererseits die dabei relevanten Aspekte genauer beleuchtet werden, sodass eine möglichst genaue Grundlage für die durchzuführende Finanzplanung vorliegt.

4.2.1 Methodik

Zur Erstellung des Geschäftsmodells sowie der darauffolgenden Darstellung dessen, soll das bereits beschriebene BMC dienen. Da sich das BMC primär dazu eignet, Geschäftsmodelle auf übersichtliche Art und Weise zu visualisieren, soll es erst gegen Ende des folgenden Unterkapitels graphisch dargestellt werden. Die Inhalte und Ideen, auf denen das Geschäftsmodell fußt, sollen jedoch direkt unter den Bezeichnungen der Bausteine des BMC vorgestellt und erläutert werden, sodass sich eine Implementierung in das BMC-Framework möglichst leicht umsetzen lässt. Bevor jedoch ein konkretes Geschäftsmodell für den Einsatz autonomer Zustellroboter entwickelt werden kann, soll ein Verständnis davon hergestellt werden, was genau das BMC ist, woraus die neun Elemente des BMC bestehen und welche Kernfragen durch sie beantwortet werden können.

Beim Business Model Canvas handelt es sich um ein Werkzeug, das dem Entwurf, der Darstellung sowie der Analyse von Geschäftsmodellen dient.¹²⁵ Dabei sollen in einem aus neun Bauteilen bestehenden Canvas, die wichtigsten Aspekte des Geschäftsmodells zusammengefasst und abgebildet werden. Dadurch lassen sich selbst komplexe Geschäftsmodelle übersichtlich visualisieren und durch die Herstellung eines einheitlichen Frameworks vergleichen.

¹²³ vgl. Sternad/Schwarz-Musch/Krenn 2021, S. 7

¹²⁴ vgl. Sternad/Schwarz-Musch/Krenn 2021, S. 7 f

¹²⁵ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 12

Tabelle 13: Bausteine des BMC, Kernfragestellungen und mögliche Ausprägungen

Baustein	Kernfragen	Mögliche Ausprägungen
Kunden-segmente	Für wen wird durch die Unternehmung Wert generiert? Wer sind unsere Kunden – und wer nicht?	Bedienung eines Massenmarktes; Beschränkung auf eine Marktnische ¹²⁶
Wertangebote	Welchen mittel- oder unmittelbaren Mehrwert generieren wir für unsere Kunden?	Steigerung der Bequemlichkeit des Kunden; Erleichterung der Arbeit des Kunden; Befriedigung des Niedrigpreiskundensegments ¹²⁷
Kanäle	Wie erreiche ich meine ausgewählten Kundensegmente? Welche Kanäle nutze ich zu welchem Zwecke?	Direkte und indirekte Vertriebskanäle; eigene- und partnerbasierte Kanäle ¹²⁸
Kunden-beziehungen	Wie stehe ich in Kontakt zu meinen Kunden? Wie intensiv ist der Kontakt zwischen Kunden und Unternehmen? Welche Erwartungen stellen die Kunden an diesen Kontakt?	Selbstbedienung des Kunden nach Bereitstellung der notwendigen Ressourcen; digitale, automatisierte Dienstleistungen; direkter Kundenkontakt vor, während und nach dem Kauf ¹²⁹
Einnahme-quellen	Für welche Werte sind unsere Kunden bereit zu zahlen? Welchem Modell liegen unsere Einnahmen zugrunde? Wie erfolgt meine Preisgestaltung?	Verkauf von physischen Waren; Erhebung einer Nutzungsgebühr für das Erbringen von Dienstleistungen; Verleih oder Vermietung von immateriellen und materiellen

¹²⁶ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 24 f.¹²⁷ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 26 ff.¹²⁸ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 30 f.¹²⁹ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 32 f.

		Gegenständen ¹³⁰
Schlüssel-ressourcen	Welche Wirtschaftsgüter sind von großer Bedeutung für die Erstellung des Wertangebots? Welche Arten von Schlüsselressourcen werden dafür benötigt?	Materielle und immaterielle Ressourcen; Humanressourcen; finanzielle Ressourcen ¹³¹
Schlüssel-aktivitäten	Durch welche Aktivitäten lässt sich unser Wertangebot umsetzen? Welche Aktivitäten generieren das Wertangebot?	Herstellung eines Gutes; Lösen eines Problems (Dienstleistung); Bereitstellung von Ressourcen (bspw. Netzwerk) ¹³²
Schlüssel-partnerschaften	Wer sind unsere Partner, die zur Erstellung des Wertangebots beitragen? Zu welchem Grad und auf welche Art tragen sie zur Erstellung des Wertangebots bei?	Wettbewerber und Nicht-Wettbewerber als Partner des Unternehmens; Nutzung spezifischer Ressourcen (Absatzkanäle, Wissen, ...); Risikostreuung ¹³³
Kostenstruktur	Welche Kosten fallen im Rahmen der Schaffung des Wertangebots an? Welche Aktivitäten sind wie teuer? Welcher grundsätzlichen Kostenstruktur unterliegt das Geschäftsmodell?	Fixe und variable Kosten; Kostentreiberidentifikation; Kosten- vs. Wertorientierung des Geschäftsmodells ¹³⁴

Die genaue Vorgehensweise bei der Erstellung des Geschäftsmodells bis hin zum fertigen BMC soll durch Abbildung 8 verdeutlicht werden.

¹³⁰ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 34 ff.

¹³¹ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 38 f.

¹³² vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 40 f.

¹³³ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 42 f.

¹³⁴ vgl. Osterwalder/Pigneur 2010, S. 44 f.

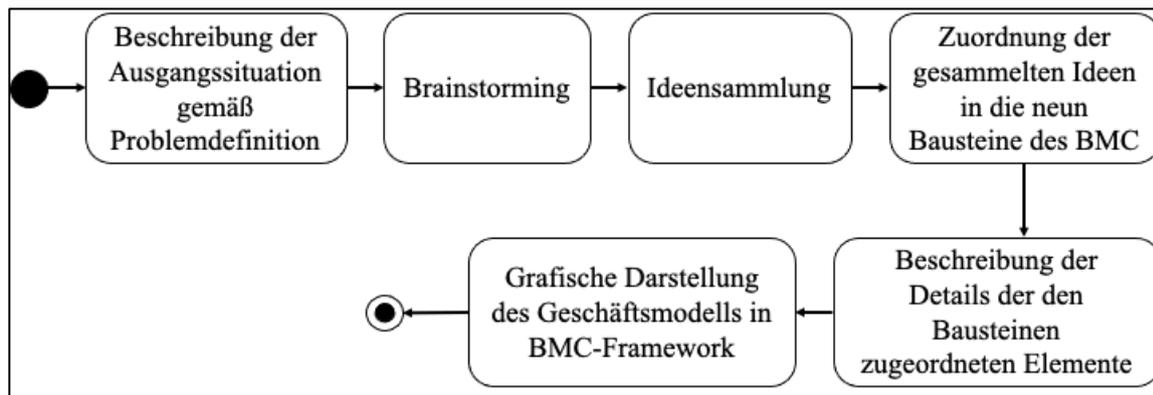


Abbildung 8: Vorgehensweise bei der Konzeption und Erstellung des Geschäftsmodells gemäß UML2-Notation (Eigene Darstellung)

4.2.2 Geschäftsmodell für die Verwendung von ADBs

Gemäß Abbildung 8 sollen die gesammelten Ideen vorzugsweise in die Bausteine des BMC sortiert werden. Die Reihenfolge der Bausteine und Inhalte wurde jedoch verändert, um ein besseres Verständnis über die Funktionsweise und die mögliche Anwendung des Geschäftsmodells herzustellen. Dabei soll nach einer Betrachtung der Ausgangssituation zuerst die potenzielle Kundengruppe definiert, im Anschluss die Funktionsmechaniken der Kernleistungen des Geschäftsmodells verdeutlicht und im Anschluss daran weitere Details vorgestellt werden.

4.2.2.1 Ausgangssituation

Die für das zu erstellende Geschäftsmodell vorliegende Ausgangssituation kann gemäß der Problemdefinition wie folgt formuliert werden: Es gilt ein Geschäftsmodell aus der Sicht eines existierenden Paketzustelldienstes (KEP-Dienstleister) zu entwickeln, bei dem die Zustellung der Pakete durch autonome Delivery Bots vorgenommen wird. Die mit dieser Leistung zu bedienenden Areale beschränken sich dabei auf urbane Gebiete, speziell soll es um die Bedienung der Innenstadtgebiete gehen. Die zu transportierenden Zustellobjekte unterliegen dabei der branchenüblichen Normen der KEP-Güter, sprich einem Gewicht geringer 31,5 kg.¹³⁵ Das Geschäftsmodell beschränkt sich dabei auf die Bedienung der letzten Meile, sprich dem Nachlauf eines Transportes. Vor- und Hauptlauf des Transportes sollen im Geschäftsmodell nicht genauer betrachtet werden.

¹³⁵ vgl. Schulte 2017, S. 321 f.

4.2.2.2 Kundensegmente

Die Idee, autonom agierende Zustellroboter auf der letzten Meile einzusetzen, stellt keine grundsätzliche Veränderung der durch den KEP-Dienstleister zu erfüllenden Aufgabe dar. Was sich bei der Paketzustellung jedoch verändert, sind etwa die Wahl des dazu benötigten Transportmittels sowie die dadurch implizierten Veränderungen in den Abläufen – sowohl adressaten- als auch dienstleisterseitig. Die dadurch angesprochene Kundschaft und die Nutzer der Transportdienstleistung verändern sich gegenüber der „klassischen“ Paketzustellung mittels V-Van kaum. Es soll weiterhin ein Massenmarkt bedient werden, möglichst jede Person, die im Einsatzgebiet der ADBs eine Lieferung erwartet, soll bedient werden können. Durch die in Kapitel 1.2 vorgenommene thematische Abgrenzung und Beschränkung des Geschäftsmodells auf den urbanen Raum, kann hier eine erste Zielgruppenabgrenzung vorgenommen werden. Zwar soll ein Massenmarkt bedient werden, jedoch ist dieser auf die Bewohner urbaner Gebiete beschränkt; Bewohner des ruralen Raumes oder der Vorstadtgebiete werden aus der Betrachtung ausgeschlossen. Darüber hinaus soll das Geschäftsmodell ähnlich der in Kapitel 3.1 vorgestellten ADB-Modelle, primär über eine Applikation für mobile Endgeräte gesteuert werden, über die etwa Aspekte des Sendungstrackings oder der Festlegung des Zustellpunktes geregelt werden sollen. Die Nutzung bzw. Inanspruchnahme der Zustelleistung durch einen ADB setzt also den Besitz oder den Zugang zu einem Smartphone, Tablet oder einem anderen netzwerkfähigen Endgerät voraus. Das für das Geschäftsmodell relevante Kundensegment (KS) konzentriert sich also auf einen Massenmarkt; auf Kunden denen aufgrund ihrer Wohn- oder Arbeitssituation der Zugang zu ADB-Zustellungen in urbanen Gebieten gewährleistet ist und die die digitalen Voraussetzungen an eine Zustellung durch autonome Roboter erfüllen. Eine weitere Differenzierung der Kunden ist deshalb nicht erforderlich, weil die Komplexität der Zustellabwicklung seitens der Adressaten - durch eine homogene Abwicklung aller Zustellungen über internetbasierte Anwendungen - minimiert werden soll. Die Annahmenbasierte Bestimmung einer potenziellen Kundenmenge erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

4.2.2.3 Wertangebote

Das Wertangebot (WA), dass durch die Lieferung des Zustellobjektes mittels ADB geschaffen werden soll, stellt an sich keine Neuheit dar. Das kundenseitige Bedürfnis bzw. Nachfrage nach einer Dienstleistung, die eine Lieferung von Gütern bis an die Haustüre ermöglicht, bleibt unabhängig von der Wahl des dabei zum Einsatz kommenden Transportmittels bestehen. Der wahre Wert, der durch den Wechsel des Transportmittels

geschaffen wird, entsteht aus der stark erhöhten Zustellwahrscheinlichkeit sowie dem damit einhergehenden Kundenkomfort und stellt damit eine qualitative Wertsteigerung dar. Durch die App-seitige Festlegung eines Zustellpunktes und eines Zustellzeitraumes wird dem Nutzer ermöglicht, seine Lieferung nach seinen Wünschen entgegenzunehmen. Durch die Einbindung des Kunden in diese Zustellparameter kann einerseits die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Zustellung erhöht werden und kundenseitig auf einfache Weise ein bequemerer Zustellprozess gewährleistet werden. Durch die eigens gewählten Übergabeparameter muss der Adressat keine Wege zu Abholstationen zurücklegen oder auf eine Zweitzustellung warten, sodass für diesen mehr Planbarkeit in Bezug auf Verbleib und Status seiner Lieferung besteht. Besonders für Arbeitstätige oder Single-Haushalte kann dies eine enorme Entlastung darstellen. Somit können auch spezifische Bedürfnisse und Anforderungen an eine Zustellung, etwa von schichtarbeitenden Personen – für die nur gewisse Zeitfenster der Zustellung infrage kommen – befriedigt werden.

4.2.2.4 Schlüsselaktivitäten

Der in Kapitel 4.2.2.3 für den Kunden geschaffene Mehrwert des gesteigerten Komforts bzw. der gesteigerten Kundenerfahrung wird durch den Wechsel des Transportmittels der Zustellung erreicht. Genauer gesagt durch den Umstieg von V-Vans auf elektrische ADBs. In diesem Unterkapitel soll das für dieses Geschäftsmodell zugrundeliegende Anwendungskonzept vorgestellt werden. Um eine hohe Auslastung der ADBs sicherzustellen, soll das Geschäftsmodell Anwendung in einer kleineren Großstadt finden. Die hohe Einwohnerzahl geht dabei mit einer hohen potenziellen Kundenzahl einher, wodurch sich Konsolidierungseffekte realisieren lassen. Um die Zahl der notwendigen Depots und den damit einhergehenden Investitionskosten für benötigte Depots und Logistikflächen in Endkundennähe niedrig zu halten, sollen elektrische Mutterschiff-Vans zum Einsatz kommen. Diese sollen gemäß dem als [Depot-Van-ADB-Endkunde] dotierten Konzept an einem Depot mit Robotern und zuzustellender Ware beladen werden, ins Zielgebiet fahren und die ADBs ausschwärmen lassen. Diese kehren sowohl nach erfolgter als auch im Falle einer nicht erfolgten Zustellung zum Mutterschiff-Van zurück, um entweder neu beladen oder um ins Depot rückgeführt zu werden. Bei dem dabei zum Einsatz kommenden Roboter soll es sich um ein Modell handeln, dass über einen fest angebrachten Laderaum verfügt, also eine synchrone Zustellung stattfinden muss. Eine asynchrone Zustellung würde das Vorhandensein von Transportdocks erfordern, welche aufgrund fehlender Infrastruktur und nicht vorhandener Homogenität der Anbieter unmöglich scheint.

Die zur Erbringung dieser ADB-basierten Zustellung erforderlichen Schlüsselaktivitäten (SA) bestehen einerseits im Transport der ADBs ins Zielgebiet als auch aus dem tatsächlichen Transport des Zustellobjektes durch den Roboter. Eine Schlüsselaufgabe fällt bei der Betrachtung letzteren Aspektes auf die Operatoren, da sie den Erfolg einer ADB-Zustellung sicherstellen sollen. Somit hängt die Sicherstellung des Zustellerfolges einerseits von der Qualität der dem ADB zugrundeliegenden Soft- und Hardware und andererseits von den Operatoren ab, die im Bedarfsfall Hilfestellung leisten. Dementsprechend können aus Serviceperspektive eine möglichst hohe Zustellrate und eine hohe Liefertreue (Gewährleistung der Termintreue gemäß vereinbartem Zustellzeitpunkt) als Ziele von großer Bedeutung definiert werden. Eine weitere Schlüsselaktivität, besteht in der Bereitstellung einer Plattform, die eine Steuerung und Auftragsabwicklung per App ermöglicht und somit die Voraussetzung für kundenkonforme Zustellzeiträume schafft. Diese bietet die Möglichkeit, mit den Kunden möglichst früh in Kontakt zu treten und bildet so die informationstechnische Schnittstelle zwischen Kunde und KEP-Dienstleister. Zu weiteren Details zur Plattform und der dazugehörigen Applikation vgl. Kapitel 4.2.2.5.

4.2.2.5 Kanäle

In diesem Unterkapitel soll beschrieben werden, wie das Unternehmen die Kunden auf eine mögliche ADB-Zustellung aufmerksam macht, sowie welche Medien zur Auftragsabwicklung genutzt werden. Im Speziellen soll hierbei auf die plattformbasierte App eingegangen werden, welche die Grundlage für die zeit- und ortsgerechte Zustellung bildet.

Wie bereits beschrieben, erfordert die Zustellung durch einen ADB, insbesondere die Annahme eines Paketes, die Verfügbarkeit eines mobilen Endgerätes mit App-Zugang. Das Konzept lässt sich grundsätzlich nur dann anwenden, wenn der Adressat einer Lieferung sich dessen bewusst ist, dass er eine Lieferung erwartet, da er den Zeitpunkt der Zustellung selbst festlegen muss. Lieferungen, von denen der Adressat nicht in Kenntnis gesetzt wurde, können nicht mit dem ADB zugestellt werden, da auch in diesem Fall kein Zustellort oder Zustellzeitraum vereinbart wurde. Diesem Sachverhalt entsprechend müsste die Lieferung mit dem ADB direkt, also unmittelbar bei der Bestellauslösung (etwa in einem Online-Shop), als alternative Liefervariante – ggü. der klassischen Zustellung per V-Van - angeboten werden. Ein radikaler Umstieg auf die Liefervariante ADB würde Menschen, die nicht dem anzusprechenden Kundensegment angehören, ausschließen und die Zahl möglicher Kunden reduzieren. Darüber hinaus bietet die zusätzliche Option die Freiheit selbst zu wählen, ob die Zustellung per Standardlieferung oder ADB erfolgen soll und könnte so die Akzeptanz der

roboterbasierten Paketzustellung steigern. Die Option sollte dementsprechend entweder direkt im Online-Shop bei der Auswahl der Versandart oder zu einem späteren Zeitpunkt, nach Auftragserteilung via Standardversand angeboten werden.

Zum Einsatz könnte hierbei eine Plattform kommen, auf der sich die Nutzer registrieren, ihre Daten hinterlegen und somit eindeutig identifizierbar sind. Im Falle einer Bestellung könnten sie sich über den erstellten Account im Browser einloggen und in einer gesonderten Maske einen Zustellzeitraum, Ort und weitere Details zur Lieferung angeben. Über den Nutzeraccount und eine App könnten solche Aufträge über einen Code verifiziert und der Auftrag dadurch über eine zweistufige Authentifizierung bestätigt werden. Durch die Existenz eines Nutzeraccounts könnten selbst Adressaten unangekündigter Pakete benachrichtigt werden, dass diese eine Lieferung erwarten und die Option der ADB-basierten Zustellung anbieten. Der in diesem Fall weitere Ablauf erfolgt gleichermaßen wie bei einer Bestellung in einem Online-Shop. Über die App ließen sich Aspekte wie eine Sendungsverfolgung, ein Tracking des Roboters, sowie frühzeitige Änderungen der Zustellparameter realisieren. Darüber hinaus bietet die App die Möglichkeit der in Kapitel 3.3.3 diskutierten Authentifizierung des Kunden beim Öffnen des Laderaums, etwa durch einen Pin oder die Nutzung eines im Smartphone hinterlegten Fingerabdrucks. Somit könnten kundenseitig beinahe alle Aspekte der roboterbasierten Zustellung über die App ablaufen, während dieser lediglich seine Daten über einen Nutzeraccount hinterlegen muss.

Der für das Geschäftsmodell optimale Kanal (KA) stellt also eine digitale Plattformlösung dar, die für die Kunden vor, während und nach der Auftragserteilung über eine App zugänglich ist.

4.2.2.6 Kundenbeziehungen

Die Zustellung eines Paketes erfordert im Normalfall kaum Kontakt zwischen Versender und Adressaten. Im Falle einer Standardlieferung über einen V-Van entsteht der Kontakt zwischen Adressaten und KEP-Dienstleister gewöhnlicherweise nur im Problemfall, etwa wenn Pakete an falsche Adressen zugestellt werden, oder gar nicht erst beim Empfänger ankommen. Mittlerweile bieten verschiedene KEP-Dienstleister zusätzlich die Möglichkeit an, über eine App ein Sendungstracking durchzuführen.¹³⁶ Dadurch werden die Kundenbeziehungen (KB) - obwohl es sich um eine automatisierte Dienstleistung handelt - intensiviert. Wie aus Kapitel 4.2.2.5 ersichtlich wird, erfordert der Einsatz autonomer Zustellroboter für die innerstädtische

¹³⁶ vgl. Schulte 2017, S. 322

Heimzustellung eine größere Beteiligung des Adressaten als die klassische Zustellvariante mit V-Van. So muss einerseits die Auftragsbestätigung, die Festlegung der Zustellparameter und das Öffnen des Laderaums direkt durch den Kunden übernommen werden. Eine Abwicklung solcher Vorgänge erfordert keine direkte, persönliche Unterstützung durch einen Mitarbeiter, sondern kann durch automatische Dienstleistungen im digitalen Format abgewickelt werden. Durch die Bereitstellung digitaler Masken und Eingabeformate der Plattform bzw. App lassen sich diese Prozesse automatisieren. Damit eine solche „Selbstbedienung“ innerhalb des Systems möglich wird, müssen die Benutzeroberflächen übersichtlich gestaltet und die Prozesse für den Adressaten möglichst einfach und schlank gestaltet werden. Durch die Entwicklung einer intuitiv bedienbaren, aber dennoch funktionalen App könnten nutzerbezogene Hemmnisse gegenüber der ADB-Zustellung abgebaut werden. Für Probleme, welche voraussichtlich vermehrt kurz nach Einführung des ADB-Angebots auftreten würden, sollte eine Support-Stelle bereitgestellt werden, die Kunden dabei unterstützt das Angebot richtig zu nutzen und in Problemsituationen aushelfen kann.

4.2.2.7 Schlüsselressourcen

Die zur Generierung des Wertangebots erforderlichen Schlüsselressourcen (SR) lassen sich aus den Schlüsselaktivitäten ableiten. Dabei muss zwischen verschiedenen Ressourcenarten differenziert werden.

Humanressourcen: Als Schlüsselressourcen können hier die Operatoren angeführt werden, da sie die Sicherstellung einer erfolgreichen Zustellung verantworten. Nur durch gut ausgebildete und mit den nötigen technischen Instrumenten ausgestattete Operatoren lässt sich die Schlüsselaktivität „Paketlieferung durch ADB“ gewährleisten. Darüber hinaus bedarf es weiteren Personals: Mitarbeiter für Verwaltungsaufgaben und Kundenservice (Support), Fahrer für die Mutterschiffe (welche auch die Beladung und Betreuung vor Ort übernehmen) sowie Lageristen und administratives Personal für den Betrieb der Depots.

Immaterielle Ressourcen: Zu den immateriellen Schlüsselressourcen kann die erwähnte App bzw. Browserplattform dienen, mitsamt der gespeicherten Kundendaten. Sie bildet die Grundlage der Auftragsabwicklung und ermöglicht die Umsetzung des Geschäftsmodells für größere Nutzerzahlen. Über die reine Auftragsabwicklung hinaus, zählen auch andere Softwaremodule, etwa die zur Verwaltung der Depots oder zum Betrieb der ADBs, zu den immateriellen Ressourcen.

Physische Ressourcen: Die physischen Schlüsselressourcen zur Erfüllung der Schlüsselaktivitäten bestehen aus der Flotte an autonomen Delivery Bots sowie der

Gesamtheit der Mutterschiffe, die zum Einsatz kommen. Darüber hinaus können auch die Depots und ihr Innenleben als physische Ressourcen angesehen werden. Wie viele ADBs und Mutterschiffe genau zum Einsatz kommen, hängt von verschiedenen Faktoren ab: Dazu zählen etwa die Auftragslage, Investitionskosten für ADB und Mutterschiffe, die Größe des zu bedienenden Areals sowie die Kundenzahl (maßgeblich von der Größe des Kundensegments im Einsatzgebiet abhängig). Eine detailliertere Auskunft über anfallende Investitionskosten kann Kapitel 4.3.2 entnommen werden.

4.2.2.8 Schlüsselpartnerschaften

Da der Umstieg auf Zustellroboter auf technischer Ebene einen großen Schritt bedeutet, bedarf es neben fähigen Operatoren, die in der Lage sind, ADB-bezogene Probleme zu lösen, auch Unterstützung und Zusammenarbeit mit und durch den Hersteller des gewählten ADB-Modells. Durch die Bereitstellung technisch einwandfreier Hard- und Software für den Betrieb der ADB-Flotte tragen sie eine große Mitverantwortung bei der Erfüllung der als Wertangebot definierten Leistungsversprechen. Da der KEP-Dienstleister nicht über ein unternehmenseigenes ADB-Modell verfügt, muss dieses durch eine dritte Partei bereitgestellt werden, welche damit eine Schlüsselpartnerschaft (SP) darstellt. Durch die Akquise der Roboter verfügt das Unternehmen über die notwendige Hard- und Software, Besonderheiten oder Lizenzen müssen jedoch gesondert betrachtet werden. So bedarf es neben einer reinen Verfügbarkeit geeigneter Robotermodelle auch einer Möglichkeit Schulungen - etwa bzgl. Wartungen - oder Softwareupdates in Anspruch zu nehmen, sodass eine hohe Einsatzbereitschaft garantiert und technische Probleme möglichst ausgeschlossen werden können. Dabei sollen im Konkreten etwa eine in regelmäßigen Zeiträumen erfolgende Wartung durch den Hersteller der Modelle durchgeführt werden.

4.2.2.9 Einnahmequellen

Die Einnahmequelle (EQ) des Geschäftsmodells verändert sich gegenüber der bisherigen Zustellmethode nicht. Der Kunde bzw. Nutzer, der die Zustelleistung in Anspruch nimmt, entrichtet eine Nutzungsgebühr für die erbrachte Dienstleistung. Die Berechnung dieser erfolgt je Zustellung, die Regelmäßigkeit der Zahlungseingänge je Kunde hängt also direkt mit dem Bestellverhalten zusammen. Auch der Bezahlprozess ändert sich nicht: Der Kunde entrichtet weiterhin – etwa bei einer Onlinebestellung – direkt die Gebühren für die Lieferung. Der Preis für die ADB-basierte Zustellung muss dem Kunden bereits in der Bestellmaske transparent gemacht werden. Der Preisgestaltungsmechanismus muss in einer

gesonderten Betrachtung untersucht werden und in Bezug auf die entstehenden Kosten je Sendung gestaltet werden. Davon ausgehend, dass nur ein Paket im Transportfach eines jeden Roboters transportiert werden kann, muss der Preis jedoch als Festpreis gestaltet werden. Der dabei entstehende Absatzpreis muss grundsätzlich wettbewerbsfähig gegenüber der klassischen Paketzustellung sein. Eine genauere Betrachtung der Preisgestaltung sowie der Ertragsmechanismen erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

4.2.2.10 Kostenstruktur

Die Kosten, die durch die Erbringung des Wertangebots und den dazu notwendigen Schlüsselaktivitäten und -ressourcen entstehen, sollen selbstverständlich minimiert werden. Eine genauere Betrachtung der anfallenden Kostenstruktur (KOS) sowie eine Relation zu generierten Erlösen erfolgt in Kapitel 4.3.3. Grundsätzlich kann das Geschäftsmodell aber durchaus als kostenorientiert beschrieben werden. Dabei sollen die Kosten je Zustellung minimiert und so eine kostengünstigere Alternative auf der letzten Meile zur klassischen Paketzustellung geschaffen werden.

4.2.2.11 Business Model Canvas

SP	SA	WA	KB	KS
<ul style="list-style-type: none"> - ADB-Modell Hersteller - Wartung der Roboter 	<ul style="list-style-type: none"> - Paketzustellung durch ADB gemäß gewählter Zustellparameter - Bereitstellung einer digitalen Plattformlösung 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Kundenkomfort durch Bereitstellung individueller Zustellmöglichkeiten - Steigerung der Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Zustellung 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisierte Dienstleistungen - Selbstbedienung über Plattform oder App 	<ul style="list-style-type: none"> - Bewohner urbaner Gebiete mit Zugang zu netzwerkfähigen mobilen Endgeräten
	SR		KA	
	<ul style="list-style-type: none"> - Humanressourcen - ADB und Mutterschiff-Flotte - Plattform/App 		<ul style="list-style-type: none"> - Digitale Plattformlösung - Auftragserteilung & -abwicklung über App 	
KOS			EQ	
<ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten siehe Kapitel XYZ - Kostenstruktur siehe Kapitel XYZ 			<ul style="list-style-type: none"> - Entrichtung einer Nutzungsgebühr - Kosten je Zustellung - Preisfestlegung siehe Kapitel XYZ 	

Abbildung 9: Geschäftsmodell für den Einsatz autonomer Zustellroboter in der innerstädtischen Heimzustellung dargestellt im Format des BMC (Eigene Darstellung)

4.3 Finanzplanung

Im Kapitel Finanzplanung soll für das im vorausgegangenen Kapitel konzipierte Geschäftsmodell ein Kostenrechnungstool erstellt werden, mit dem sich einerseits eine Aussage über die Profitabilität des Geschäftsmodells treffen lässt und ein Kosten- und Preisvergleich mit einer Standardzustellung via Van ermöglicht wird. Dazu soll ein möglichst parameterbasiertes und dadurch variables Konstrukt aufgebaut werden, das sich zu einem späteren Zeitpunkt in Excel implementieren lässt und so eine konkrete, zahlenbasierte Anwendung ermöglicht. Dabei soll das Tool modular aufgebaut werden, was für den weiteren Verlauf der Abhandlung bedeutet, dass die zur Ermittlung des Betriebsergebnisses relevanten Aspekte und Vorberechnungen einzeln betrachtet und formuliert werden müssen.

Grundsätzlich basieren kostenrechnungstechnische Prozesse und Anwendungen auf buchhalterisch festgehaltenen Daten und Zahlen sowie zusätzlichen – nicht buchhalterischen – Aufstellungen.¹³⁷ Da für das erstellte Geschäftsmodell bisher keine Daten aus der Buchhaltung vorliegen, wird das zu erstellende Rechentool maßgeblich auf Annahmen basieren und muss, um eine möglichst hohe Aussagekraft zu gewährleisten, ein hohes Maß an Variabilität aufweisen. Zu diesem Zwecke wird jenes innerhalb der folgenden Unterkapitel erst durch entsprechende Formeln und das Treffen dafür unabdingbarer Annahmen aufgebaut, bevor in Kapitel 4.4 durch die Bildung verschiedener Szenarien eine konkrete Aussage über die Profitabilität des Modells getroffen werden kann.

4.3.1 Herleitung der Anzahl notwendiger ADBs und Mutterschiffe

Das Geschäftsmodell soll Anwendung in einer Großstadt finden - genauer gesagt in einem Innenstadtgebiet mit rund 30.000 Einwohnern. Um die Zahl der täglich anfallenden Zustellungen innerhalb des auf eine Größe von 30.000 Einwohnern bezifferten Gebietes zu ermitteln, muss eine annahmenbasierte Differenzierung zwischen Einwohnern, die dem definierten Kundensegment entsprechen und derer die es nicht tun, erfolgen. Diese Ermittlung soll über einen Kundensegmentfaktor erfolgen, welcher eine Aussage darüber trifft, wie viele Menschen des Zielgebiets potenzielle Kunden darstellen. Die Zahl potenzieller Kunden kann indes mittels der folgenden Formel berechnet werden:

¹³⁷ vgl. Olfert 2018, S. 34 f.

Formel 6: Anzahl potenzieller Kunden

$$\text{Potenzielle Kunden} = \text{Einwohnerzahl} * \alpha$$

wobei

$\alpha = \text{Kundensegmentfaktor}$

$\alpha = 0,55$ (Annahme)

$$\rightarrow 30.000 * 0,55 = 16.500 \text{ (Potenzielle Kunden)}$$

Ausgehend von einer vollen Akzeptanz der Kunden für eine Zustellung ihrer Pakete durch einen ADB kann auf Basis der ermittelten Anzahl potenzieller Kunden eine Schätzung der täglich zuzustellenden Pakete (P_{zz}) erfolgen.

Tabelle 14: Annahmen bzgl. Zustellparametern und angebotenen Servicezeiten

Betreffend	Annahme	Bemerkung
P_{zz}	$P_{zz} = 3500$	Zuzustellende Pakete pro Tag
B_{Van}	$B_{Van} = 8$	Anzahl Bots je Mutterschiff-Van
$t_{zustell}$	$t_{zustell} = 15 \text{ [min]}$	Fahrdauer pro Zustellfahrt eines Bots
t_{ref}	$t_{ref} = 30 \text{ [min]}$	Refill-Zeit; Zeit, um den Mutterschiff-Van im Depot neu zu beladen und ins Zielgebiet zurückzukehren
Servicezeitraum	Montag – Freitag, 06:00-22:00 Uhr	Zeitraum in dem eine Zustellung mittels ADB durch das Unternehmen Angeboten wird
Schichtdauer	$Schichtdauer = 8 \text{ [h]}$	Schichtdauer
$Anz_{Schichten}$	$Anz_{Schichten} = 2$	Anzahl täglicher Schichten

Die Zahl der - zur Erbringung der Zustelleistung gemäß den in Tabelle 14 getroffenen Annahmen – notwendigen ADBs und Mutterschiffe kann wie folgt hergeleitet werden:

Formel 7: Zustellungen je ADB je Stunde

$$Zu_{ADBh} = \frac{60 \text{ [min]}}{t_{zustell}}$$

wobei

$$Zu_{ADBh} = \text{Zustellungen eines ADBs pro Stunde}$$

Sowie:

Formel 8: Zustellungen je Mutterschiff-Van je Stunde

$$Zu_{Vanh} = B_{Van} * Zu_{ADBh}$$

wobei

$$Zu_{Vanh} = \text{Zustellungen aller ADBs eines Mutterschiffes pro Stunde}$$

Innerhalb des angebotenen Servicezeitraumes eines jeden Tages kann das Mutterschiff die ADBs 11-mal im Zielgebiet entsenden (täglich mögliche Zielgebietsfahrten (Zf_{Vand})), ehe es nach Beendigung des Servicezeitraums ins Depot zurückkehrt. Daraus folgt:

Formel 9: Zustellungen je Mutterschiff-Van je Arbeitstag

$$Zu_{Vand} = Zu_{Vanh} * Zf_{Vand}$$

wobei

$$Zu_{Vand} = \text{Zustellungen aller ADBs eines Mutterschiffes je Arbeitstag}$$

$$Zf_{Vand} = \text{Tägliche Zielgebietsfahrten je Mutterschiff – Van}$$

Sowie:

Formel 10: Zustellungen je ADB je Arbeitstag

$$Zu_{ADBd} = \frac{Zu_{Vand}}{B_{Van}}$$

wobei

$$Zu_{ADBd} = \text{Zustellungen eines ADBs je Arbeitstag}$$

Zur Ermittlung der benötigten Van-Zahl und der daraus resultierenden ADB-Zahl, die benötigt wird, um P_{zz} bedienen zu können, kann folgende Berechnung genutzt werden:

Formel 11: Anzahl benötigter Mutterschiff-Vans

$$Anz_{Van} = \frac{P_{zz}}{Zu_{Vand}}$$

wobei

Anz_{Van} = Zahl der benötigten Mutterschiffvans

Es folgt:

Formel 12: Anzahl benötigter ADBs

$$Anz_{ADB} = Anz_{Van} * B_{Van}$$

wobei

Anz_{ADB} = Zahl der benötigten ADBs

Sich gemäß der Formeln 7 bis 12 ergebende Parameter auf Basis der zur Ausgangssituation getroffenen Annahmen im Überblick:

Tabelle 15: Zur Berechnung der Anz_{ADB} und Anz_{Van} getroffene Annahmen und Berechnungen

Abk.	Bezeichnung	Bewertungsgrundlage	Wert
Zu_{ADBh}	Zustellungen eines ADBs pro Stunde	Berechnung gemäß Formel 7	4
Zu_{Vanh}	Zustellungen aller ADBs eines Mutterschiffs pro Stunde	Berechnung gemäß Formel 8	32
Zu_{Vand}	Zustellungen aller ADBs eines Mutterschiffs je Arbeitstag	Berechnung gemäß Formel 9	352
Zf_{Vand}	Tägliche Zielgebietsfahrten je Mutterschiff-Van	Annahme entsprechend angebotenen Servicezeitraum	11
Zu_{ADBd}	Zustellungen eines ADBs je Arbeitstag	Berechnung gemäß Formel 10	44
Anz_{Van}	Zahl der benötigten Mutterschiff-Vans	Berechnung gemäß Formel 11	10
Anz_{ADB}	Zahl der benötigten ADBs	Berechnung gemäß Formel 12	80

4.3.2 Investitionsrechnung

Wie in Kapitel 4.2.2.1 beschrieben, soll das erstellte Geschäftsmodell innerhalb eines existierenden KEP-Dienstleisters zum Einsatz kommen. Gemäß *Nagl* (2020) können die Aspekte der Unternehmensgründung sowie die Planung der Investitionen als einer von vier elementaren Bausteinen der Finanzplanung in Bezug auf Geschäftsmodelle betrachtet werden.¹³⁸ Da das Geschäftsmodell auf Basis eines existierenden KEP-Dienstleisters erstellt wurde, entfallen die hier anzugebenden Gründungskosten, die im Falle einer GmbH etwa aus der Wahl der Rechtsform (gemäß §5 GmbHG), der Anmeldung (gemäß §7 GmbHG) oder durch die Genehmigung ebendieser entstehen.^{139,140} Anstelle der Gründung eines neuen Unternehmens, soll das Geschäftsmodell in einen bestehenden KEP-Dienstleister integriert werden, so könnte ein neuer Geschäftszweig bzw. eine neue Abteilung die Umsetzung des Geschäftsmodells realisieren. Durch die Implementierung in bestehende Strukturen können Kosten gespart und eventuell auf gegebene Ressourcen und Kenntnisse zurückgegriffen werden. Zur Ermittlung der notwendigen Investitionen, soll ein Investitionsplan aufgestellt werden. Bei den betrachteten Investitionen handelt es sich aufgrund der Neueinführung des Geschäftszweigs überwiegend um Bruttoinvestitionen, da maßgeblich neue materielle und immaterielle Investitionen getätigt werden – die somit keine Ersatzinvestitionen darstellen. Die zur Herstellung der Betriebsbereitschaft zu tätigen Investitionen können in die Kategorien ADB-Flotte und Niederlassungen & Verwaltung geteilt werden. Details zu beiden Kategorien lehnen sich dabei an *Nagl* (2020) an, wurden an das erstellte Geschäftsmodell angepasst und finden sich in Tabelle 16.¹⁴¹

Tabelle 16: Zur Herstellung der Betriebsbereitschaft notwendige Investitionen je Kategorie

Kategorie	Unterkategorie	Beschreibung
Investitionen ADB-Flotte	ADB-Flotte	Ausstattung an ADB-Modellen, sowie zum Betrieb dieser notwendigen Objekte
	Mutterschiff-Flotte	Ausstattung an Mutterschiff-Vans, sowie zum Betrieb dieser notwendigen Modifikationen und Zubehör
	Sonstiges	Zur Erhaltung der Betriebsbereitschaft der ADB- und

¹³⁸ vgl. Nagl 2020, S. 70

¹³⁹ vgl. GmbHG

¹⁴⁰ vgl. Matschke/Hering/Klingelhöfer 2002, S. 138

¹⁴¹ vgl. Nagl 2020, S. 141 ff.

		Mutterschiffflotte dienende Utensilien
Investitionen	Logistiknutzfläche	Grundstücke, sowie bauliche Maßnahmen zur Herstellung der physischen betrieblichen Infrastruktur
Depot & Verwaltung	Einrichtung Logistiknutzfläche	Zum Betrieb der Logistikflächen notwendige Einrichtungsgegenstände und Software
	Einrichtung Verwaltungsflächen	Zum Betrieb der Verwaltungs- und Kontrollaufgaben notwendige Ausstattung
	Plattform/ Applikation	Hard- und Software zum Betrieb der Nutzer- und Abwicklungsplattform

Zur Ermittlung des Gesamtinvestitionsbedarfs je Kategorie sollen die Zwischensummen „Gesamtinvestitionen je Kategorie“ ermittelt werden. Die in der Investitionsrechnung zugrundeliegenden Werte basieren auf Annahmen - einige davon sollen im Folgenden erläutert werden. Durch die Wahl des [Depot-Van-ADB-Endkunden] -Konzeptes lassen sich alle potenziellen Kunden innerhalb dieses Einsatzgebietes durch ein einzelnes Depot bedienen. Die dazu notwendige Logistikfläche muss deshalb nicht in der Stadt (bzw. Innenstadt) selbst liegen, eine Lage am Stadtrand oder in einem unmittelbaren Vorstadtbezirk ist denkbar und würde die Kosten für die Logistikflächen stark reduzieren. Die für den Betrieb der ADB-Abteilung des KEP-Dienstleisters unerlässlichen Kontroll- und Verwaltungsflächen müssen nicht zwingendermaßen innerhalb dieser Logistkniederlassung liegen, sondern können in bestehenden Gebäuden und Flächen des Unternehmens integriert werden, sodass kein zusätzlicher Investitionsaufwand für Büroflächen entsteht und das Depot dem rein operationalen Betrieb dient.

Tabelle 17: Getroffene Annahmen und notwendige Berechnungen der Investitionsplanung

i	Bezeichnung	In_i	Methodik	Wert Annahme
1	ADB-Modell	In_1	Berechnung: $In_1 = Anz_{ADB} * InvK_{ADB}$ wobei $InvK_{ADB} = Investitionskosten je ADB$ Annahme für $InvK_{ADB}$	3.000 € je ADB
2	ADB- Betriebssoftware	In_2	Annahme	50.000 €

3	Van-Modell	In_3	<p>Berechnung:</p> $In_3 = Anz_{Van} * InvK_{Van}$ <p>wobei</p> $InvK_{Van} = Investitionskosten je Van$ <p>Annahme für $InvK_{Van}$ basierend auf Preisangaben namhafter Hersteller für infrage kommende Modelle^{142,143,144}</p>	45.000 € je Van
4	Fahrzeug-modifikationen	In_4	<p>Berechnung:</p> $In_4 = Anz_{Van} * InvK_{Vanmodifikation}$ <p>wobei</p> $InvK_{Vanmodifikation} = Investitionskosten Vanmodifikation$ <p>Annahme für $InvK_{Vanmodifikation}$</p>	8.000 € je Van
5	Zubehör	In_5	<p>Berechnung:</p> $In_5 = Anz_{Van} * InvK_{Zubehör}$ <p>wobei</p> $InvK_{Zubehör} = Investitionskosten Zubehör je Van$ <p>Annahme für $InvK_{Zubehör}$</p>	2.000 € je Van
6	Wartungs-utensilien	In_6	Annahme	2.500 €
7	Ersatzteile	In_7	Annahme	5.000 €
8	Grundstücke	In_8	Annahme	1.500.000 €
9	Gebäude	In_9	Annahme	400.000€
10	Bauliche Maßnahmen	In_{10}	Annahme	30.000 €
11	IT-Infrastruktur Logistik	In_{11}	Annahme	15.000 €
12	Sortier- und Kommissionier-	In_{12}	Annahme	30.000€

¹⁴² vgl. Volkswagen Nutzfahrzeuge 2022

¹⁴³ vgl. Mercedes-Benz 2022

¹⁴⁴ vgl. Fiat Professional 2022

	anlagen			
13	Regal- einrichtungen	In_{13}	Annahme	20.000 €
14	Depotverwaltungs- software	In_{14}	Annahme	50.000 €
15	Prüfstand für kleinere Wartungen	In_{15}	Annahme	5.000 €
16	Sonstige Einrichtungen	In_{16}	Annahme	10.000 €
17	Operator-IT- Infrastruktur	In_{17}	Annahme	30.000 €
18	Verwaltungs-IT- Infrastruktur	In_{18}	Annahme	20.000 €
19	Büro- einrichtungen	In_{19}	Annahme	25.000 €
20	Software	In_{20}	Annahme	150.000 €

Basierend auf der in Kapitel 4.3.1 ausgewiesenen Formel zur Berechnung der Anzahl benötigter ADBs und den dazugehörigen Mutterschiff-Vans, kann über die in Tabelle 17 getroffenen Annahmen und Berechnungen ein konkreter Investitionsplan aufgestellt werden. In diesem werden, nach den definierten Kategorien differenziert, die verschiedenen Investitionen aufgelistet, die zur Herstellung der Betriebsbereitschaft notwendig sind.

4.3.3 Berechnung des Betriebsergebnisses

Zur Feststellung der Wirtschaftlichkeit des entwickelten Geschäftsmodells soll auf Basis verschiedener Pläne und Methoden ein Betriebsergebnis ermittelt werden, das parameterbasiert eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer Anwendung von ADBs auf der letzten Meile treffen soll. Damit sich das Geschäftsmodell als profitabel erweist, muss das ausgewiesene Betriebsergebnis nicht nur positiv sein - damit sich ein Umstieg von der klassischen Zustellung auf ADB-Zustellung lohnt, müssen auch die Kosten je Sendung geringer (oder wenigstens gleich) ausfallen als bei der klassischen Zustellvariante. Dazu stellt die Kenngröße „Kosten je Sendung“ einen wichtigen Faktor bei der Beurteilung dar, welche stets in Relation zu den Kosten einer Sendung mittels der klassischen Zustellmethode

betrachtet werden muss. Dazu soll ein marktüblicher Referenzwert herangezogen werden. So kostet etwa der Versand eines Paketes mittlerer Größe (60 x 30 x 15 cm) über die DHL Paket GmbH in der Lieferoption „Standardversand“ 4,79€. ¹⁴⁵ Der in der Preisliste ausgewiesene Preis für den Versand beinhaltet hierbei allerdings bereits die Marge, die das Unternehmen auf das Produkt aufschlägt, sowie die Kosten aller drei Phasen (Vor-, Haupt- und Nachlauf) einer Zustellung. Um die auf der letzten Meile entstehenden Kosten einer solchen Zustellung zu ermitteln, muss der Angebotspreis um die Marge bereinigt und dann auf den Nachlauf der Sendung reduziert werden. Aufgrund fehlender Angaben über den Preisbildungsmechanismus der DHL Paket GmbH wird ein einseitig-starres Preisbildungsverfahren, genauer gesagt eine Kosten-Plus-Preisbildung unterstellt. Dabei soll ausgehend von Formel 13 auf die Kosten einer Standardzustellung auf der letzten Meile rückgeschlossen werden.

Formel 13: Angebotspreis P¹⁴⁶

$$P = (1 + \text{Aufschlagssatz}) * \text{Stückkosten}$$

wobei

$$P = \text{Angebotspreis [€]}$$

Ausgehend von einem Aufschlagssatz) von 5% je Sendung und einem Kostenanteil der letzten Meile von rund 50-75%¹⁴⁷ (im Folgenden soll mit einem Wert von 60% gerechnet werden), können die Kosten je Sendung wie folgt ermittelt werden:

$$K_{DHL} = \left(\frac{p}{1 + \text{Aufschlagssatz}} \right) * \text{Kostenanteil letzte Meile}$$

wobei

$$K_{DHL} = \text{Kosten DHL Standardversand letzte Meile [€]}$$

Somit ergeben sich Sendungskosten von etwa 4,56 € je Sendung für eine Zustellung der DHL Paket GmbH im Standardversandformat wovon etwa 2,74 € je Sendung auf die letzte Meile

¹⁴⁵ vgl. DHL Paket GmbH 2022, S. 2

¹⁴⁶ vgl. Simon/Fassnacht 2009, S. 189 f.

¹⁴⁷ vgl. Zsifkovits 2013, S. 198 f.

entfallen. Diese Zahl soll als Referenzwert dienen, um die Kosten einer Zustellung mittels eines ADBs greif- und vergleichbar zu machen.

4.3.3.1 Methodik

In diesem Unterkapitel soll die Methodik vorgestellt werden, welche zum Einsatz kommt, um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit und den leistungsbezogenen Erfolg zu treffen.

Dabei soll neben dem Aufbau und System der entsprechenden Kostenrechnungsmethodik auch der Auswahlprozess transparent gemacht werden. Da das Geschäftsmodell neu konzipiert wurde, muss aufgrund des nicht Vorhandenseins buchhalterischer Daten eine stark annahmenbasierte kalkulatorische Erfolgsrechnung durchgeführt werden. Ein dazu geeignetes Kostenrechnungssystem muss deshalb eine Möglichkeit bieten, die Kosten leistungs-, sprich verursachungsgerecht auf das Produkt zu verrechnen, sodass einerseits ein leistungsbezogenes Betriebsergebnis ermittelt und andererseits eine kostenbasierte Preisbildung ermöglicht wird.

Dadurch dass eine Erstplanung im Sinne einer Neueinführung des Geschäftsmodells durchgeführt wird, können planbasierte Kostenrechnungssysteme ausgeschlossen werden. Diese dienen überwiegend der Analyse von Abweichungen, sowie der Planung zukünftiger Kosten und Absätze innerhalb verschiedener Zeiträume und erweisen sich deshalb für die vorliegende Situation als ungeeignet. Neuere Kostenrechnungsansätze, wie die Prozesskostenrechnung dienen managementseitig eher dem prozess- bzw. marktbezogenen Kostenmanagement.¹⁴⁸ Da die Zustellung von Paketen mittels eines ADBs und vorgelagerte (etwa depotinterne) Prozesse in Kapitel 4.2.2 jedoch nicht genauer definiert wurden, fehlt einer Anwendung der Prozesskostenrechnung im Falle des Geschäftsmodells die Substanz. Darüber hinaus können - den Umfang der zugerechneten Kosten betreffend – Vollkostenrechnungssysteme ausgeschlossen werden, da sie dem Verursachungsprinzip widersprechen.¹⁴⁹ Im Falle des vorliegenden Geschäftsmodells gilt es jedoch einen Angebotspreis für die ADB-Zustellung und damit die Kosten je Sendung zu ermitteln, wodurch eine verursachungsbedingte Rechnung verpflichtend wird. Diesem Umstand entsprechen die Teilkostensysteme, da diese nur, die durch den Kostenträger verursachten Kosten auf ebendiesen verrechnen.¹⁵⁰ Als Teilsysteme der Teilkostenrechnung kommen auf Basis bereits definierter Anforderungen und der Ausgangssituation zwei Kostenrechnungsverfahren in Frage: Die einstufige- und die mehrstufige

¹⁴⁸ vgl. Olfert 2018, S. 80

¹⁴⁹ vgl. Olfert 2018, S. 79

¹⁵⁰ vgl. Olfert 2018, S. 79

Deckungsbeitragsrechnung. Gemeinsam haben beide Systeme, dass sie auf Basis von Istkosten durchgeführt werden und mit Deckungsbeiträgen arbeiten. Die mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung eignet sich in ihrer Anwendung eher für Betriebe, die eine Vielzahl an Produkten oder Leistungen anbieten und erfordert daher eine größere Breite an Daten und Zahlen, welche im Falle des Geschäftsmodells fehlen. Dem Umfang der vorliegenden Zahlen und den sonstigen Anforderungen der Ausgangssituation entsprechend, soll die Wirtschaftlichkeit gemäß der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung überprüft werden. Diese bietet neben der Möglichkeit das Betriebsergebnis zu planen und zu analysieren auch die Möglichkeit, marktgerechte Absatzpreise zu bilden.¹⁵¹

Im Folgenden soll die Vorgehensweise erläutert werden, ehe in Kapitel 4.3.3 die Durchführung auf verschiedenen Ebenen beschrieben wird. Bei der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung kommt die Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung zum Einsatz. Dabei soll in der Kostenartenrechnung die Frage beantwortet werden, welche Kosten im Betrachtungszeitraum angefallen sind, wie sich diese zusammensetzen und wie diese bewertet werden sollen. Dabei erfolgt neben einer Erfassung und Bewertung der Kosten bereits eine Gliederung in Einzel-, Gemein- und weitere Kosten.¹⁵² In einem zweiten Schritt, der Kostenstellenrechnung, soll die Frage beantwortet werden, wo die in der Kostenartenrechnung differenzierten Kosten entstanden sind. Hierbei sollen die in der Kostenartenrechnung ausgewiesenen Kosten auf Kostenstellen verteilt und Leistungen über einen Betriebsabrechnungsbogen (BAB) innerbetrieblich abgerechnet werden.¹⁵³ Im dritten Schritt werden die stück- und zeitbezogenen Kosten eines Kostenträgers ermittelt. Dadurch lässt sich eine Aussage über den Erfolgsbeitrag eines einzelnen Produktes treffen.¹⁵⁴ Nach der Ermittlung der variablen Stückkosten (Kosten je Sendung mittels ADB-Zustellung) aus der Kostenträgerrechnung sollen unter Zuhilfenahme einer geeigneten Methodik ein Angebotspreis erstellt werden. Mithilfe dieses Angebotspreises wird einerseits ein Vergleich - mit dem errechneten Vergleichspreis der Standardzustellung – ermöglicht, andererseits lässt sich daraufhin mittels des Umsatzkostenverfahrens auf Teilkostenbasis ein Betriebsergebnis ermitteln.

¹⁵¹ vgl. Zdrowomyslaw 2001, S. 471 f.

¹⁵² vgl. Olfert 2018, S. 87

¹⁵³ vgl. Olfert 2018, S. 151 f.

¹⁵⁴ vgl. Olfert 2018, S. 195 f.

4.3.3.2 Kostenartenrechnung

In einem ersten Schritt sollen in der Kostenartenrechnung die anfallenden Kosten erfasst werden. *Olfert* (2018) differenziert fünf Arten produktionsfaktorbezogener Kosten: Materialkosten, Personalkosten, Dienstleistungskosten, öffentliche Abgaben sowie kalkulatorische Kosten.¹⁵⁵ Gemäß dieser fünf Kostenblöcke sollen die Kosten des Geschäftsmodells in tabellarischer Form erfasst und anschließend in Einzel-, und Gemeinkosten differenziert werden. Die anfallenden Kosten werden zu Strukturierungszwecken mit Nummern (1., 1.1, 1.2, 2., ...) versehen.

4.3.3.2.1 Materialkosten

Tabelle 18: Anfallende Materialkosten sowie deren Bewertungsgrundlage

Nr.	Anfallende Kosten	Nr.	Bezeichnung	Bewertungsgrundlage
1	Betriebsstoffe	1.1	Energiekosten Zustellprozess ADB	Gesonderte Betrachtung notwendig
		1.2	Energiekosten Zustellprozess Van	Gesonderte Betrachtung notwendig
		1.3	Energiekosten Depot- und Verwaltungsflächen	Stromkosten Depot und Verwaltung basierend auf Verbrauchsschätzung. Monetäre Mengenbewertung anhand Tageswertmethode

Zur Bewertung des Energieverbrauchs der ADB-Flotte als auch für den Kraftstoffverbrauch der Mutterschiff-Vans müssen Annahmen getroffen bzw. schätzungsweise Energieverbräuche berechnet werden. Durch den direkten Zusammenhang des Energie- bzw. Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge mit der Zahl auszustellender Pakete (und damit den zurückgelegten Distanzen) können die Kosten direkt - sprich verursachungsgerecht - auf den Kostenträger zugerechnet werden. Im Gegensatz zu den grundsätzlich anfallenden und zustellungsunabhängigen Energieverbräuchen von Depot und Verwaltung (Gemeinkosten) handelt es sich bei 1.1 und 1.2 also um Einzelkosten. Unabhängig von der Zugehörigkeit der

¹⁵⁵ vgl. Olfert 2018, S. 92

anfallenden Energiekosten, können die in den folgenden Unterpunkten berechneten Energieverbräuche mit folgendem Kostenfaktor bewertet werden: $P_{EV} = 16,65 \frac{ct}{kWh}$.¹⁵⁶

Für die Berechnung der Energieverbräuche der ADB- und Mutterschiff-Vans ergeben sich folgende Berechnungsvorschriften und Annahmen:

Formel 14: Energieverbrauch der ADB-Flotte (Nr. 1.1)

$$EV_{ADBges} = EV_{ADBjZu} * Zu_{ADBd} * Anz_{ADB} * Anz_{Arbeitsstage}$$

wobei

$$EV_{ADBges} = \text{Energieverbrauch aller ADBs pro Jahr} \left[\frac{kWh}{Jahr} \right]$$

$$EV_{ADBjZu} = \text{Energieverbrauch je ADB je Zustellung} [Wh]$$

Und:

Tabelle 19: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der ADB-Flotte (Nr. 1.1)

Betreffend	Bewertungsgrundlage	Wert
EV_{ADBjZu}	Gemäß Figliozi (2020); Angabe je Zustellfahrt je ADB	38 [Wh] ¹⁵⁷
Zu_{ADBd}	Gemäß Kapitel 4.3.1	44
Anz_{ADB}	Gemäß Kapitel 4.3.1	80
$Anz_{Arbeitsstage}$	Anzahl der Arbeitstage des Jahres 2022 für Baden-Württemberg	251 [Tage]

Sowie:

Formel 15: Energieverbrauch der Mutterschiff-Vans (Nr. 1.29)

$$EV_{Vanges} = EV_{Vanjzf} * (Zf_{Vand} * 2) * Anz_{Van} * Anz_{Arbeitsstage}$$

wobei

$$EV_{Vanges} = \text{Energieverbrauch aller Mutterschiff – Vans pro Jahr} \left[\frac{kWh}{Jahr} \right]$$

¹⁵⁶ vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022

¹⁵⁷ Figliozi 2020, S. 6

$$EV_{Vanjzf} = \text{Energieverbrauch je Van je Zielgebietsfahrt [Wh]}$$

Und:

Tabelle 20: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der Mutterschiff-Vans

Betreffend	Bewertungsgrundlage	Wert
EV_{Vanjzf}	Gemäß Figliozzi (2020); Angabe je Zielgebietsfahrt je Van	56 [Wh] ¹⁵⁸
Zf_{vand}	Gemäß Anhang 4.3.1	11
Anz_{Van}	Gemäß Anhang 4.3.1	10
$Anz_{Arbeitsstage}$	Anzahl der Arbeitstage des Jahres 2022 für Baden-Württemberg	251 [Tage]

Sowie:

Formel 16: Energieverbrauch der Depot- und Verwaltungsflächen (Nr. 1.3)

$$EV_{DepVerw} = Fl_{Verw} * Ev_{Verw} + Fl_{Dep} * Ev_{Dep}$$

wobei

$$EV_{DepVerw} = \text{Gesamtenergieverbrauch der Verwaltungs – und Depotflächen}$$

$$Fl_{Verw} = \text{Fläche Verwaltung [m}^2\text{]}$$

$$Ev_{Verw} = \text{Energieverbrauch Verwaltungsfläche } \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \text{ pro Jahr}$$

$$Fl_{Dep} = \text{Fläche Depot [m}^2\text{]}$$

$$Ev_{Dep} = \text{Energieverbrauch Depotfläche } \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \text{ pro Jahr}$$

Und:

Tabelle 21: Annahmen bzgl. des Energieverbrauchs der Depot- und Verwaltungsflächen (Nr. 1.3)

Betreffend	Bewertungsgrundlage	Wert
Fl_{Verw}	Annahme	225 [m ²]

¹⁵⁸ Figliozzi 2020, S. 6

Fl_{Dep}	Annahme	3600 [m ²]
Ev_{Verw}	Mittelwert gemäß Angaben der Stadtwerke Gießen AG	55 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ pro Jahr ¹⁵⁹
Ev_{Dep}	Gemäß Ramp One	36 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ pro Jahr ¹⁶⁰

Da es sich bei den Stromkosten für Depot- und Verwaltungsflächen um Gemeinkosten handelt, können die dafür anzusetzenden Energiekosten für Verwaltungs- und Depotflächen ($EK_{DepVerw}$) direkt gemäß folgender Formel ermittelt werden:

Formel 17: Energiekosten für Depot- und Verwaltungsflächen

$$EK_{DepVerw} = EV_{DepVerw} * P_{EV}$$

4.3.3.2.2 Personalkosten

Den im vorliegenden Geschäftsmodell beteiligten Mitarbeitern wird ein Leistungsentgelt in Form eines Gehaltes (Gemeinkosten) unterstellt. Nur die Fahrer der Mutterschiff-Vans sollen Löhne erhalten, die einem Zeitlohn (Einzelkosten) entsprechen sollen.

Tabelle 22: Anfallende Personalkosten sowie die zugrundeliegende Bewertungsgrundlage

Nr.	Anfallende Kosten	Nr.	Bezeichnung	Bewertungsgrundlage
2	Gehälter	2.1	Gehalt Operatoren	Gehalt beruhend auf Anforderungsdefinitionen; Schätzung
		2.2	Gehalt Lageristen Depot	Marktübliches Gehalt
		2.3	Gehalt Verwaltungskräfte	Marktübliches Gehalt
		2.4	Gehalt Kundenservice	Marktübliches Gehalt
3	Löhne	3.1	Lohn Van-Fahrer	Marktübliches Gehalt
4	Gesetzliche Sozialkosten	4.1	AG-Anteil Rentenversicherung	Bewertung basierend auf anfallenden Personalkosten gemäß gesetzlichen Vorgaben
		4.2	AG-Anteil Krankenversicherung	
		4.3	AG-Anteil Pflegeversicherung	
		4.4	AG-Anteil Arbeitslosenversicherung	

¹⁵⁹ vgl. Stadtwerke Gießen AG 2022

¹⁶⁰ vgl. Ramp One 2020

Für die Ermittlung der Personalbedarfe sowie Personal- und Sozialkosten ergeben sich folgende Berechnungsvorschriften und Annahmen:

Tabelle 23: Personalbedarfsermittlung- und Entgeltfestlegung nach Berufsbezeichnung für 2. und 3.

Nr.	Berufsbezeichnung	Methodik	Abk.	Personalbedarf	Abk.	Entgelt je MA
2.1	ADB-Operatoren	Berechnung	Pb_{Op}	$Pb_{Op} = \frac{Anz_{ADB}}{DPO}$	En_{Op}	43.300 € / Jahr ¹⁶¹
2.2	Lageristen	Annahme	Pb_{Lag}	8	En_{Lag}	27.500 € / Jahr ¹⁶²
2.3	Industrie- kaufleute Verwaltung	Annahme	Pb_{IKV}	8	En_{IKV}	37.800 € / Jahr ¹⁶³
2.4	Industrie- kaufleute Kundenservice	Annahme	Pb_{IKK}	4	En_{IKK}	37.800 € / Jahr ¹⁶⁴
3.1	Van-Fahrer	Berechnung	Pb_{Vf}	Pb_{Vf} $= Anz_{Van}$ $* Anz_{Schichten}$	En_{Vfh}	14,5 € / Stunde ¹⁶⁵

Und:

Tabelle 24: Absolute Personalkosten nach Berufsbezeichnung

Nr.	Berufsbezeichnung	Abk.	Berechnungsvorschrift
2.1	ADB-Operatoren	PK_{Op}	$PK_{Op} = Pb_{Op} * En_{Op}$
2.2	Lageristen	PK_{Lag}	$PK_{Lag} = Pb_{Lag} * En_{Lag}$
2.3	Industrie- kaufleute Verwaltung	PK_{IKV}	$PK_{IKV} = Pb_{IKV} * En_{IKV}$
2.4	Industrie-	PK_{IKK}	$PK_{IKK} = Pb_{IKK} * En_{IKK}$

¹⁶¹ vgl. GEHALT.de 2022a

¹⁶² vgl. GEHALT.de 2022c

¹⁶³ vgl. GEHALT.de 2022b

¹⁶⁴ vgl. GEHALT.de 2022b

¹⁶⁵ vgl. Stern 2019

	kaufleute Kundenservice		
3.1	Van-Fahrer	PK_{Vf}	$PK_{Vf} = Pb_{Vf} * En_{Vfh} * Schichtdauer * Anz_{Arbeitsstage}$

Die Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der PK_{Vf} kann wie folgt vereinfacht werden:

Formel 18: Personalkosten Van-Fahrer

$$PK_{Vf} = Anz_{Vfh} * En_{Vfh}$$

wobei

$$Anz_{Vfh} = \text{Anzahl geleisteter Stunden der Van – Fahrer je Jahr}$$

$$Anz_{Vfh} = Schichtdauer * Anz_{Arbeitsstage} * Pb_{Vf}$$

Damit kann die Gesamtheit der anfallenden Gehälter wie folgt errechnet werden:

Formel 19: Gesamtheit der anfallenden Gehälter (PK_{Gehalt})

$$PK_{Gehalt} = PK_{Op} + PK_{Lag} + PK_{IkV} + PK_{IkK}$$

Somit:

Formel 20: Gesamtheit der anfallenden Personalkosten (PK_{ges})

$$PK_{ges} = PK_{Op} + PK_{Lag} + PK_{IkV} + PK_{IkK} + PK_{Vf}$$

Und:

Tabelle 25: Anfallende Sozialkosten (Nr. 4) für Löhne und Gehälter sowie deren Bewertungsgrundlage¹⁶⁶

Nr.	Gesetzliche Sozialkostenart	Abgabe in %	Abk.	Arbeitgeberanteil in %
4.1	Rentenversicherung	18,7	SZA_{RV}	9,35
4.2	Krankenversicherung	14,6	SZA_{KV}	7,3
4.3	Pflegeversicherung	2,35	SZA_{PV}	1,175

¹⁶⁶ vgl. Bröckermann 2016, S. 231 ff.

4.4	Arbeitslosenversicherung	3	SzA_{AV}	1,5
-----	--------------------------	---	------------	-----

Der insgesamt anfallende Anteil an Sozialkosten (in Prozent) kann wie folgt ermittelt werden:

Formel 21: Anfallender Sozialkostenanteil in Prozent

$$SzA_{ges} = SzA_{RV} + SzA_{KV} + SzA_{PV} + SzA_{AV}$$

Die Gesamtheit der anfallenden Sozialkosten (SzK_{ges}) zählt zu den Gemeinkosten:

Formel 22: Gesamtheit der anfallenden Sozialkosten

$$SzK_{ges} = PK_{ges} * SzA_{ges}$$

4.3.3.2.3 Dienstleistungskosten

Unter den Dienstleistungskosten sollen diejenigen Kosten geführt werden, die dem Unternehmen durch den Bezug von Leistungen Dritter entstehen. Die Dienstleistungskosten werden als Gemeinkosten betrachtet.¹⁶⁷ Für das erstellte Geschäftsmodell sollen hierbei Versicherungskosten und Instandhaltungskosten angeführt werden.

Tabelle 26: Anfallende Dienstleistungskosten und deren Bewertungsgrundlage

Nr.	Anfallende Kosten	Abk.	Bewertungsgrundlage	Wert
5	Versicherungskosten	DK_{Ver}	Annahme	15.000 €
6	Instandhaltungskosten	DK_{Ins}	Annahme	5.000 €

Somit:

Formel 23: Gesamtheit anfallender Dienstleistungskosten

$$DK_{ges} = DK_{Ver} + DK_{Ins}$$

4.3.3.2.4 Öffentliche Abgaben

Um die Komplexität des Rechnungstools zu reduzieren, werden in den folgenden Berechnungen keine öffentlichen Abgaben einbezogen. Der Vollständigkeit halber und um

¹⁶⁷ vgl. Zdrowomyslaw 2001, S. 222 f.

die Aussagekraft des letztlich ermittelten Ergebnisses zu steigern, wäre eine Einbeziehung dieser Kosten notwendig.

4.3.3.2.5 Kalkulatorische Kosten

Der Ausweis kalkulatorischer Kosten dient der Erreichung einer höheren Genauigkeit innerhalb der Kostenrechnung. In Tabelle 27 sollen die für dieses Geschäftsmodell anfallenden kalkulatorischen Kosten beschrieben werden.

Tabelle 27: Anfallende kalkulatorische Kosten sowie deren Bewertungsgrundlage

Nr.	Anfallende Kosten	Abk.	Beschreibung	Bewertungsgrundlage
7	Kalkulatorische Abschreibungen	KA_{ges}	Umverteilung der Anschaffungskosten von Gegenständen des Anlagevermögens auf eine Nutzungsdauer	Sowohl die Höhe der angesetzten Abschreibungen als auch die Wahl des Abschreibungsverfahrens obliegt dem Unternehmen ¹⁶⁸

Über die kalkulatorischen Abschreibungen hinaus, zählen unter anderem auch kalkulatorische Zinsen und Wagnisse zu den kalkulatorischen Kosten. Aufgrund der Nichtkenntnis des betriebsnotwendigen Kapitals, das eine Schlüsselrolle bei der Ermittlung der kalkulatorischen Zinsen spielt, werden innerhalb der kalkulatorischen Kosten keine kalkulatorischen Zinsen ausgewiesen. In der Realität erweist sich der Ausweis ebendieser jedoch als unerlässlich, etwa um die Verzinsungsanforderungen der Fremdkapitalgeber zu befriedigen.¹⁶⁹ Im Folgenden sollen die konkreten kalkulatorischen Abschreibungen für das - aus der Investitionsplanung abgeleiteten - Anlagevermögens ermittelt werden. Da bei den kalkulatorischen Abschreibungen keine externen Zwecke verfolgt und diese dementsprechend in beliebiger Höhe angesetzt werden können, wird den Elementen des Anlagevermögens für die keine passende Nutzungsdauer gemäß Afa-Tabellen vorliegt, eine auf Annahmen basierte

¹⁶⁸ vgl. Olfert 2018, S. 124

¹⁶⁹ vgl. Olfert 2018, S. 134 f.

Nutzungsdauer unterstellt. Die entsprechenden Abschreibungen sollen nach dem linearen Abschreibungsverfahren vorgenommen werden:

Formel 24: Berechnungsvorschrift des linearen Abschreibungsverfahrens¹⁷⁰

$$a = \frac{B}{n}$$

wobei

a = Abschreibungsbetrag

B = Basiswert

n = Nutzungsdauer

Nicht alle in der Investitionsplanung getätigten Investitionen müssen abgeschrieben werden. Die im folgenden betrachteten Gegenstände des Anlagevermögens denen ein Wertverschleiß und damit eine Abschreibung unterstellt wird, entsprechen in ihrem Basiswert B_i den bereits in der Investitionsplanung ausgewiesenen (sich aus Berechnungen oder Annahmen ergebenden) Werten In_i . Die abzuschreibenden Beträge a_i für die Anlagegüter werden deshalb mit einer Formel ausgewiesen. Bei den kalkulatorischen Abschreibungen handelt es sich um Gemeinkosten.

Tabelle 28: Anfallende jährliche Abschreibungskosten sowie Nutzungsdauer gemäß Afa-Tabellen^{171,172}

i	Abzuschreibender AV-Gegenstand	Abk.	n_i gemäß Afa-Tabellen in Jahren	Abk.	Basiswert B_i	Abk.	Abzuschreibender Betrag a_i
1	ADB-Modell	n_1	Keine Angabe; Annahme: 6	B_1	$B_1 = In_1$	a_1	$a_1 = \frac{B_1}{n_1}$
2	ADB-Betriebssoftware	n_2	Keine Angabe; Annahme:	B_2	$B_2 = In_2$	a_2	$a_2 = \frac{B_2}{n_2}$

¹⁷⁰ vgl. Olfert 2018, S. 125

¹⁷¹ vgl. Bundesministerium der Finanzen 2000

¹⁷² vgl. Bundesministerium der Finanzen 1998

			5				
3	Van-Modell	n_3	6	B_3	$B_3 = In_3$	a_3	$a_3 = \frac{B_3}{n_3}$
6	Wartungsutensilien	n_6	Keine Angabe; Annahme: 10	B_6	$B_6 = In_6$	a_6	$a_6 = \frac{B_6}{n_6}$
8	Grundstücke	n_8	50	B_8	$B_8 = In_8$	a_8	$a_8 = \frac{B_8}{n_8}$
9	Gebäude	n_9	14	B_9	$B_9 = In_9$	a_9	$a_9 = \frac{B_9}{n_9}$
11	IT-Infrastruktur Logistik	n_{11}	3	B_{11}	$B_{11} = In_{11}$	a_{11}	$a_{11} = \frac{B_{11}}{n_{11}}$
12	Sortier- und Kommissionier- anlagen	n_{12}	15	B_{12}	$B_{12} = In_{12}$	a_{12}	$a_{12} = \frac{B_{12}}{n_{12}}$
13	Regaleinrichtungen	n_{13}	15	B_{13}	$B_{13} = In_{13}$	a_{13}	$a_{13} = \frac{B_{13}}{n_{13}}$
14	Depotverwaltungs- software	n_{14}	Keine Angabe; Annahme: 10	B_{14}	$B_{14} = In_{14}$	a_{14}	$a_{14} = \frac{B_{14}}{n_{14}}$
15	Prüfstand kleinere Wartungen	n_{15}	Keine Angabe; Annahme: 10	B_{15}	$B_{15} = In_{15}$	a_{15}	$a_{15} = \frac{B_{15}}{n_{15}}$
16	Sonstige Einrichtungen	n_{16}	Keine Angabe; Annahme: 10	B_{16}	$B_{16} = In_{16}$	a_{16}	$a_{16} = \frac{B_{16}}{n_{16}}$
17	Operator-IT- Infrastruktur	n_{17}	3	B_{17}	$B_{17} = In_{17}$	a_{17}	$a_{17} = \frac{B_{17}}{n_{17}}$
18	Verwaltungs-IT- Infrastruktur	n_{18}	3	B_{18}	$B_{18} = In_{18}$	a_{18}	$a_{18} = \frac{B_{18}}{n_{18}}$
19	Büroeinrichtungen	n_{19}	13	B_{19}	$B_{19} = In_{19}$	a_{19}	$a_{19} = \frac{B_{19}}{n_{19}}$
20	Software- Nutzerplattform	n_{20}	Keine Angabe; Annahme: 10	B_{20}	$B_{20} = In_{20}$	a_{20}	$a_{20} = \frac{B_{20}}{n_{20}}$

Somit:

Formel 25: Insgesamt anfallender jährlicher Abschreibungsbetrag (KA_{ges})

$$KA_{ges} = \sum a_i$$

Nachdem die jeweiligen produktionsfaktorbezogenen Kosten einer jeden Kostenkategorie ermittelt wurden, sollen die Kosten gemäß der in den entsprechenden Unterkapiteln vorgenommenen Schlüsselung in Einzel- und Gemeinkosten, tabellarisch dargestellt werden.

Tabelle 29: Tabellarische Darstellung anfallender Kosten geschlüsselt nach EK und GK

Kat.	Kostenart	Nr.	Bezeichnung	Berechnungsvorschrift
EK	Materialeinzelkosten	1.1	Energiekosten Zustellprozess ADB ($EK_{ADB_{ges}}$)	$EK_{ADB_{ges}} = EV_{ADB_{ges}} * P_{EV}$
		1.2	Energiekosten Zustellprozess Van (EK_{Vanges})	$EK_{Vanges} = EV_{Vanges} * P_{EV}$
	Einzelkostenlöhne	3.1	Lohn Van-Fahrer	$PK_{Vf} = Anz_{Vfh} * En_{Vfh}$
GK	Materialgemeinkosten	1.3	Energiekosten Depot- und Verwaltungsflächen	Entspricht $EK_{DepVerw}$
	Personalkosten	2.1- 2.4	Gehälter	Entspricht PK_{Gehalt}
		4.1	Gesetzliche Sozialkosten	Entspricht SzK_{ges}
	Dienstleistungen	5	Versicherungskosten	Entspricht DK_{Ver}
		6	Instandhaltungskosten	Entspricht DK_{Ins}
	Kalkulatorische Kosten	7	Kalkulatorische Abschreibungen	Entspricht KA_{ges}

4.3.3.3 Kostenstellenrechnung

Im Schema der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung folgt auf die Erfassung und Bewertung der anfallenden Kosten (je Betrachtungszeitraum) in der Kostenartenrechnung, die Zuordnung der ausgewiesenen Gemeinkosten auf die betrieblichen Teilbereiche bzw. Kostenstellen.¹⁷³

Durch die – aufgrund geringer Planungstiefe des Geschäftsmodells und Nichtexistenz detaillierter Kostendaten (etwa aus Vorgängerperioden) – wenig komplexe Ausgangssituation entsteht eine Überschaubarkeit der Kosten und Prozesse. Für Einproduktunternehmen, welche eine solche Ausgangssituation vorweisen, kann das gesamte Unternehmen als eine Kostenstelle aufgefasst und die in der Kostenartenrechnung ausgewiesenen Kosten direkt auf den Kostenträger umgerechnet werden, da die Gemeinkosten nur für die Erstellung eines Kostenträgers angefallen sind.¹⁷⁴ Dazu sollen die erfassten Kostenarten hinsichtlich ihrer Beschäftigungsabhängigkeit in variable (k_{var}) und fixe Kosten (K_{fix}) differenziert werden:

Tabelle 30: Schlüsselung der Kosten in k_{var} und K_{fix} sowie Höhe der Ansetzung dieser

Nr.	Bisherige Abk.	Klassifikation	Zur weiteren Verwendung genutzte Abk.	Bewertungsgrundlage k_{var} oder K_{fix}
1.1	EK_{ADBges}	k_{var}	$k_{varEKadb}$	Entspricht EK_{ADBges}
1.2	EK_{Vanges}	k_{var}	$k_{varEKvan}$	Entspricht EK_{Vanges}
3.1	PK_{Vf}	k_{var}	$k_{varPKvf}$	Entspricht PK_{Vf}
1.3	$EK_{DepVerw}$	K_{fix}	$K_{fixEKdepverw}$	Entspricht $K_{fixEKdepverw}$
2.1- 2.4	PK_{Gehalt}	K_{fix}	$K_{fixPKgehalt}$	Entspricht PK_{Gehalt}
4.1	SzK_{ges}	k_{var} für PK_{Vf}	$k_{varSzKvf}$	$k_{varSzKvf} = SzA_{ges} * PK_{Vf}$
		K_{fix} für PK_{Gehalt}	$K_{fixSzKgehalt}$	$K_{fixSzKgehalt} = SzA_{ges} * PK_{Gehalt}$
5	DK_{Ver}	K_{fix}	$K_{fixDKver}$	Entspricht DK_{Ver}
6	DK_{Ins}	K_{fix}	$K_{fixDKins}$	Entspricht DK_{Ins}
7	KA_{ges}	K_{fix} , da lineare Abschreibung gemäß n	$K_{fixKAges}$	Entspricht K_{fix}

¹⁷³ vgl. Zdrowomyslaw 2001, S. 282

¹⁷⁴ vgl. Zdrowomyslaw 2001, S. 281

Somit:

Formel 26: Anfallende Gesamtfixkosten (K_{fixGes})

$$K_{fixGes} = K_{fixEKdepverw} + K_{fixPKgehalt} + K_{fixSzKgehalt} + K_{fixDKver} + K_{fixDKins} \\ + K_{fixKAgas}$$

Und:

Formel 27: Anfallende variable Kosten je Kostenträger (k_{var})

$$k_{var} = \frac{K_{varges}}{x}$$

wobei

K_{varGes} = Variable Kosten des Betrachtungszeitraums

$$K_{varGes} = k_{varEKadb} + k_{varEKvan} + k_{varPKvf} + k_{varSzKvf}$$

x = Absatzmenge

$$x = P_{zz} * Anz_{Arbeitsstage}$$

Die Absatzmenge x entspricht dabei den jährlich zuzustellenden Paketen und geht von einer konstanten Zahl der täglich zuzustellenden Pakete aus. Eine solche Annahme bzgl. des Auftragsvolumens auf Tagesbasis erscheint allein in Hinblick auf Saisongeschäfte als unrealistisch. Dabei stellt sie die Gesamtheit der innerhalb eines Jahres erzeugten Kostenträger (in diesem Fall die Dienstleistung der Paketzustellung via ADB) dar.

4.3.3.4 Kostenträgerrechnung

Eine Trennung der anfallenden Kostenarten in variable und fixe Kosten ermöglicht den Ausweis eines Nettoergebnisses:

Formel 28: Berechnung des Nettoergebnisses¹⁷⁵

$$Nettoergebnis = x * (P - k_{var}) - K_{fixGes}$$

¹⁷⁵ Olfert 2018, S. 299

wobei

$$P = \text{Absatzpreis}$$

Bei der Ermittlung des zur Errechnung des Betriebsergebnisses notwendigen Absatzpreises (P), muss beachtet werden, dass in der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung nur die variablen Kosten auf die Erzeugnisse verrechnet werden. Durch die grundsätzliche Gewinnerzielungsabsicht der Unternehmen müssen jedoch auch mindestens die fixen Kosten gedeckt werden. Über die Deckung der fixen Kosten hinaus soll die Leistungserstellung jedoch auch gewinnbringend sein, so dass auf die variablen Kosten je Stück zusätzlich zum zur Deckung der Fixkosten dienenden Anteil ein Gewinnanteil aufgeschlagen werden muss. Neben der Höhe der entstehenden Fixkosten muss also auch der geplante Gewinnanteil berücksichtigt werden. Dazu soll der bereits in Kapitel 4.3.3 genannte Zuschlagssatz je Stück dienen.

Der Absatzpreis (P) kann gemäß der Kalkulation mit absoluten Brutto-Deckungszuschlägen wie folgt ermittelt werden:

Formel 29: Absatzpreis P mit absoluten Brutto-Deckungsbeiträgen¹⁷⁶

$$P = \frac{K_{varGes} + DB}{x}$$

Soll der Deckungsbeitrag (DB) also sowohl die fixen Kosten decken als auch einen Gewinnanteil je Kostenträger miteinbeziehen, muss für diesen gelten:

Formel 30: Angepasster Deckungsbeitrag

$$DB = (DB_{St} * (1 + \text{Aufschlagssatz}_{St})) * x$$

wobei

$$DB_{St} = \text{Deckungsbeitrag je Stück}$$

$$DB_{St} = \frac{K_{fixGes}}{x}$$

¹⁷⁶ vgl. Olfert 2018, S. 302

Durch die Ermittlung des DB_{St} lassen sich die Fixkosten auf den Kostenträger umverteilen (nur zu Preisbildungszwecken), sodass bei gegebener Absatzmenge x genau die im Betrachtungszeitraum anfallenden K_{fixGes} gedeckt werden können. Durch die Multiplikation des DB_{St} mit dem Faktor $(1 + Aufschlagssatz_{St})$ lässt sich ein geplanter Gewinnanteil je Kostenträger ausweisen, sodass ein betrachtungszeitraumbezogener Gewinn ausgewiesen werden kann.

Unter Berücksichtigung dieses Umstandes kann die Formel zur Ermittlung des Absatzpreises (P) wie folgt angepasst werden:

$$P = \frac{K_{varGes} + ((DB_{St} * (1 + Aufschlagssatz_{St})) * x)}{x}$$

4.3.3.5 Ausweis des Betriebsergebnisses

Für die Ermittlung des Betriebsergebnisses zum Zwecke der kurzfristigen Erfolgsrechnung in tabellarischer Form eignet sich das Umsatzkostenverfahren (UKV). Zwar kann das Betriebsergebnis auch über Formel 28 berechnet werden, das UKV macht die Kosten jedoch durch die tabellarische Darstellung transparenter. Da das Rechentool grundsätzlich auf Teilkosten basiert muss das in *Zdrowomyslaw* (2001) ausgewiesene Schema des UKV angepasst werden:

Tabelle 31: Darstellung des UKV-Schemas in der Teilkostenrechnung

	Umsatzerlöse des Produktes
-	Variable Stückkosten
=	Deckungsbeitrag
-	Fixkosten des Betrachtungszeitraumes
=	Betriebsergebnis

Die Berechnung eines konkreten Betriebsergebnisses unter Zuhilfenahme des erstellten Kostenrechnungstools soll in Kapitel 4.4 erfolgen.

4.3.4 Kritische Diskussion

In diesem Unterkapitel soll die Vorgehensweise sowie das Ergebnis des Erstellungsprozesses des Rechentools kritisch beleuchtet und Probleme diskutiert werden.

4.3.4.1 Methodendiskussion

Das bei der Erstellung des Geschäftsmodells eingesetzte BMC eignet sich zur Erstellung bzw. Darstellung von Geschäftsmodellen auf dessen Basis sich durch die verschiedenen Bausteine konkrete Aspekte - die eine wichtige Rolle bei der Finanzplanung spielen – ableiten lassen. Bei der Neukonzeption eines Geschäftsmodells liegen jedoch in den wenigsten Fällen konkrete vergangenheitsbezogene Daten der Finanzbuchhaltung vor, aus denen konkrete Werte für die Finanzplanung abgeleitet werden können. Auch im Falle des in dieser Abhandlung erstellten Geschäftsmodells beruht die Finanzplanung maßgeblich auf Annahmen, die wenn möglich unter Berücksichtigung literatur- und webrecherchebasierter Vergleichswerte getroffen wurden, aber nicht zwingend realistischen betrieblichen Umständen entsprechen müssen. Darüber hinaus mussten viele Berechnungsvorschriften und Formeln, aufgrund einer Nicht-Auffindbarkeit in der untersuchten Literatur, unter Voraussetzung logischer Gesichtspunkte hergeleitet werden, wodurch keine hundertprozentige Deckung des Rechentools durch betriebswirtschaftliche Fachliteratur ausgewiesen werden kann. Die Auswahl einer geeigneten Methodik in Kapitel 4.3.3.1 birgt einige Schwierigkeiten: Einerseits musste das auszuwählende Kostenrechnungssystem den Anforderungen der Zielsetzung entsprechen und andererseits trotz der dünnen und maßgeblich Annahmen-basierten Datenlage eine hohe Aussagekraft ausweisen. So stellt sich die einstufige Deckungsbeitragsrechnung gemäß den Anforderungen der Ausgangssituation als das am besten geeignete Rechenverfahren heraus, jedoch bedarf es innerhalb der dort durchzuführenden Kostenstellenrechnung einer genauen Kenntnis der innerbetrieblichen Umstände und Beziehungen. Die dazu notwendige Detailtiefe und -breite kann sowohl durch die Geschäftsmodellkonzeption als auch im Sinne des Umfangs dieser Abhandlung nicht bereitgestellt werden, wodurch sich eine innerbetriebliche Leistungsverrechnung, die den Aussagegehalt der berechneten Werte stark steigern würde als beinahe unmöglich erweist, ohne etliche weitere Annahmen treffen zu müssen.

Darüber hinaus erweist sich der in Kapitel 4.3.3 ausgewiesene Referenzwert der DHL-Standardzustellung als problematisch, da keine Kenntnis über den Preisbildungsmechanismus der DHL Paket GmbH vorliegt. Demnach musste ein Preisbildungsverfahren unterstellt werden, welches nicht zwingend den realen Umständen entspricht. Durch die formelgebundene Bildung - gemäß des gewählten Kostenrechnungsansatzes - eines Absatzpreises im Rechentool kann kaum eine aussagekräftige Vergleichbarkeit zwischen beiden ermittelten Werten hergestellt werden.

4.3.4.2 Ergebnisdiskussion

Mit dem Ziel, durch den Aufbau eines literaturbasierten Formelkonstrukts ein möglichst variables Rechentool zu entwickeln, auf Basis dessen sich eine Aussage über die Profitabilität des Geschäftsmodells unter bestimmten Bedingungen treffen lässt, wurde ein in Excel implementierbares Tool geschaffen. Durch den modularen Aufbau lassen sich diverse Aspekte, etwa die produktionsfaktorbezogenen Kosten der Kostenartenrechnung, einzeln berechnen und darstellen. Dadurch kann eine Transparenz über die konkreten Kosten und deren Zusammenhänge hergestellt werden, soweit es die getroffenen Annahmen zulassen. Der modulare Aufbau bietet darüber hinaus die Möglichkeit, durch die Weiterverwendung der entsprechenden Parameter und Daten, kosten- bzw. bereichsbezogene Kennzahlen zu bilden mit denen management- bzw. kostenrechnungsseitig weitergearbeitet werden kann. Dennoch entstehen bei der Berechnung des Betriebsergebnisses gemäß des Rechentools verschiedene Probleme, die den Aussagegehalt der errechneten Ergebnisse beeinträchtigen:

Dabei zu nennen ist beispielsweise die Ermittlung des Personalbedarfs der entsprechend benötigten Mitarbeiter. Während sich die Anzahl der zur Erfüllung des geschätzten Paketzustellvolumens benötigten Van-Fahrer und Operatoren auf Basis von Formeln ermitteln lässt, wurden für die Berufsgruppe der Lageristen sowie der Industriekaufleute Annahmen im Sinne eines konkreten Wertes getroffen. Um eine vollständige Variabilität des Tools herzustellen, müsste der Personalbedarf für Industriekaufleute und Lageristen auf Basis eines Zusammenhangs zwischen täglich abzuwickelnden Zustellungen und der dazu benötigten Zahl der Mitarbeiter ermittelt werden. Eine dazu notwendige Einschätzung (etwa des Paket-Handlings innerhalb des Depots) kann ohne Kenntnis der genaueren Prozesse und ohne vergleichbare Daten nur schwer vorgenommen werden. Demnach müssten bei einer Veränderung der P_{ZZ} sowie der daraus resultierenden Absatzmenge x ab einer gewissen Größe eine manuelle Veränderung der Personalbedarfe im Tool vorgenommen werden. Der durch die Abwicklung zusätzlicher Pakete entstehende Mehraufwand muss durch zusätzliche Mitarbeiter kompensiert werden, wodurch sich die auf den Personalbedarfen beruhenden Personalkosten zu sprungfixen Kosten verändern. Ähnlich verhält es sich auch bei der Investitionsplanung sowie den daraus resultierenden kalkulatorischen Abschreibungen: Durch die Abhängigkeit der beiden Größen von der täglichen Zustellungszahl verändern sich die Werte für In_1 und In_3 sowie der KA_{ges} . Da sowohl Letztere (durch ihre Typisierung als lineare Abschreibungen) als auch die Gehälter (vgl. hierzu *Olfert* (2018), S. 298) als Fixkosten betrachtet werden, verändert sich mit der zuzustellenden Menge auch der zu deckende Fixkostenbetrag stufenweise. Demnach kann bei einer reinen Umstellung der P_{ZZ} im

Rechnungstool kein gleichbleibender Fixkostensockel ausgewiesen werden, weil die Kosten direkt mit der Zahl der zu betreibenden ADB- und Van-Modelle zusammenhängt. Durch den Preisbildungsmechanismus entsteht hierdurch ein anderer anzuwendender Absatzpreis, wodurch sich zwingendermaßen auch das Betriebsergebnis verändert. Die Skalierbarkeit der P_{zz} gerät hier im Tool an eine Grenze, da kein gleichbleibender Absatzpreis ermittelt werden kann, sondern dieser stets von den geplanten täglichen Zustellungen abhängt.

Eine Skalierbarkeit kann erreicht werden, indem eine Annahme bzgl. der Flottengrößen und einer Stammbesetzung an Mitarbeitern getroffen wird. Dadurch entstehen gleichbleibende Werte für die entstehenden PK_{Gehalt} sowie Investitionen und daraus resultierenden Abschreibungen. Die dabei fixe Größe der Fahrzeugflotte stellt eine Obergrenze der Kapazität dar, eine Ermittlung des Betriebsergebnisses kann demnach nur für Werte getroffen werden für die gilt: $P_{zz} \leq \text{Annahme}$.

Gemäß der literaturbasierten Formel zur Errechnung des Absatzpreises P muss in diesen ein Deckungsbeitrag DB integriert werden. Ebendieser Deckungsbeitrag wird in der Regel gemäß dem in Tabelle 31 dargestellten Schema aus der Differenz des Produkterlöses und der variablen Kosten (auf Stückerbene oder als Gesamtwert eines Produktes) errechnet. Im Falle des Rechentools kann aber nicht von einem bestehenden Absatzpreis auf den DB geschlossen werden, sondern dieser muss konkret beziffert werden, damit er in den Preisbildungsmechanismus integriert werden kann. Da ein konkreter Wert festgelegt werden musste, wurden die gesamten fixen Kosten angesetzt. Durch eine Annahme wie diese werden die (neben den ohnehin in den Absatzpreis einfließenden variablen Kosten) gesamten Fixkosten in den Preis eines einzelnen Kostenträgers umgelegt sodass unter der Annahme der geplanten Absatzmenge x in jedem Fall alle Kosten gedeckt sind und damit mindestens ein Betriebsergebnis von 0 erreicht wird. Darüber hinaus wurde in Anlehnung an das grundsätzliche unternehmerische Interesse der Gewinnerreichung ein Gewinnanteil je Kostenträger aufgeschlagen. Durch den zusätzlichen Betrag, werden nicht nur die fixen und variablen Kosten gedeckt, es resultiert auch zwingendermaßen ein positives Betriebsergebnis (bei voller Auslastung der Absatzmenge x durch die Kunden).

Die Durchführung der Betriebsergebnisrechnung mit dem erstellten Rechentool kann also nur folgendermaßen ablaufen. Auf Basis einer geplanten jährlichen Absatzmenge x soll eine dafür geeignete Flotte bereitgestellt (Investitionsplanung) werden. Die für diese Ausbringungsmenge x resultierenden Kosten werden über das Formelkonstrukt der Kostenartenrechnung ermittelt und über die Ermittlung eines Absatzpreises P auf den

Kostenträger umgelegt. Mittels dieses Preises lassen sich (bei Erreichen der geplanten Absatzmenge x) nicht nur alle Kosten decken, sondern auch ein Gewinnanteil realisieren. Aufgrund der begrenzten Kapazität (resultierend aus der Größe der Fahrzeugflotte) kann höchstens die geplante Absatzmenge x realisiert werden und dadurch höchstens ein Gewinn in Höhe des Anteils des Zuschlags an den Gesamtfixkosten erreicht werden. Die tatsächliche Zahl der Zustellungen, bestimmt auf Basis des Absatzpreises P dann über die Höhe des Betriebsergebnisses.

Des weiteren gilt es zu beachten, dass bei der Bildung der Preise neben den kostengetriebenen Aspekten auch Elemente der Ökonomie, Verhaltenswissenschaft und Preisstrategie des Unternehmens eine Rolle spielen. Die Festlegung des Deckungsbeitrages kann also neben der im Rechentool angewandten Vorgabe von Soll-Deckungsbeiträgen auch auf Basis des Kostentragfähigkeitsprinzips erfolgen, wobei Marktverhältnisse analysiert und beachtet werden müssen. Mittels des Kostentragfähigkeitsprinzips könnte ein marktgerechter Deckungsbeitrag aufgeschlagen werden, mithilfe dessen sich die Aussagekraft des Betriebsergebnisses stark steigern ließe. Die dazu notwendigen preismanagement- und marktforschungstechnischen Aspekte bedürfen dabei jedoch einer gesonderten Betrachtung und können im Rahmen dieser Abhandlung nicht durchgeführt werden.

Darüber hinaus wird der Absatzpreis für eine Dienstleistung errechnet, die nur einen Teil der gesamten Zustelleistung eines Paketes über Vor-, Haupt- und Nachlauf betrachtet. Der im Rechenmodell ausgewiesene Absatzpreis inkludiert bereits einen Zuschlagssatz je Stück. Soll der Gesamtpreis der Zustelldienstleistung über alle Phasen der Zustellung errechnet werden, muss der Zuschlagssatz aber auf die gesamten Kosten, also phasenübergreifend zugeschlagen werden. Die dazu weiter zu verrechnenden Kosten können gemäß der folgenden Formel ermittelt werden.

Formel 31: Zur Ermittlung des Gesamtabsatzpreises weiterzugebenden Kosten

$$\text{Kosten zur Weiterverrechnung} = \frac{K_{varGes} + K_{fixGes}}{x}$$

Mittels des bereits angesetzten Kostenanteils der letzten Meile können dann die gesamten Kosten einer Sendung ermittelt und ein Zuschlagssatz je Sendung erhoben und ein finaler Absatzpreis (P_{final}) werden:

Formel 32: Finaler Absatzpreis (3-Phasen)

$$P_{final} = K_{Zufinal} * (1 + \text{Aufschlagsatz})$$

wobei

$$K_{Zufinal} = \text{Kosten je Zustellung final}$$

$$K_{Zufinal} = \text{Kosten zur Weiterverrechnung} * \frac{1}{\text{Kostenanteil letzte Meile}}$$

Um allerdings eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der ADB-Zustellung zu treffen, bedarf es auch der Ermittlung eines abteilungs- bzw. bereichsspezifischen isolierten Betriebsergebnisses und damit einer Errechnung eines isolierten Absatzpreises P .

4.4 Feststellung der Profitabilität des Geschäftsmodells mittels Szenarioanalysen

Trotz der geminderten Aussagekraft des Rechentools durch die in Kapitel 4.3.4 diskutierten Aspekte, kann das Tool dazu genutzt werden, um verschiedene Szenarien zu untersuchen und die Auswirkungen der dazu getroffenen Parameter auf das Betriebsergebnis zu betrachten. Dazu sollen im Folgenden diverse Szenarien definiert und diskutiert werden. Die Datenblätter der dazu jeweils gewählten Werte der Variablen finden sich im Anhang.

4.4.1 Szenario A – Betriebsergebnis gemäß getroffenen Annahmen

Innerhalb dieses ersten Szenarios soll ein Betriebsergebnis für die im Laufe der Erstellung des Tools getroffenen Annahmen errechnet werden. Dabei soll davon ausgegangen werden, dass genau die geplante Absatzmenge x durch die Kunden in Anspruch genommen wird.

Tabelle 32: ADB- und Mutterschiff-Van Flottengrößen für Szenario A

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Zahl der benötigten Mutterschiff-Vans	Anz_{Van}	10	[ME]
Zahl der benötigten ADBs	Anz_{ADB}	80	[ME]

Und:

Tabelle 33: Investitionsbeträge für Szenario A

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Gesamtinvestitionen ADB- und Van-Flotte	/	847.500	[€]
Gesamtinvestitionen Depot und Verwaltung	/	2.285.000	[€]
Gesamtinvestitionen	/	3.132.500	[€]

Somit ergeben sich unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen folgende Kosten:

Kat.	Kostenart	Bezeichnung	Abkürzung	Menge	Einheit	Kosten je ME	Einheit	Betrag
EK	Materialeinzelkosten	Energiekosten Zustellprozess ADB	EK_ADBges	33574	kWh/Jahr	16,65	ct/kWh	559.007,10 €
		Energiekosten Zustellprozess Van	EK_Vanges	3093	kWh/Jahr	16,65	ct/kWh	51.498,45 €
	Einzelkostenlöhne	Lohn Van-Fahrer	PK_Vf	40160	h/Jahr	14,5	€/h	582.320,00 €
Summe Einzelkosten								1.192.825,55 €
GK	Materialgemeinkosten	Energiekosten Depot- und Verwaltungsflächen	EK_DepVerw					23.639,00 €
	Personalkosten	Gehälter	PK_Gehalt					760.200,00 €
		Gesetzliche Sozialkosten	SzK_ges					259.441,99 €
	Dienstleistungen	Versicherungskosten	DK_Ver					15.000,00 €
		Instandhaltungskosten	DK_Ins					5.000,00 €
	Kalkulatorische Kosten	Kalkulatorische Abschreibungen	KA_ges					232.244,51 €
Summe Gemeinkosten								1.295.525,50 €

Abbildung 10: Darstellung der für Szenario A entstehenden Kosten (Eigene Darstellung)

Tabelle 34: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario A

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Variable Kosten je Kostenträger	k_{var}	1,49	[€]
Gesamtfixkosten	K_{fixGes}	1.182.992,16	[€]
Absatzmenge	x	878.500	[ME]
Absatzpreis	P	2,90	[€]

Tabelle 35: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario A

Bezeichnung	Berechnung	Wert	Einheit
Umsatzerlöse des Produktes	$878.500 * 2,90 \text{ €} =$	2.547.500,65	[€]
- Variable Stückkosten	$878.500 * 1,49 \text{ €} =$	1.305.358,89	[€]
= Deckungsbeitrag		1.242.141,76	[€]
- Fixkosten des Betrachtungszeitraumes		1.182.992,16	[€]
= Betriebsergebnis		59.149,61	[€]

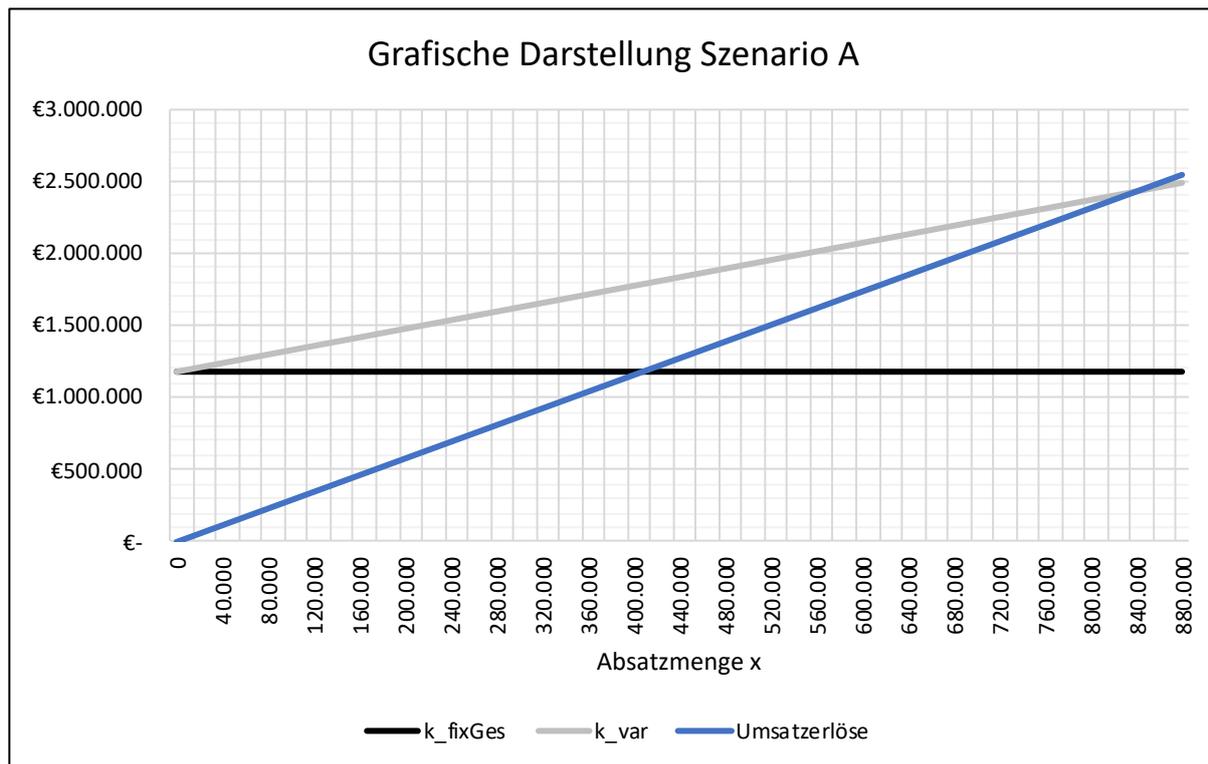


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario A (Eigene Darstellung)

Die notwendigerweise abzusetzende Menge (kritische Menge (x_{krit})) kann wie folgt ermittelt werden:

Formel 33: Kritische Menge (x_{krit})

$$x_{krit} = \frac{K_{fixGes}}{DB_{St}}$$

$$\rightarrow x_{krit} = 836.667$$

Damit ergibt sich ein Spielraum zwischen geplantem Absatz x (878.500) und der kritischen Menge x_{krit} (836.667) von nur 41.833 Paketen, wodurch eine Auslastung von mindestens 95,2% der geplanten Absatzmenge x erzielt werden muss, um die Gewinnzone erreichen zu können. Innerhalb dieser Betrachtung stellt die geplante Absatzmenge x eine Auslastung von 100% dar. Demnach muss die Absatzplanung zu Beginn der Periode eine hohe Genauigkeit aufweisen, um die durchaus schmale Gewinnzone erreichen zu können.

Tabelle 36: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario A

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Absatzpreis final (3-Phasen)	P_{final}	4,96	[€]
Kosten je Zustellung final	$K_{Zufinal}$	4,72	[€]

Der anzusetzende Absatzpreis über alle Zustellphasen hinweg beträgt mit 4,96 € je Zustellung 17ct mehr als in der Standardzustellung. Bei einer isolierten Betrachtung des Nachlaufs kann zwar ein positives Betriebsergebnis in Höhe von 59.149,61 € erreicht werden, werden jedoch alle drei Phasen einer Zustellung in die Bewertung miteinbezogen, so stellt sich die Zustellung mit einem ADB als kostenintensivere Option gegenüber der Standardzustellung mit dem Van heraus. Demnach würden autonome Zustellroboter vermutlich nicht auf der letzten Meile zum Einsatz kommen.

4.4.2 Szenario B – Steigende Betriebs- und Investitionskosten der ADBs

Innerhalb dieses zweiten Szenarios soll ein wesentlich höherer Preis für Strom und Anschaffungskosten der ADBs unterstellt werden. Damit soll das Geschäftsmodell hinsichtlich seiner Abhängigkeit von kostengünstigen ADB-Modellen und deren Betrieb untersucht werden. Die täglich zuzustellende Paketzahl und die daraus resultierende geplante Absatzmenge x bleibt gegenüber Szenario A unverändert. Zusätzlich soll eine tatsächliche - durch den Kunden in Anspruch genommene - Absatzmenge (x_{tats}) in Höhe von 90% der geplanten Absatzmenge x unterstellt werden, um eine realistischere Auslastung zu simulieren.

Tabelle 37: Sich gegenüber Szenario A in Szenario B verändernde Parameter

Bezeichnung	Abk.	Wert bisher (Szenario A)	Wert (Szenario B)
In Anspruch genommene Absatzmenge	x_{tats}	100 %	90%
Notwendiger Investitionsbetrag je ADB-Modell	$InvK_{ADB}$	3000 €	8000€
Energiepreis	P_{EV}	$16,65 \frac{ct}{kWh}$	$25 \frac{ct}{kWh}$

Während die Zahl notwendiger ADBs und Mutterschiff-Vans konstant bleibt, verändern sich Summen der Investitionsplanung: Die zur Herstellung der Betriebsbereitschaft notwendigen Investitionen steigen gegenüber Szenario A um rund 12,8%.

Tabelle 38: Investitionsbeträge für Szenario B

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Gesamtinvestitionen ADB- und Van-Flotte	/	1.247.500	[€]
Gesamtinvestitionen Depot und Verwaltung	/	2.285.000	[€]
Gesamtinvestitionen	/	3.532.500	[€]

Seitens der kostenträgerspezifischen Parameter fällt vor allem der starke Anstieg der variablen Kosten, bedingt durch die starke Erhöhung des Energiepreises um 34 ct ins Auge:

Tabelle 39: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario B

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Variable Kosten je Kostenträger	k_{var}	1,83	[€]
Gesamtfixkosten	K_{fixGes}	1.261.513,82	[€]
In Anspruch genommene Absatzmenge	x_{tats}	790.650	[ME]
Absatzpreis	P	3,34	[€]

Tabelle 40: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario B

Bezeichnung	Berechnung	Wert	Einheit
Umsatzerlöse des Produktes	$790.650 * 3,34 \text{ €} =$	2.642.506,07	[€]
- Variable Stückkosten	$790.650 * 3,34 \text{ €} =$	1.450.375,51	[€]
= Deckungsbeitrag		1.192.130,56	[€]
- Fixkosten des Betrachtungszeitraumes		1.261.513,82	[€]
= Betriebsergebnis		- 69.383,26	[€]

Wie aus Tabelle 40 ersichtlich wird, ist das errechnete Betriebsergebnis für Szenario B negativ. Demnach spielen Strompreis und Investitionskosten je ADB eine wichtige Rolle für die Profitabilität des Geschäftsmodells. Im Falle des Szenarios B würde die Gewinnschwelle erst bei einem $x_{krit} = 835.440$ – entsprechend einer Auslastung von 95,1% - erreicht werden. Grundsätzlich ist das Geschäftsmodell also auch bei einer Erhöhung der Strom- und Anschaffungspreise der ADBs tragbar, jedoch muss die Planungsgenauigkeit sehr hoch sein, da die Gewinnzone erst sehr spät erreicht werden kann (vgl. hierzu Abbildung 12). Als interessant erweist sich auch der Umstand, dass das gegenüber Szenario A negative Betriebsergebnis primär durch die Änderung der tatsächlichen Absatzmenge x_{tats} bedingt ist.

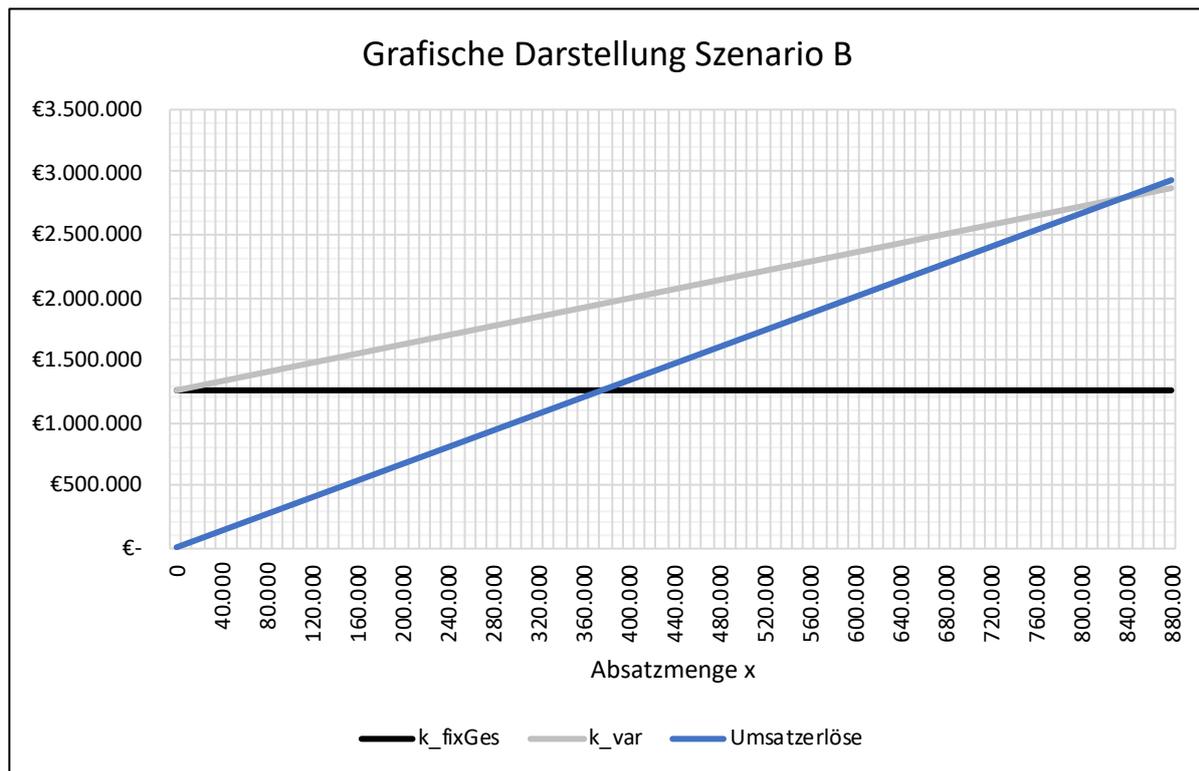


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario B (Eigene Darstellung)

Tabelle 41: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario B

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Absatzpreis final (3-Phasen)	P_{final}	5,72	[€]
Kosten je Zustellung final	$K_{Zufinal}$	5,45	[€]

Der finale Absatzpreis liegt mit 5,72 € je Zustellung weit über dem durch die DHL Paket GmbH angesetzten Marktpreis für eine Standardlieferung. Um ausgehend von der Planungsmenge x einen P_{final} in Höhe von 4,79€ (Referenzwert) erreichen zu können, müssten die Fixkosten um 56% reduziert werden. Demnach erweisen sich die Fixkosten als wesentlicher Kostenfaktor, wenn der Preis auf Basis aller drei Phasen der Zustellung berechnet werden soll.

4.4.3 Szenario C – Anpassung der DPO-Rate

Innerhalb dieses dritten Szenarios soll eine wesentlich niedrigere - an die in Kapitel 3.2.3.3 durchgeführte Berechnung angelehnte – DPO-Rate unterstellt werden. Damit kann den grundsätzlich strengen Vorschriften im Bereich des autonomen Fahrens und dem Drohnen-Handling Rechnung getragen werden. Zusätzlich soll eine tatsächliche - durch den Kunden in

Anspruch genommene - Absatzmenge (x_{tats}) in Höhe von 90% der geplanten Absatzmenge x unterstellt werden. Die übrigen Parameter entsprechen denen des Szenarios A.

Tabelle 42: Sich gegenüber Szenario A in Szenario C verändernde Parameter

Bezeichnung	Abk.	Wert bisher (Szenario A)	Wert (Szenario C)
Drones Per Operator Rate	DPO	40	5
In Anspruch genommene Absatzmenge	x_{tats}	100 %	90%

Dadurch dass keine Änderungen an den geplanten täglichen Zustellungen P_{zz} und der daraus resultierenden Absatzmenge x vorgenommen wurde, bleiben Anz_{ADB} und Anz_{Van} gegenüber Szenario A konstant. Auch die Investitionssummen verändern sich nicht. Stattdessen steigt die Summe der PK_{Gehalt} durch die stark gestiegene Zahl der notwendigen Operatoren um etwa 79,8% gegenüber Szenario A auf einen Wert von 1.366.400 € an.

Kat.	Kostenart	Bezeichnung	Abkürzung	Menge	Einheit	Kosten je ME	Einheit	Betrag
EK	Materialeinzelkosten	Energiekosten Zustellprozess ADB	EK_ADBges	33574	kWh/Jahr	16,65	ct/kWh	559.007,10 €
		Energiekosten Zustellprozess Van	EK_Vanges	3093	kWh/Jahr	16,65	ct/kWh	51.498,45 €
	Einzelkostenlöhne	Lohn Van-Fahrer	PK_Vf	40160	h/Jahr	14,5	€/h	582.320,00 €
Summe Einzelkosten								1.192.825,55 €
GK	Materialgemeinkosten	Energiekosten Depot- und Verwaltungsflächen	EK_DepVerw					23.639,00 €
	Personalkosten	Gehälter	PK_Gehalt					1.366.400,00 €
		Gesetzliche Sozialkosten	SzK_ges					376.590,14 €
	Dienstleistungen	Versicherungskosten	DK_Ver					15.000,00 €
		Instandhaltungskosten	DK_Ins					5.000,00 €
	Kalkulatorische Kosten	Kalkulatorische Abschreibungen	KA_ges					232.244,51 €
Summe Gemeinkosten								2.018.873,65 €

Abbildung 13: Darstellung der für Szenario C entstehenden Kosten (Eigene Darstellung)

Tabelle 43: Kostenträgerbezogene Parameter Szenario C

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Variable Kosten je Kostenträger	k_{var}	1,49	[€]
Gesamtfixkosten	K_{fixGes}	1.906.340,31	[€]
In Anspruch genommene Absatzmenge	x_{tats}	790.650	[ME]
Absatzpreis	P	3,76	[€]

Daraus kann folgende Ermittlung des Betriebsergebnisses durchgeführt werden:

Tabelle 44: Ausweis des isolierten Betriebsergebnisses für Szenario C

Bezeichnung	Berechnung	Wert	Einheit
Umsatzerlöse des Produktes	$790.650 * 3,76 \text{ €} =$	2.976.314,59	[€]
- Variable Stückkosten	$790.650 * 3,76 \text{ €} =$	1.174.823,00	[€]
= Deckungsbeitrag		1.801.491,59	[€]
- Fixkosten des Betrachtungszeitraumes		1.906.340,31	[€]
= Betriebsergebnis		- 104.848,72	[€]

Das für Szenario C ausgewiesene Betriebsergebnis ist negativ. Durch die stark gestiegenen Fixkosten (Anstieg um ca. 61% gegenüber Szenario A) muss ein viel größerer Fixkostenbetrag gedeckt werden (siehe dazu auch Abbildung 14). Durch die bereits kritisch diskutierte Bildung des Absatzpreises P müssten die Kosten jedoch bei einer möglichst hohen Auslastung gedeckt werden. Die Gewinnzone würde in diesem Fall bei einer kritischen Menge $x_{krit} = 836.667$ erreicht werden, was einer Auslastung von 95,2% entspricht. Dieser Umstand verdeutlicht, welche Bedeutung die Planungsgenauigkeit bei der Ermittlung des anzusetzenden Absatzpreises hat. Werden zu wenige x_{tats} erreicht, spielen die entstehenden Kosten eine untergeordnete Rolle für das Betriebsergebnis.

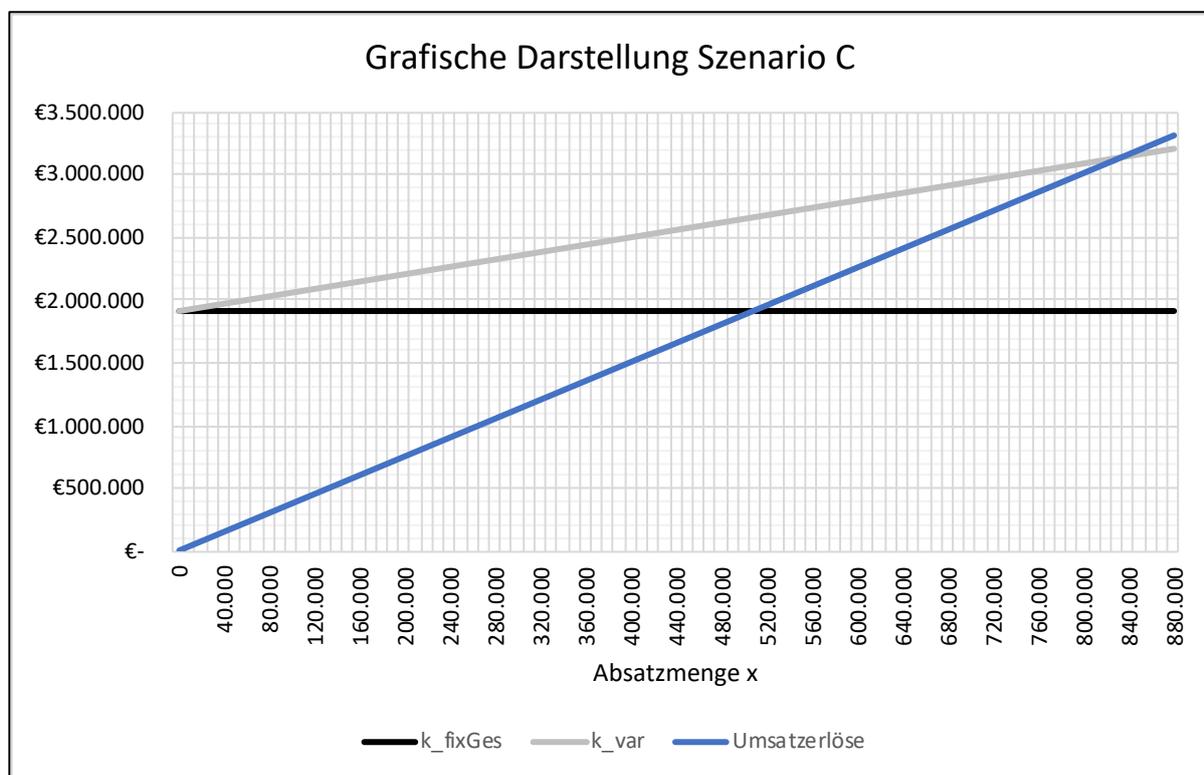


Abbildung 14: Grafische Darstellung der Kosten- und Erlösverläufe sowie der daraus resultierenden Gewinnschwelle für Szenario C (Eigene Darstellung)

Tabelle 45: Finaler Absatzpreis und finale Kosten je Zustellung für Szenario C

Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
Absatzpreis final (3-Phasen)	P_{final}	6,40	[€]
Kosten je Zustellung final	$K_{Zufinal}$	6,09	[€]

Bedeutsamer wird eine Veränderung der DPO-Rate für die Bildung des P_{final} . Durch die stark gestiegenen Fixkosten werden wesentlich mehr Kosten je Kostenträger zur Weiterverrechnung auf alle drei Zustellungsphasen angesetzt, wodurch der P_{final} auf 6,40 € ansteigt. Ein solcher Preis für eine ADB-eingebundene Zustellung kann in keinem Fall realisiert werden, da er rund 34% über dem Referenzwert liegt.

4.4.4 Kritische Diskussion der Szenarioanalysen

Der Ausweis eines isolierten – auf den Nachlauf der Zustellung beschränkten – Betriebsergebnisses wurde gemäß der in der kritischen Diskussion beschriebenen Vorgehensweise durchgeführt. Die Aussagekraft der Erkenntnisse aus den durchgeführten Szenarioanalysen ist jedoch vor dem Hintergrund der bereits diskutierten Schwachpunkte des Rechentools zu betrachten. Aussagekräftiger hingegen sind die entstehenden Werte für P_{final} und $K_{Zufinal}$, da das Geschäftsmodell in einen bestehenden KEP-Dienstleister implementiert werden soll und für die ADB-Zustellung ein Vor- und Nachlauf zwingendermaßen erforderlich ist. Die Szenarioanalysen haben gezeigt, dass die Einbindung von autonomen Zustellrobotern auf der letzten Meile unter den getroffenen Annahmen stets zu einem P_{final} geführt haben, der höher war als der herangezogene Referenzwert. Die Kosten je Sendung sind durch die ADB-Zustellung wesentlich höher als die der Van-Zustellung. Ein Einbau der autonomen Roboter scheint demnach aus Kostengründen nicht tragbar. Dennoch beruhen diese Erkenntnisse auf den Annahmen, die im Rechentool getroffen wurden. Eventuell würden bei einer Umstellung der entsprechenden Parameter durch daten- und zahlenkundige Personen andere Ergebnisse entstehen.

5 Ausblick

Die vorliegende Abhandlung hat den aktuellen technischen Stand ausgewählter ADB-Modelle beschreibend und vergleichend vorgestellt. Durch die rapide Entwicklung in den Bereichen Machine Learning, autonomes Fahren sowie die Kostenprobleme der letzten Meile wird eine technologische Weiterentwicklung bestehender ADB-Modelle und deren Einsatzkonzepte begünstigt. Die zunehmenden Probleme auf der letzten Meile erfordern Handlungsbedarf durch die KEP-Dienstleister; welche Lösung letzten Endes zum Einsatz kommt muss immer unter Berücksichtigung der lokalen Umstände geschehen, da es für verschiedene Gebiete und Ausgangssituationen verschiedene Lösungen zu entwickeln gilt. Dabei muss nicht zwingendermaßen ein einzelnes Lösungskonzept angewandt werden; vielmehr wird eine Mischung aus verschiedenen Lösungskonzepten zum Einsatz kommen. Inwiefern die autonomen Zustellroboter Teil dieser Mischung werden, hängt unter anderem davon ab, wann und in welcher Form ein juristischer Rahmen für den Einsatz ebendieser geschaffen wird. Ohne diesen juristischen Rahmen können ADB-basierte Zustellungen höchstens über Ausnahmegenehmigungen erfolgen, wodurch ein kommerzieller Betrieb im Sinne der Bedienung eines größeren Marktes ausgeschlossen scheint. Besonders interessant wird dabei die Definition der Verantwortlichkeiten für die Roboter sein. So wird die DPO-Rate eine entscheidende Rolle bei der Umsetzbarkeit eines solchen Geschäftsmodells spielen.

Darüber hinaus bedarf es, sollen ADBs zukünftig in die Lieferstrukturen eingebunden werden, einem erhöhten Diskurs zwischen KEP-Dienstleistern (bzw. den ADB-betreibenden Unternehmen) sowie den Bürgern und vor allem den Institutionen der öffentlichen Hand. Dabei müssen Regelwerke und Anforderungen bzgl. Sicherheitsaspekten und eventuellen Anpassungen der öffentlichen Infrastruktur erarbeitet werden und in die Stadt- und Raumplanung der Zukunft implementiert werden, um die für die ADBs bestehenden Hürden schrittweise abzubauen. Neben der Bereitschaft der KEP-Dienstleister eine ADB-basierte Zustellung in ihre Prozesse zu integrieren, bedarf es also auch einem großen Anteil der verwaltungsseitigen Institutionen. Grundsätzlich wird eine Paketzustellung durch autonome Delivery Bots jedoch nur dann realistisch erscheinen, solange diese keine höheren Kosten verursacht als die Standardzustellung mit dem V-Van. Sollte diese sich als kostengünstigere Option erweisen, werden die in Kapitel 2.3 beschriebenen Vorteile der ADB-Zustellung egalisiert.

Projekte wie der efeuCampus in Bruchsal leisten einen entscheidenden Beitrag dazu, dass die Situation auf dem Markt autonomer Zustellroboter spannend ist und bleibt. Durch Forschungsprojekte wie dieses können sowohl anbieter- als auch kundenseitig Erfahrungen

im Umgang mit autonomen Zustellrobotern gesammelt werden, wodurch zu einem späteren Zeitpunkt eine ganzheitlichere Situationsbetrachtung der ADB-Zustellung ermöglicht wird.

6 Weiterer Forschungsbedarf

Besonders die bislang ungenau definierte juristische Situation der autonomen Zustellroboter bietet noch ein großes Potenzial. Durch das Nichtvorliegen einer bindenden juristischen Grundlage kann der kommerzielle Betrieb einer Paketzustellung durch autonome Zustellroboter kaum realisiert werden. Dazu bedürfte es einer genauen Ausformulierung eines juristischen Konzeptes das die notwendigen sicherheitstechnischen, ethischen und kontrolltechnischen Aspekte umfasst (ähnlich der U-Space Verordnung).

Um die Umsetzbarkeit eines Geschäftsmodells zu untersuchen, bedarf es neben einer Überprüfung der Wirtschaftlichkeit auch einer Machbarkeitsanalyse. Dabei könnten verschiedene Instrumente, bspw. eine Branchen- und Marktanalyse, eine Wettbewerbsanalyse sowie eine SWOT-Analyse oder eine Betrachtung durch das Five-Forces-Modell von *Porter* eingesetzt werden, um die Tragbarkeit eines Geschäftsmodells für den Einsatz autonomer Zustellroboter auf der letzten Meile zu beurteilen. Darüber hinaus könnten für die Plattformlösung konkrete Prozesse, etwa durch Anwendung der UML-Darstellungen, definiert werden. Damit ließe sich ein genaueres Bild über die nutzerseitigen Abläufe bei der App-basierten Auftragsabwicklung zeichnen. Ein weiterer Forschungsbedarf besteht auch für den Preisbildungsmechanismus im Rechentool. Die in der kritischen Betrachtung erwähnten marktseitigen Einflussfaktoren bedürfen einer gesonderten Betrachtung, etwa in Form einer Befragung potenzieller Kunden bezüglich ihrer Zahlungsbereitschaft für die etwaige Nutzung einer ADB-Zustellung.

Bibliography

- Baum, Leonard/Assmann, Tom/Strubelt, Henning (2019): State of the art - Automated micro-vehicles for urban logistics. In: IFAC Proceedings Volumes, 52. Jg., S. 2455-2462.
- Bogdanski, Ralf/Cailliau, Cathrin (2020): Wie das Lastenrad die Letzte Meile gewinnen kann: Potentiale und kritische Erfolgsfaktoren. In: Journal für Mobilität und Verkehr (5), S. 12-29.
- Bogue, Robert (2019): Strong prospects for robots in retail. In: Industrial Robot: the international journal of robotics research and application, 46. Jg. (3), S. 326-331. URL: <https://doi.org/10.1108/IR-01-2019-0023> (2022/06/22).
- Boysen, Nils/Fedtke, Stefan/Schwerdfeger, Stefan (2021): Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. In: OR Spectrum, 43. Jg. (1), S. 1-58.
- Boysen, Nils/Schwerdfeger, Stefan/Weidinger, Felix (2018): Scheduling last-mile deliveries with truck-based autonomous robots. In: European Journal of Operational Research, 271. Jg. (3), S. 1085-1099.
- Bräbänder, Christian (2020): Die Letzte Meile: Definition, Prozess, Kostenrechnung und Gestaltungsfelder. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger (2015): Logistische Netzwerke. 3. . Auflage. Berlin: Springer Vieweg.
- Bröckermann, Reiner (2016): Personalwirtschaft: Lehr- und Übungsbuch für Human Resource Management. 7. . Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Brockhaus (2022a): Roboter
Brockhaus Enzyklopädie Online. URL: <https://brockhaus-de.ezproxy.hs-neu-ulm.de/ecs/permalink/0536F2D0082C6500E978C8113B406495.pdf> (06.05.2022).
- Brockhaus (2022b): Stadt. URL: <https://brockhaus-de.ezproxy.hs-neu-ulm.de/ecs/permalink/A09E904296625F68495EDB22096E9AB6.pdf> (02.05.2022).
- Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2022): Laufende Stadtbeobachtung - Raumabgrenzung: Stadt und Gemeindetypen in Deutschland. URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp.html> (02.05.2022).
- Bundesministerium der Finanzen (1998): AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig "Personen- und Güterbeförderung (im Straßen- und Schienenverkehr)". URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Personen-und-Gueterbefoerderung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (22.08.2022).
- Bundesministerium der Finanzen (2000): AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter ("AV"). URL:

- https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.pdf?blob=publicationFile&v=3 (22.08.2022).
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2019): Mobilfunkstrategie der Bundesregierung. In: Verkehr, Bundesministerium für Digitales und (Hrsg.). URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?blob=publicationFile>.
- Bundesnetzagentur (2022): Monitoring Mobilfunk - Flächenversorgung nach Bundesland. URL: https://download.breitband-monitor.de/202204_Auswertung_Bund_Zusammenfassung.pdf (20.07.2022).
- Chen, Cheng/Demir, Emrah/Huang, Yuan (2021): An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and delivery robots. In: European Journal of Operational Research, 294. Jg. (3), S. 1164-1180. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722172100120X>.
- Dabidian, Peiman/Langkau, Sven (2013): Straßengüterverkehr. In: Clausen, Uwe/Geiger, Christiane (Hrsg.): Verkehrs- und Transportlogistik. 3. Auflage, Berlin: Springer Vieweg, S. 137-159.
- Demir, Emrah/Syntetos, Aris/van Woensel, Tom (2022): Last mile logistics: Research trends and needs. In: IMA Journal of Management Mathematics. URL: <https://doi.org/10.1093/imaman/dpac006> (7/14/2022).
- DHL Paket GmbH (2022): Preisübersicht DHL Paket: Stand 1. Juli 2022. URL: <https://www.dhl.de/content/dam/images/pdf/dhl-paket-pk-preisuebersicht-072022.pdf> (18.08.2022).
- Domsche, Wolfgang/Scholl, Armin (2010): Logistik: Rundreisen und Touren. 5., überarbeitete und aktualisierte Auflage. München: Oldenbourg.
- Dooder (2022): Delivery Robot. URL: <https://thenounproject.com/icon/delivery-robot-3776617/> (12.07.22).
- efeu Campus Bruchsal (2022a): Betriebskonzept. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/komponenten/quartiersdepot/betriebskonzept/> (10.07.2022).
- efeu Campus Bruchsal (2022b): efeuApp. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/komponenten/efeuapp/> (23.06.2022).
- efeu Campus Bruchsal (2022c): Ladestation. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/komponenten/ladestation/> (10.07.2022).
- efeu Campus Bruchsal (2022d): Paketdienst. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/dienstleistungen/paketdienst/> (23.06.2022).
- efeu Campus Bruchsal (2022e): Systemanforderungen. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/komponenten/transportfahrzeug/systemanforderungen/>.
- efeu Campus Bruchsal (2022f): Transportfahrzeug. URL: <https://efeu-wissen.ieem-ka.de/efeu-wissen/komponenten/transportfahrzeug/> (23.06.2022).
- Europäische Kommission. (2021): Durchführungsverordnung (EU) 2021/664 der Kommission vom 22. April 2021 über einen Rechtsrahmen für den U-Space

- (Text von Bedeutung für den EWR). URL:
http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/664/oj.
- Fiat Professional (2022): Fiat Ducato Warentransport: Preisliste. (17.08.2022).
- Figliozzi, Miguel (2020): Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 85. Jg. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920306301>.
- Figliozzi, Miguel/Jennings, Dylan (2020a): Autonomous delivery robots and their potential impacts on urban freight energy consumption and emissions. In: Transportation Research Procedia, 46. Jg., S. 21-28.
- Figliozzi, Miguel/Jennings, Dylan. (2020b): A Study of the Competitiveness of Autonomous Delivery Vehicles in Urban Areas. International Conference on Information Systems, Logistics & Supply Chain. Austin, Texas.
- GEHALT.de (2022a): Gehaltsspanne: Drohnenpilot/-in in Deutschland. URL:
<https://www.gehalt.de/beruf/drohnenpilot> (19.08.2022).
- GEHALT.de (2022b): Gehaltsspanne: Industriekaufmann/-frau in Deutschland. URL:
<https://www.gehalt.de/beruf/industriekaufmann-industriekauffrau> (19.08.2022).
- GEHALT.de (2022c): Gehaltsspanne: Lagerist/-in in Deutschland. URL:
<https://www.gehalt.de/beruf/lagerist> (19.08.2022).
- Geiger, Christiane/Diekmann, Daniel (2013): Verkehrs- und Transportlogistik. In: Clausen, Uwe/Geiger, Christiane (Hrsg.) 2. . Auflage, Berlin: Springer Vieweg, S. 21-32.
- GmbHG: Gesetz betreffend die Gesellschaften mit beschränkter Haftung in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 4123-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 15. Juli 2022 (BGBl. I S. 1146) geändert worden ist. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/gmbhg/GmbHG.pdf>.
- Grunow, David et al. (2022): Einsatzpotenziale von Transportrobotern in der urbanen Logistik aus Anwendungsperspektive. In: Journal für Mobilität und Verkehr (12), S. 2-8.
- Hausladen, Iris (2011): IT-gestützte Logistik: Systeme - Prozesse - Anwendungen. Wiesbaden: Gabler.
- Hinrichs, Hans-Friedrich/Steffens, Karl-Georg/Wilke, Claus (2020): IntraCity E-Mobility Hamm (ICEM). In: Proff, Heike (Hrsg.): Neue Dimensionen der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 279-298.
- Hoffmann, Thomas/Prause, Gunnar (2018): On the Regulatory Framework for Last-Mile Delivery Robots. In: Machines, 6. Jg. (3). URL:
<https://www.mdpi.com/2075-1702/6/3/33>.
- Hölter, Ann-Kristin/Ninnemann, Jan (2020): Effizienz auf der letzten Meile – Optimierung der Schnittstellen zwischen Kunde, Logistik und Onlinehandel. In: Journal für Mobilität und Verkehr (5), S. 30-34.

- Iwan, Stanislaw/Kijewska, Kinga/Lemke, justyna (2016): Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution – the results of the research in Poland. In: *Transportation Research Procedia*, 12. Jg., S. 644-655.
- Jaller, Miguel/Otero-Palencia, Carlos/Pahwa, Anmol (2020): Automation, electrification, and shared mobility in urban freight: opportunities and challenges. In: *Transportation Research Procedia*, 46. Jg., S. 13-20.
- Jennings, Dylan/Figliozzi, Miguel (2019): A Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel. In: *Transportation Research Record*, 2673. Jg. (6), S. 317-326.
- Kampker, Achim et al. (2021): Elektromobile Logistik. In: Deckert, Carsten (Hrsg.): *CSR und Logistik: Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik*. 2. überarbeitete Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 293-308.
- Kunze, Oliver (2016): Replicators, Ground Drones and Crowd Logistics A Vision of Urban Logistics in the Year 2030. In: *Transportation Research Procedia*, 19. Jg., S. 286-299.
- Lee, Gabriel/Möller, Joachim (2020): Stadtökonomik. In: Bröcker, Johannes/Fritsch, Michael (Hrsg.): *Ökonomische Geographie*. München: Franz Vahlen.
- Leerkamp, Bert/Soteropoulos, Aggelos/Berger, Martin (2021): Zustellroboter als Lösung für die letzte Meile in der Stadt? In: Mitteregger, Mathias et al. (Hrsg.): *AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität*. Berlin: Springer Vieweg, S. 107-131.
- Maier, Helmut (2019): *Grundlagen der Robotik*. 2., überarbeitete und erweiterte. Auflage. Berlin: VDE Verlag.
- Matschke, Manfred Jürgen/Hering, Thomas/Klingelhöfer, Eckart (2002): *Finanzanalyse und Finanzplanung*. München: Oldenbourg.
- McKinsey & Company (2022): Drone delivery: More lift than you think. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/drone-delivery-more-lift-than-you-think> (11.07.2022).
- Mercedes-Benz (2017a): Mercedes-Benz Vans invests in Starship Technologies, the world's leading manufacturer of delivery robots. URL: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=15274799> (01.06.2022).
- Mercedes-Benz (2017b): Vans & Robots - Der kleine Paketbote aus dem Sprinter. URL: <https://www.mercedes-benz.com/de/fahrzeuge/transporter/vans-robots-der-kleine-paketbote-aus-dem-sprinter/> (01.06.2022).
- Mercedes-Benz (2022): Der Sprinter. 100% für Dich. URL: https://voc.mercedes-benz.com/voc/de_de?_ga=2.235950465.1857265914.1660745689-865368515.1660745689&_gac=1.87830122.1660746410.CjwKCAjwo_KXBhAaEi_wA2RZ8hLm2B2S-C9difu6kF5q8OMyICZxOJBSTLDP5WfqiyDNIFjdSja0EhRoC-nEQAvD_BwE (17.08.2022).

- Mourad, Abood/Puchinger, Jakob/Van Woensel, Tom (2020): Integrating autonomous delivery service into a passenger transportation system. In: International Journal of Production Research, 59. Jg. (7), S. 2116-2139.
- Müller-Stewens, Günter/Lechner, Christoph (2016): Strategisches Management: Wie strategische Initiativen zum Wandel führen. 5. überarbeitete. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Nagl, Anna (2020): Der Businessplan: Geschäftspläne professionell erstellen. Mit Checklisten und Fallbeispielen. 10., aktualisierte. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Olfert, Klaus (2018): Kostenrechnung. 18. Auflage. Herne: Kiehl.
- Osterwalder, Alexander/Pigneur, Yves (2010): Business Model Generation: Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer. Frankfurt: Campus.
- Peterson, Hayley (2018): Missing wages, grueling shifts, and bottles of urine: The disturbing accounts of Amazon delivery drivers may reveal the true human cost of 'free' shipping. URL: <https://www.businessinsider.com/amazon-delivery-drivers-reveal-claims-of-disturbing-work-conditions-2018-8> (16.04.2022).
- Popper, Karl R. (1996): Alles Leben ist Problemlösen: Über Erkenntnis, Geschichte, Politik. München: Piper.
- Ramp One (2020): Logistikkimmobilien sind eine Säule der Energiewende. URL: <https://www.ramp-one.de/logistikkimmobilien-sind-eine-saeule-der-energiewende/> (24.08.2022).
- Reisdorf, Pierre/Wanielik, Gerd (2013): Satellitengestützte Lokalisierung in urbanen Gebieten mit globalen Satellitennavigationssystemen. In: Advances in Radio Science, 11. Jg., S. 75-79. URL: <https://ars.copernicus.org/articles/11/75/2013/>.
- Robby Technologies (2019): Product. URL: <https://roby.io/product> (22.06.2022).
- Schulte, Christoph (2017): Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain. 7. Auflage. München: Vahlen.
- Simon, Hermann/Fassnacht, Martin (2009): Preismanagement: Strategie, Analyse, Entscheidung, Umsetzung. Wiesbaden: Gabler.
- Sonneberg, Marc-Oliver et al. (2019): Autonomous Unmanned Ground Vehicles for Urban Logistics: Optimization of Last Mile Delivery Operations. In: Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences | 2019, S. 1538-1547.
- Stadtwerke Gießen AG (2022): Informationen für Büros und Verwaltungen. URL: https://www.energiessen.de/fileadmin/user_upload/PDF/06_energiessen/04_Broschueren/SWG-Broschuere_Verwaltungen.pdf (24.08.2022).
- Starship Technologies (2016): 'Robovan' by Starship Technologies and Mercedes-Benz Vans: future-proof local delivery. URL: https://www.starship.xyz/press_releases/robovan-by-starship-technologies-and-mercedes-benz-vans-future-proof-local-delivery/ (01.06.2022).
- Starship Technologies (2022a): About. URL: <https://www.starship.xyz/business/> (10.07.2022).

- Starship Technologies (2022b): Company. URL: <https://www.starship.xyz/company/> (22.06.2022).
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Durchschnittspreise für Strom und Gas. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erdgas-Strom-Durchschnittspreise/_inhalt.html (24.08.2022).
- Stern (2019): Was verdient eigentlich ein DHL-Paketbote? URL: <https://www.stern.de/wirtschaft/job/dhl--was-verdient-eigentlich-ein-paketbote-von-dhl--7541772.html> (19.08.2022).
- Sternad, Dietmar/Schwarz-Musch, Alexander/Krenn, Melanie (2021): Geschäftsmodell-Design für den internationalen Markterfolg. 1. ed. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26. April 2012 (BGBl. I S. 679), die zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3091) geändert worden ist. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_20.html.
- Thiel, Marko et al. (2021): Requirements for robots in combined passenger/freight transport. In: Jahn, Carlos/Kersten, Wolfgang/Ringle, Christian M (Hrsg.): Adapting to the Future: Maritime and City Logistics in the Context of Digitalization and Sustainability. Berlin: epubli, S. 195-215.
- Thomasen, Kristen (2020): Robots, Regulation, and the Changing Nature of Public Space. In: Ottawa Law Review, 51. Jg. (2), S. 275-312.
- U.S. Department of Transportation (2022): Automated Vehicles for Safety. URL: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety> (22.08.2022).
- Vahrenkamp, Richard/Kotzab, Herbert (2017): Logistikwissen kompakt. 8., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: De Gruyter.
- Valdez, Miguel /Cook, Matthew/Potter, Stephen. (2021): Humans and robots coping with crisis – Starship, Covid-19 and urban robotics in an unpredictable world. 2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Melbourne, Australia: IEEE Press. URL: <https://doi.org/10.1109/SMC52423.2021.9658581>.
- Valero, Alberto/de la Puente, Paloma/Rodríguez-Losada, Diego (2010): Exploratory Analysis of Operator: Robot ratio in Search and Rescue Missions. In: IFAC Proceedings Volumes, 43. Jg. (23), S. 101-108. URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1474667015343317?token=C94B2021BD0C270C57E3EE7C4A5AA17D337C9F632BD4C7FCF47618F0CB2BEEE8CAD129BC3A1AC44CEF4D1713401F8E63&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220714131438>.
- Vepsäläinen, Jari (2022): Energy Demand Analysis and Powertrain Design of a High-Speed Delivery Robot Using Synthetic Driving Cycles. In: Energies, 15. Jg. (6).
- Volkswagen Nutzfahrzeuge (2022): Der Crafter Kastenwagen: Ausstattungslinien & Aktionsmodelle. URL:

-
- [service%22%3A%22%2F%3FcustomerGroup%3DKurier%252C%2BLogistik%2Bund%2BHandel%22%7D](#) (17.08.2022).
- Wang, Wei/Gope, Prosanta/Cheng, Yongqiang (2022): An AI-Driven Secure and Intelligent Robotic Delivery System. In: IEEE Transactions on Engineering Management, S. 1-16.
- Wirtz, Bernd W. (2020): Business Model Management: Design - Process - Instruments. 2. Auflage. Cham: Springer.
- Wittenbrink, Paul (2021): Nachhaltiges Transportmanagement. In: Deckert, Carsten (Hrsg.): CSR und Logistik: Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik. 2. überarbeitete Auflage, Berlin: Springer Gabler, S. 105-127.
- Wittowsky, Dirk et al. (2020): KEP-Verkehre und die Letzte Meile: Anmerkungen zum potentiellen Umgang mit dem Boom der Lieferverkehre im Quartier. In: Journal für Mobilität und Verkehr (5), S. 1-12.
- Zdrowomyslaw, Norbert (2001): Kosten-, Leistungs- und Erlösrechnung. 2., ergänzte Auflage: München.
- Zsifkovits, Helmut E. (2013): Logistik. Konstanz: UVK.

Anhang**Situations- und Schwächenbeschreibungen der vorgestellten Last-Mile Lösungskonzepte**

	Self Service	E-Van	Lastenrad	Delivery Bot
Steigendes Sendungsvolumen und Atomarisierung	Mögliche Überlastung der Self-Service Angebote bei zu großem Sendungsaufkommen	Keine Veränderung ggü. V-Van	Limitierte Ladekapazitäten beschränken Einsatzmöglichkeiten	Limitierte Ladekapazitäten beschränken Einsatzmöglichkeiten
Stadtbezogene Infrastruktur- und Verkehrsprobleme	Verkehrsverträglichkeit je nach Positionierung des Self-Service-Systems: Bei zu großer Dezentralität entsteht zusätzlicher Personenverkehr.	Keine Veränderung ggü. V-Van	/	Eventuelle Schwierigkeiten physische infrastrukturelle Hürden zu überwinden
Übergabebezogene Zustellprobleme	/	Keine Veränderung ggü. V-Van	Keine Veränderung ggü. V-Van	/
Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit	Umweltverträglichkeit je nach Positionierung des Self-Service-Systems: Bei	Hybridfahrzeuge nicht zwingend umweltfreundlich.	/	/

	zu großer Dezentralität entsteht zusätzlicher Personenverkehr.	Abhängig vom Modell des Fahrzeugs und dem Energieverbrauch		
Verfügbarkeit von Humanressourcen	/	Keine Veränderung ggü. V-Van	Physische Anstrengungen der Fahrer	/
Kosten von Humanressourcen	/	Keine Veränderung ggü. V-Van	Fahrer erhalten weiterhin Mindestlohn	Zwar reduzierte Kosten durch Wegfall der Fahrer, ggf. andere Personalkosten für technische Überwachung oder Instandhaltung

Getroffene Annahmen Szenario A

Allgemeine Annahmen			
Bezeichnung	Abkürzung	Annahme (Wert)	Einheit
Zuzustellende Pakte pro Tag	P_zz	3500	ME
Anzahl Bots je Mutterschiff-Van	B_Van	8	
Fahrdauer pro Zustellfahrt eines Bots	t_zustell	15	min
Refillzeit	t_ref	30	min
Servicezeitraum		Mo-Fr, 06:00-22:00	
Anzahl Schichten	Anz_Schichten	2	
Schichtdauer	Schichtdauer	8	h
Täglich mögliche Zielgebietsfahrten	Zf_Vand	11	
Anzahl Arbeitstage	Anz_Arbeitstage	251	
Energiepreis	P_EV	16,65	ct/kWh
Flottenbezogene Annahmen			
Drones per Operator Rate	DPO	40	
Energieverbrauch je ADB je Zustellung	EV_ADBjZu	38	Wh
Energieverbrauch je Van je Zielgebietsfahrt	EV_VanjZf	56	Wh
Depot- und Verwaltungsflächen-bezogene Annahmen			
Fläche Verwaltung	Fl_Verw	225	m ²
Energieverbrauch Verwaltungsfläche	Ev_Verw	55	kWh/(m ²)
Fläche Depot	Fl_Dep	3600	m ²
Energieverbrauch Depotfläche	Ev_Dep	36	kWh/(m ²)
Personalbezogene Annahmen			
Personalbedarf Lageristen	Pb_Lag	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Verwaltung	Pb_IkV	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Kundenservice	Pb_IkK	4	
Gehalt Operator	En_Op	43.300,00 €	€/Jahr
Gehalt Lagerist	En_Lag	27.500,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Verwaltung	En_IkV	37.800,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Kundenservice	En_IkK	37.800,00 €	€/Jahr
Stundenlohn Van-Fahrer	En_Vfh	14,50 €	€/h
Arbeitgeberanteil Rentenversicherung	SzA_RV	9,350%	Prozent
Arbeitgeberanteil Krankenversicherung	SzA_KV	7,300%	Prozent
Arbeitgeberanteil Pflegeversicherung	SzA_PV	1,175%	Prozent
Arbeitgeberanteil Arbeitslosenversicherung	SzA_AV	1,500%	Prozent
Dienstleistungskostenbezogene Annahmen			
Versicherungskosten	DK_Ver	15.000,00 €	€/Jahr
Instandhaltungskosten	DK_Ins	5.000,00 €	€/Jahr
Annahmen Investitionsplanung			
Kosten ADB-Modell	InvK_ADB	3.000,00 €	€/Modell
ADB-Betriebssoftware		50.000,00 €	
Kosten Van-Modell	InvK_Van	45.000,00 €	€/Modell
Kosten Fahrzeugmodifikationen	InvK_Vanmodifikation	8.000,00 €	€/Modell
Kosten Zubehör	InvK_Zubehör	2.000,00 €	€/Modell
Wartungsutensilien		2.500,00 €	
Ersatzteile		5.000,00 €	
Grundstücke		1.500.000,00 €	
Gebäude		400.000,00 €	
Bauliche Maßnahmen		30.000,00 €	
IT-Infrastruktur Logistik		15.000,00 €	
Sortier- und Kommissionieranlagen		30.000,00 €	
Regaleinrichtungen		20.000,00 €	
Depotverwaltungssoftware		50.000,00 €	
Prüfstand für kleinere Wartungen		5.000,00 €	
Sonstige Einrichtungen		10.000,00 €	
Operator-IT-Infrastruktur		30.000,00 €	
Verwaltungs-IT-Infrastruktur		20.000,00 €	
Büroeinrichtungen		25.000,00 €	
Software Nutzerplattform		150.000,00 €	
Preisbezogene Annahmen			
Aufschlagssatz je Stück	Aufschlagssatz_St	5%	Prozent
Kostenanteil letzte Meile	Kostenanteil letzte Meile	60%	Prozent

Getroffene Annahmen Szenario B

Allgemeine Annahmen			
Bezeichnung	Abkürzung	Annahme (Wert)	Einheit
Zuzustellende Pakte pro Tag	P_zz	3500	ME
Anzahl Bots je Mutterschiff-Van	B_Van	8	
Fahrdauer pro Zustellfahrt eines Bots	t_zustell	15	min
Refillzeit	t_ref	30	min
Servicezeitraum		Mo-Fr, 06:00-22:00	
Anzahl Schichten	Anz_Schichten	2	
Schichtdauer	Schichtdauer	8	h
Täglich mögliche Zielgebietsfahrten	Zf_Vand	11	
Anzahl Arbeitstage	Anz_Arbeitstage	251	
Energiepreis	P_EV	25	ct/kWh
Flottenbezogene Annahmen			
Drones per Operator Rate	DPO	40	
Energieverbrauch je ADB je Zustellung	EV_ADBjZu	38	Wh
Energieverbrauch je Van je Zielgebietsfahrt	EV_VanjZf	56	Wh
Depot- und Verwaltungsflächen-bezogene Annahmen			
Fläche Verwaltung	Fl_Verw	225	m ²
Energieverbrauch Verwaltungsfläche	Ev_Verw	55	kWh/(m ²)
Fläche Depot	Fl_Dep	3600	m ²
Energieverbrauch Depotfläche	Ev_Dep	36	kWh/(m ²)
Personalbezogene Annahmen			
Personalbedarf Lageristen	Pb_Lag	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Verwaltung	Pb_IkV	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Kundenservice	Pb_IkK	4	
Gehalt Operator	En_Op	43.300,00 €	€/Jahr
Gehalt Lagerist	En_Lag	27.500,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Verwaltung	En_IkV	37.800,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Kundenservice	En_IkK	37.800,00 €	€/Jahr
Stundenlohn Van-Fahrer	En_Vfh	14,50 €	€/h
Arbeitgeberanteil Rentenversicherung	SzA_RV	9,350%	Prozent
Arbeitgeberanteil Krankenversicherung	SzA_KV	7,300%	Prozent
Arbeitgeberanteil Pflegeversicherung	SzA_PV	1,175%	Prozent
Arbeitgeberanteil Arbeitslosenversicherung	SzA_AV	1,500%	Prozent
Dienstleistungskostenbezogene Annahmen			
Versicherungskosten	DK_Ver	15.000,00 €	€/Jahr
Instandhaltungskosten	DK_Ins	5.000,00 €	€/Jahr
Annahmen Investitionsplanung			
Kosten ADB-Modell	InvK_ADB	8.000,00 €	€/Modell
ADB-Betriebssoftware		50.000,00 €	
Kosten Van-Modell	InvK_Van	45.000,00 €	€/Modell
Kosten Fahrzeugmodifikationen	InvK_Vanmodifikation	8.000,00 €	€/Modell
Kosten Zubehör	InvK_Zubehör	2.000,00 €	€/Modell
Wartungsutensilien		2.500,00 €	
Ersatzteile		5.000,00 €	
Grundstücke		1.500.000,00 €	
Gebäude		400.000,00 €	
Bauliche Maßnahmen		30.000,00 €	
IT-Infrastruktur Logistik		15.000,00 €	
Sortier- und Kommissionieranlagen		30.000,00 €	
Regaleinrichtungen		20.000,00 €	
Depotverwaltungssoftware		50.000,00 €	
Prüfstand für kleinere Wartungen		5.000,00 €	
Sonstige Einrichtungen		10.000,00 €	
Operator-IT-Infrastruktur		30.000,00 €	
Verwaltungs-IT-Infrastruktur		20.000,00 €	
Büroeinrichtungen		25.000,00 €	
Software Nutzerplattform		150.000,00 €	
Preisbezogene Annahmen			
Aufschlagssatz je Stück	Aufschlagssatz_St	5%	Prozent
Kostenanteil letzte Meile	Kostenanteil letzte Meile	60%	Prozent

Getroffene Annahmen Szenario C

Allgemeine Annahmen			
Bezeichnung	Abkürzung	Annahme (Wert)	Einheit
Zuzustellende Pakte pro Tag	P_zz	3500	ME
Anzahl Bots je Mutterschiff-Van	B_Van	8	
Fahrdauer pro Zustellfahrt eines Bots	t_zustell	15	min
Refillzeit	t_ref	30	min
Servicezeitraum		Mo-Fr, 06:00-22:00	
Anzahl Schichten	Anz_Schichten	2	
Schichtdauer	Schichtdauer	8	h
Täglich mögliche Zielgebietsfahrten	Zf_Vand	11	
Anzahl Arbeitstage	Anz_Arbeitstage	251	
Energiepreis	P_EV	16,65	ct/kWh
Flottenbezogene Annahmen			
Drones per Operator Rate	DPO	5	
Energieverbrauch je ADB je Zustellung	EV_ADBjZu	38	Wh
Energieverbrauch je Van je Zielgebietsfahrt	EV_VanjZf	56	Wh
Depot- und Verwaltungsflächen-bezogene Annahmen			
Fläche Verwaltung	Fl_Verw	225	m ²
Energieverbrauch Verwaltungsfläche	Ev_Verw	55	kWh/(m ²)
Fläche Depot	Fl_Dep	3600	m ²
Energieverbrauch Depotfläche	Ev_Dep	36	kWh/(m ²)
Personalbezogene Annahmen			
Personalbedarf Lageristen	Pb_Lag	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Verwaltung	Pb_IkV	8	
Personalbedarf Industriekaufleute Kundenservice	Pb_IkK	4	
Gehalt Operator	En_Op	43.300,00 €	€/Jahr
Gehalt Lagerist	En_Lag	27.500,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Verwaltung	En_IkV	37.800,00 €	€/Jahr
Gehalt Industriekaufleute Kundenservice	En_IkK	37.800,00 €	€/Jahr
Stundenlohn Van-Fahrer	En_Vfh	14,50 €	€/h
Arbeitgeberanteil Rentenversicherung	SzA_RV	9,350%	Prozent
Arbeitgeberanteil Krankenversicherung	SzA_KV	7,300%	Prozent
Arbeitgeberanteil Pflegeversicherung	SzA_PV	1,175%	Prozent
Arbeitgeberanteil Arbeitslosenversicherung	SzA_AV	1,500%	Prozent
Dienstleistungskostenbezogene Annahmen			
Versicherungskosten	DK_Ver	15.000,00 €	€/Jahr
Instandhaltungskosten	DK_Ins	5.000,00 €	€/Jahr
Annahmen Investitionsplanung			
Kosten ADB-Modell	InvK_ADB	3.000,00 €	€/Modell
ADB-Betriebssoftware		50.000,00 €	
Kosten Van-Modell	InvK_Van	45.000,00 €	€/Modell
Kosten Fahrzeugmodifikationen	InvK_Vanmodifikation	8.000,00 €	€/Modell
Kosten Zubehör	InvK_Zubehör	2.000,00 €	€/Modell
Wartungsutensilien		2.500,00 €	
Ersatzteile		5.000,00 €	
Grundstücke		1.500.000,00 €	
Gebäude		400.000,00 €	
Bauliche Maßnahmen		30.000,00 €	
IT-Infrastruktur Logistik		15.000,00 €	
Sortier- und Kommissionieranlagen		30.000,00 €	
Regaleinrichtungen		20.000,00 €	
Depotverwaltungssoftware		50.000,00 €	
Prüfstand für kleinere Wartungen		5.000,00 €	
Sonstige Einrichtungen		10.000,00 €	
Operator-IT-Infrastruktur		30.000,00 €	
Verwaltungs-IT-Infrastruktur		20.000,00 €	
Büroeinrichtungen		25.000,00 €	
Software Nutzerplattform		150.000,00 €	
Preisbezogene Annahmen			
Aufschlagssatz je Stück	Aufschlagssatz_St	5%	Prozent
Kostenanteil letzte Meile	Kostenanteil letzte Meile	60%	Prozent