



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Jan Werum

Analyse innovativer, autonomer Zustellmethoden auf der letzten Meile

Jan Werum

Analyse innovativer, autonomer Zustellmethoden auf
der letzten Meile

Abschlussarbeit eingereicht im Rahmen des Masterstudiums

im Studiengang Next Media
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuer Prüfer : Prof. Dr. Kai von Luck
Zweitgutachter : Dr. Susanne Draheim

Abgegeben am 20.02.2024

Jan Frederick Werum

Titel der Masterarbeit

Analyse innovativer, autonomer Zustellmethoden auf der letzten Meile

Stichworte

Robotik, Letzte Meile, Logistik, autonomes Fahren, Künstliche Intelligenz, Digitalisierung, Stadtplanung, Wirtschaft, Startup, Zustellungsprozesse

Kurzzusammenfassung

Die letzten Meter zum Kunden sind mit Abstand die teuersten in der Logistik. Anbieter suchen nach kostengünstigen, umweltschonenden Methoden, um dem akuten Personalmangel und dem immer größeren Volumen von Bestellungen gerecht zu werden. Eine Methode ist der Einsatz sogenannter Lieferroboter, die autonom, ferngesteuert oder teilautonom die Kunden im urbanen Raum mit Waren beliefern sollen. Es gibt jedoch viele offene Fragen, da die meisten Projekte sich noch in der Pilotphase befinden. Dazu kommen rechtliche Fragen, Fragen bezüglich der sozialen Akzeptanz und die Wirtschaftlichkeit solcher Fahrzeuge ist ebenfalls noch wenig erforscht. Die vorliegende Arbeit soll die Auswirkungen, Chancen und Schwierigkeiten des Einsatzes von Lieferrobotern betrachten und einen kritischen Blick auf das Potential und die Chancen solcher Fahrzeuge legen.

Jan Frederick Werum

Title of the paper

Analysis of innovative, autonomous delivery methods on the last mile

Keywords

Robotics, last mile, logistics, autonomous driving, artificial intelligence, digitalization, urban planning, economy, startup, delivery processes

Abstract

The last few meters to the customer are by far the most expensive in logistics. Providers are looking for cost-effective, more environmentally friendly methods to cope with the acute shortage of personnel and the ever-increasing volume of orders. One method is the use of so-called delivery robots to deliver goods autonomously, remotely, or semi-autonomously to customers in urban areas. However, there are many unanswered questions, as many projects have not yet progressed beyond the pilot phase, and little research has been done on legal issues, social acceptance, and the economic viability of such vehicles. This paper will look at the implications, opportunities and stumbling blocks of the use of delivery robots and take a critical look at the potential and opportunities of such vehicle.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	6
1.1 Fragestellung und Zielsetzung.....	7
1.2 Methodik und Aufbau der Arbeit.....	8
2 Begriffsklärung und Abgrenzung.....	9
3 Rechtliche Voraussetzungen.....	11
3.1 Regeln des autonomen Fahrens.....	12
3.2 Besonderheit teleoperiertes Fahren.....	13
3.2.1 Beispiel Personenfahrzeuge.....	14
3.2.2 Beispiel Roboter.....	15
3.3 Nationale und lokale Unterschiede.....	15
3.4 Perspektive der Regularien.....	18
4 Zustellmethoden auf der Letzten Meile.....	20
4.1 Herkömmliche Zustellmethoden.....	21
4.2 Alternative Zustellmethoden.....	23
4.3 Roboter als Zustellmethode.....	24
5 Die Idee der Lieferroboter.....	26
5.1 Anbieter von Lieferrobotern.....	27
5.2 Geschäftsmodell der Anbieter.....	29
5.3 Ziele des Robotereinsatzes.....	30
5.4 Anwendungsbereiche.....	31
5.5 Chancen der Lieferroboter.....	32
5.6 Risiken des Roboter-Einsatzes.....	34
6 Wirtschaftliche Aspekte.....	35
6.1 Kostenfaktoren einer Lieferung.....	35
6.2 Entwicklungsstand und Erfahrung.....	37
6.3 Vor- und Nachteile gegenüber anderen Methoden.....	41
7 Gesellschaftskritische Betrachtung.....	42
7.1 Aufteilung des urbanen Raums.....	44
7.1.1 Regulierungskonzepte.....	46
7.1.2 Befürchtungen der Wissenschaft.....	47
7.1.3 Hoffnungen der Wissenschaft.....	48

7.1.4 Lösungsansätze.....	48
7.2 Automatisierung von Arbeit.....	49
7.3 Wahrnehmung und Akzeptanz von Robotern und autonomen Fahrzeugen.....	51
7.4 Aktuelle Gegebenheiten.....	54
8 Schlussbetrachtung.....	56
8.1 Handlungsempfehlungen.....	56
8.2 Persönliches Fazit.....	57
Literaturverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	XII

Vorwort

Auf geschlechtsneutrale Formulierungen wurde aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet. Im Text sind immer beiderlei Geschlechter gemeint, wenn auch nur eines der beiden genannt ist.

1 Einleitung

Die sogenannte "Letzte Meile", also die letzte Wegstrecke zum Kunden, stellt für Logistiker eine große Herausforderung dar. Sie ist sehr ressourcenintensiv. Bei ihr fallen fast 50 Prozent der gesamten Kosten einer Zustellung an. Zudem bedeutet dieser Prozess einen hohen Personalaufwand, der in Zeiten des Fachkräftemangels kaum zu bewältigen ist. Dazu kommen gestiegene Anforderungen von Kunden, die ihre Lieferungen immer schneller erwarten und sich gleichzeitig nach umweltverträglichen Lösungen streben. Der hohe Kostendruck und diese gestiegenen Ansprüche stellt die Logistikbranche, die sich traditionell nur sehr langsam wandelt, vor enorme Herausforderungen. Aus dieser komplizierten Marktsituation sind neue Produkte entstanden, die mit dem Versprechen einhergehen, umweltbewusster, kostengünstiger und flexibler zu sein. Dabei handelt es sich um kleine autonom fahrende Lieferroboter, die Pakete, Lebensmittel und andere Güter direkt an den Kunden liefern können. Diese Technologien befinden sich noch in unterschiedlichen Stadien der Entwicklung, Erprobung und Implementierung, je nach technischer Reife, regulatorischen Rahmen und Marktanforderungen.

Durch die weltweite Covid-19-Pandemie ist die Nachfrage nach solchen Fahrzeugen geradezu explodiert. Die Fahrzeuge ermöglichen es Kunden bequem all ihre Bestellungen nach Hause geliefert zu bekommen und das Ganze kontaktlos.¹

Doch wie nachhaltig ist dieser Trend? Handelt es sich dabei wirklich um eine echte Alternative klassischer, menschlicher Zustellung? Wo liegen die Vorteile? Was bedeutet das Ganze für den öffentlichen Raum und unsere Gesellschaft? Wie ist es um die Akzeptanz solcher Fahrzeuge bestellt? Bieten derartige Fahrzeuge einen wirtschaftlichen Vorteil für die Logistikunternehmen?

¹ vgl. Vorina et al., 2022

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, einen Überblick über die aktuellen und zukünftigen Trends und Innovationen im Bereich der autonomen Zustellmethoden auf der letzten Meile zu geben und deren Auswirkungen auf die Lieferkette, die Umwelt und die Gesellschaft zu analysieren. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die vorliegende Thesis so gegliedert, dass im ersten Teil auf die Fragestellung und die benutzte Methodik eingegangen wird. Im nächsten Teil werden die Lieferroboter genauer definiert, um sie von anderen autonomen Lösungen klarer abgrenzen zu können. Es folgt ein Abschnitt, der die rechtliche Situation solcher Fahrzeuge beleuchtet. Als nächstes werden herkömmliche und neuartige Konzepte für die Letzte Meile beschrieben, um Alternativen aufzuzeigen und das Marktumfeld besser einschätzen zu können. Daraufhin wird die Idee der Lieferroboter genauer betrachtet, um Chancen und Risiken aufzuzeigen und wirtschaftliche Aspekte zu beleuchten. Anschließend folgt eine gesellschaftskritische Betrachtung, die auf die Auswirkungen solcher Fahrzeuge für den öffentlichen Raum, unser Verständnis von Arbeit und die Einschätzungen der Forschung dazu eingeht. Abschließend folgt eine Schlussbetrachtung, die auf Handlungsempfehlungen im Umgang mit solchen autonomen Robotern darstellt und die prägnantesten Punkte der Arbeit im Fazit aufgreift.

1.1 Fragestellung und Zielsetzung

„Das große Interesse am autonomen Fahren gründet vor allem auf den Hoffnungen und positiven Effekten, die man sich vom Einsatz dieser Technologie verspricht.“²

Doch ist dieses Interesse begründet? Ist der Einsatz autonomer Lieferroboter wirklich kostensparender und umweltschonender als herkömmliche Methoden? Diesen Fragen soll die vorliegende Arbeit auf den Grund gehen. Dabei sollen auch weitere Faktoren beleuchtet werden. Wie hoch ist zum Beispiel die Akzeptanz der Bevölkerung für solche Vehikel? Wie verändert sich der öffentliche Raum durch den Einsatz vieler kleiner Zustellfahrzeuge?

Die übergeordnete Forschungsfrage, die bearbeitet werden soll, lautet folglich: Welche Auswirkungen hat der Einsatz autonomer Zustellroboter für die Logistikbranche? Außerdem sollen die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Gesellschaft, für den urbanen Raum beleuchtet und geklärt werden, wie sich dadurch unser Verständnis von Arbeit ändert.

Dazu werden der aktuelle Forschungsstand auf dem Gebiet der Logistik untersucht und relevante Erkenntnisse dokumentiert und diskutiert. Dabei wird stellenweise auch auf journalistische Texte und Marktforschungsstudien zurückgegriffen, denn „Startups in der Logistikdienstleisterbranche wurden bis dato kaum von der wissenschaftlichen Literatur betrachtet“.³ Hier herrscht eine große Wissens- bzw. Forschungslücke.

² Grunwald, & Brändle, 2019, S. 282

³ vgl. Göpfert, 2018, S. 255

Ziel dieser theoretischen Arbeit ist es, ein umfassendes Bild über den aktuellen Stand der Forschung zum Thema autonome Lieferroboter abzubilden, Chancen und Risiken der Technologie aufzuzeigen und auf Veränderungen hinzuweisen, die der Einsatz dieser Kategorie von Lieferfahrzeugen aus wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Perspektive bedeutet.

Im nachfolgenden Kapitel wird im Zuge einer besseren Transparenz und Nachvollziehbarkeit die Methodik und Vorgehensweise der Arbeit erläutert.

1.2 Methodik und Aufbau der Arbeit

Der Fokus dieser Arbeit soll auf der im vorherigen Kapitel beschriebenen Forschungsfrage und den daraus resultierenden Unterfragen liegen. Als das primäre Mittel für die Identifikation bedeutsamer Forschungsbeiträge wurde die Methode der Literaturanalyse gewählt und genutzt. Sie zählt im Bereich der empirischen Untersuchungen zu den qualitativen Methoden und ist daher sehr passend für das Vorhaben, denn es soll ein umfassendes Bild dargestellt werden. Diesem allgemein gültigen Verfahren für qualitative Forschung liegen laut Mayring folgende Spezifikationen vor: Die Literaturanalyse ermöglicht es Kommunikation und fixierte Kommunikation systematisch, theoriegeleitet und regelgerecht zu untersuchen und zu analysieren. Somit ist es möglich, bestimmte Erkenntnisse aus der untersuchten Kommunikation zu gewinnen. Es gibt dabei drei Grundformen, um das Interpretieren zu kategorisieren: die Zusammenfassung, die Explikation und die Strukturierung.⁴

Neben relevanten Forschungsbeiträgen wird auch auf aktuelle Entwicklungen eingegangen. Hierfür sind auch journalistische Produkte eingeflossen und dienen als Quelle. Der Grund hierfür ist, dass die Logistikbranche einem starken Wandel unterworfen ist und das Umfeld sehr dynamisch ist, so dass fundierte wissenschaftliche Forschung teilweise kaum Schritt halten kann. Diese Artikel wurden ebenfalls mithilfe der Literaturanalyse untersucht. Hierbei kam wie bei der Analyse der wissenschaftlichen Publikationen die qualitativ-orientierte strukturierende Inhaltsanalyse zum Einsatz, mit der Intention, gewisse Aspekte, nach vorher definierten Kriterien, aus dem recherchierten Material herauszufiltern und relevante Gesichtspunkte zu betrachten.⁵ Ziel dabei ist, dass durch die Regelhaftigkeit der Forschung die vorliegende Arbeit für andere nachvollziehbar ist.⁶ Mit Regelhaftigkeit ist die systematische Untersuchung der Literatur anhand relevanter Schlagworte und Suchbegriffe gemeint.

⁴ vgl. Mayring, 2015, S. 13

⁵ vgl. Mayring, 2015, S. 67

⁶ vgl. Mayring, 2000, S. 2

Hierfür wurden Kriterien aufgestellt, um eine qualitativ hochwertige und stringente Analyse durchführen zu können.

Die Kriterien für die Recherche der zugrundeliegenden Literatur lauten wie folgt:

- Erscheinungsdatum nicht vor dem Jahr 2015 (ausgenommen Grundlagenforschung)
- veröffentlicht in englischer oder deutscher Sprache
- Inhalte von Wissenschaftsinstitutionen, journalistischen Verlagen und renommierten Marktforschungsinstituten sind zugelassen
- Wissenschaftliche Artikel müssen über wissenschaftliche Datenbank, Fachdatenbank oder Google Scholar auffindbar sein
- Keine Analyse von offensichtlich nicht wissenschaftlichen oder werblichen Inhalten

Dabei wurden unter anderem folgende Begriffe zur Suche verwendet: *Last mile delivery, autonomous robots, delivery robots, Lieferrboter, Zustellroboter, Autonome Paketroboter, Akzeptanz von Robotern, Roboter im öffentlichen Raum, Automatisierung von Arbeit, Starship Technologies, Vay Technologies, Elmo Remote, Amazon Scout, Kiwi Bot, Sondergenehmigung, Loxo Alpha*

Für die Recherche wurden die von der Hochschule (HAW Hamburg) zur Verfügung gestellten Datenbanken IEEE Explore, ACM Library und die Angebote der Bibliothek genutzt. Darüber hinaus wurden aktuelle Artikel über die Google-News-Suche sowie über Google Scholar recherchiert. Zusätzlich wurden LinkedIn-Seiten von relevanten Branchenseiten auf relevante Beiträge und Forschungen untersucht.

An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass ich als Autor dieser Arbeit selbst für ein führendes Unternehmen (Starship Technologies) im Bereich der roboterbasierten Lieferung gearbeitet habe. Durch diese langjährige Tätigkeit verfüge ich über Insiderwissen. Dies erleichtert mir zwar die Recherche, aber ich werde keine Infos und Fakten in dieser Masterthesis verwenden, die nicht durch unabhängige Quellen zweifelsfrei belegbar sind.

2 Begriffsklärung und Abgrenzung

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Roboter, was auch daran liegt, dass Industrieroboter ihren Arbeitsradius zusehends vergrößern, somit ihren geschützten Bereich verlassen und mobiler werden. Das führt dazu, dass Menschen immer häufiger in Kontakt mit

Robotern kommen.⁷ Deswegen ist es wichtig, eine Einteilung der verschiedenen Roboter vorzunehmen, um zu verstehen, welche Art von Robotern in dieser Arbeit behandelt werden soll. „In privaten und (teil-)öffentlichen Bereichen trifft man auf ganz unterschiedliche Typen: a) Sicherheits- und Überwachungsroboter, b) Transport- und Lieferroboter, c) Informations- und Navigationsroboter, d) Unterhaltungs- und Spielzeugroboter, e) Pflege- und Therapieroboter und f) Haushalts- und Gartenroboter.“⁸ Die vorliegende Masterarbeit konzentriert sich auf Kategorie B der oben genannten Typen.



Abbildung 1: Verschiedene Fahrzeugtypen⁹

Allerdings muss man hier auch noch einmal zwischen zwei Vehikel-Typen unterscheiden, da das Spektrum von großen autonomen Gefährten für mehrere Sendungen bis zu Robotern für Einzelzustellungen reicht.¹⁰

„Zum einen sind dies größere autonome Fahrzeuge, die sich im regulären Straßenverkehr bewegen sollen und einer größeren Anzahl von Nutzern, analog zu mobilen Paketboxen, einen Zugriff auf ihre Sendungen ermöglichen. Den Gegenpol stellen kleinere Lieferfahrzeuge mit Stauraum für eine Sendung bzw. mehrere Sendungen für den gleichen Kunden dar. Diese Lieferfahrzeuge bewegen sich oftmals mit deutlich niedrigerer Geschwindigkeit auf Gehwegen.“¹¹

Hier soll es um die kleineren Modelle gehen, die sich auf Gehwegen bewegen. Diese Roboter unterscheiden sich von Entwickler zu Entwickler, jedoch sind sie vorwiegend kniehoch und

⁷ vgl. Bendel, 2021, S. 204

⁸ Bendel, 2021, S. 204

⁹Leerkamp et al., 2021, 112

¹⁰vgl. Kuchenbecker et al., 2021, 86

¹¹Glock et al., 2022, S: 32f

entsprechen vom Volumen her etwa einer Kühlbox.¹² Zudem wird es ausschließlich um Geräte gehen, die keine "Follow-Me" Funktion haben (links in Grafik dargestellt). Dies bedeutet, dass jene Roboter ohne menschliche Begleitung in der Nähe betrieben werden können.

Die beste Definition liefert Bendel in dem Buch "300 Keywords Soziale Robotik":

„Transportroboter befördern Gegenstände aller Art, wie Pakete, Einkäufe und Laborproben, von einem Akteur (oft der Anbieter oder Vermittler) zum anderen (oft der Kunde) oder begleiten und entlasten Fußgänger und Fahrradfahrer. Sie sind autonom oder teilautonom oder werden von Menschen oder weiteren Maschinen von Ort zu Ort navigiert. Sie haben ein Fassungsvermögen von 5 bis 20 Litern. Je nach Zusammenhang werden sie auch als Lieferroboter oder als Paketroboter bezeichnet. Man kann Transportroboter zu den Servicerobotern zählen. Allerdings ist es ebenso möglich, sie als Industrieroboter zu sehen, wenn sie in der Fabrik tätig sind, unterwegs mit Komponenten auf vorbestimmten Spuren. Manche Geräte bilden Aspekte von Lebewesen ab, etwa mit animierten Augen und Mündern oder mit Tönen, und haben daher eine Nähe zu sozialen Robotern.“¹³

Wobei hier einschränkend zu erwähnen ist, dass die unterstützten Roboter für Fußgänger und Fahrradfahrer bei dieser Arbeit nicht im Fokus stehen.

3 Rechtliche Voraussetzungen

Regularien spielen eine große Rolle dabei, ob autonome Lieferroboter großflächig zum Einsatz kommen werden oder nicht.¹⁴

Daher ist die Betrachtung der aktuellen rechtlichen Situation wichtig, um die Chancen und Perspektiven der Roboter einzuschätzen zu können. Dabei gilt es vor allem auf die lokalen und nationalen Unterschiede einzugehen. Ebenso bedarf es einer Betrachtung der Unterschiede zwischen manuellen, teilautonomen (bzw. teleoperiertem Fahren) und dem voll autonomen Fahren, da die rechtliche Situation je nach vorliegendem Typ stark variieren kann.

Die Geschwindigkeit der Roboter ist auf 6 km/h begrenzt, da höhere Geschwindigkeiten auf Gehwegen in Deutschland nicht zulässig sind.¹⁵

¹²vgl. Stahmann, 2017, S. 14

¹³ Bendel, 2021, S. 243f

¹⁴ vgl. Jennings & Figliozzi, 2019, S. 9

¹⁵ vgl. Zöllner et al., 2021, S. 605

„In den etwa drei Monaten, innerhalb derer die Vorbereitungen für das Modellprojekt liefen, wurde das gesamte Prüfverfahren, einschließlich Haftungsfreistellungserklärung, Abschluss einer Versicherung, rechtlichen Bewertungen, Gutachtenerstellung und Verfassen der Ausnahmegenehmigung, durchlaufen.“¹⁶

„Der Landesbetrieb Verkehr erteilte für den Zeitraum vom 09.09.2016 bis zum 31.03.2017 gemäß § 70 Abs. 1 Nr. 2 StVZO eine Ausnahmegenehmigung (Nr.: 3240/16). Diese erfolgte auf Grundlage des am 02.09.2016 ausgestellten Gutachtens der TÜV Hanse GmbH (Nr.:ODE0HAM08ZL000034).“¹⁷ Diese Genehmigung ist auch online zugänglich und bildete so eine Grundlage für andere Anbieter in Deutschland.¹⁸

Auf dieser Basis wurde der Betrieb genehmigt, ist aber bis heute nur mit Sondergenehmigungen möglich, da es noch kein Regelwerk für eine reguläre Zulassung gibt. Denn die Roboter fallen unter das sogenannte “teleoperierte Fahren”, das eine Gesetzeslücke darstellt, wie im nächsten Kapitel beschrieben wird. Seit 2019 ist der Betrieb in Hamburg ohne Begleitperson möglich.¹⁹

3.1 Regeln des autonomen Fahrens

Die rechtliche Situation rund um das autonome Fahren rückte spätestens 2016 durch einen Unfall eines teilautonomen Model S Fahrzeugs in die öffentliche Debatte und ließ Zweifel an der Sicherheit solcher Vehikel aufkommen.²⁰ Seit 2016 hat sich die Sensorik und Technologie deutlich verbessert.

88,4 % der Unfälle im Straßenverkehr waren im Jahr 2018 durch menschliches Fehlverhalten verursacht.²¹ Das könnte sich durch die Zunahme von autonomen Fahrzeugen ändern. Jedoch gibt es hier noch technische Hürden zu überwinden, denn bei dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz können Fehler bei der Videoverarbeitung auftreten. So kann es sein, dass ein Objekt in einem Frame einer Situation erkannt wird, aber kurz danach nicht mehr wahrgenommen wird, wenngleich kein Unterschied zwischen den beiden Frames zu erkennen ist. Durch solche fehlerhaften Erkennungssysteme kann es zu Unfällen kommen. So kam es z.B. in den USA zu einem tödlichen Unfall mit einem autonomen Fahrzeug. Grund hierfür war eine wechselnde beziehungsweise fehlerhafte Klassifikation des Objektes.²² Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die

¹⁶ Brandt et al., 2018, S. 4

¹⁷ Brandt et al., 2018, S. 6

¹⁸ vgl. Roethel, 2017

¹⁹ vgl. Vaillant, n.d.

²⁰ vgl. Grunwald, & Brändle, 2019, S. 283

²¹ vgl. Kummert et al., 2021, S. 114

²² vgl. Kurelusic et al., 2018, S. 463

Systeme oftmals Blackboxen sind. Dies macht es sogar den Entwicklern unmöglich, die Ursache der falschen Einschätzung nachzuvollziehen.²³

Jedoch dürften es nicht nur rechtliche und technische Fragen sein, die bei der Etablierung autonomer Fahrzeuge maßgeblich sein werden, sondern auch die Akzeptanz der Nutzer*innen (siehe Kapitel gesellschaftskritische Betrachtung). Die rechtliche Eingruppierung und Haftungsfrage bereitet Gesetzgebern Schwierigkeiten, da Maschinen keine Adressaten einer Strafe sein können.²⁴

Aus den oben genannten Gründen entschieden sich die Behörden in Hamburg dafür, dem ersten Lieferroboter-Anbieter auf deutschem Boden "Starship Technologies" eine Sondergenehmigung auszustellen, da autonome Roboter auf Gehwegen in Deutschland nicht zugelassen sind. So legten die Behörden fest, dass eine Begleitperson der Firma den Roboter begleiten muss, um gegebenenfalls einzutreten.²⁵ Zudem kann der sogenannte "Operator" in der Leitstelle jederzeit eingreifen und steht mit der Begleitperson im Austausch.²⁶

3.2 Besonderheit teleoperiertes Fahren

Die Sicherheit stellt einen ganz wesentlichen Aspekt bei der Einführung neuer Technologien dar. Studien gehen davon aus, dass autonome Fahrzeuge die Verkehrssicherheit um mehr als 90% steigern können und begründen dies mit dem Wegfall menschlicher Fehler.²⁷ Trotzdem setzen Hersteller von Lieferrobotern auf "teleoperiertes Fahren", was bedeutet, dass ein Operator (wie in 3.1 beschrieben) die Fahrzeuge aus der Ferne per Bildschirm überwacht, um in bestimmten Situationen einzutreten und das Fahrzeug aus der Ferne zu steuern.

Zwar geht man davon aus, dass vollautomatisierte Lösungen für die Logistik erhebliche Potentiale und Chancen bieten, doch gehen aktuelle Einschätzungen davon aus, dass vollautonome, fahrerlose Fahrzeuge noch nicht in Bälde zu erwarten sind. Stattdessen dominieren hoch automatisierte Assistenzsysteme, zu denen man auch die Methode des teleoperierten Fahrens zählen kann.²⁸

Die verschiedenen Anbieter der Zustellroboter wie z.B. Udelv, Amazon Scout oder Kiwibot setzen alle auf menschliche Hilfe, sowohl aus der Ferne, als auch aus der Nähe. Amazons Roboter werden durch Personal begleitet. Die Kiwibots werden per Fernzugriff über Kreuzungen gesteuert und Udelv setzt auch auf menschliche Überwachung. Daher ist es schwierig, einen generellen Grad der

²³ vgl. Kurelusic et al., 2018

²⁴ vgl. Simmler, 2019, S. 457

²⁵ vgl. Kuchenbecker et al., 2021, S. 86

²⁶ vgl. LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 425

²⁷ vgl. Othman, 2021, S. 356

²⁸ vgl. Zöllner et al., 2021, S. 604

Autonomie zu bestimmen, aber allgemein scheint teleoperiertes Fahren die Übereinkunft aller Projekte zu sein.²⁹

Allerdings ist die genaue Gesetzeslage auch bezüglich der menschlichen Unterstützung noch unklar. Es ist noch nicht definiert, welche gesetzlichen Bedingungen die Anbieter erfüllen müssen. Wäre das geklärt, könnte man den Personalaufwand besser kalkulieren, je nachdem ob die Überwachung mehrerer Fahrzeuge etc. erlaubt wäre.³⁰

Ein nicht zu unterschätzendes Phänomen im Straßenverkehr sind informelle Regeln, die häufig angewandt werden. Diese rege Kommunikation findet zwischen den Verkehrsteilnehmern statt und regelt das Verhalten auf Basis informeller Verhaltensweisen.³¹

Zudem sind die Regeln auf Gehwegen mitunter deutlich beliebiger als auf der Fahrbahn für Autos. So verändern Passanten sowohl die Laufrichtung als auch die Geschwindigkeiten flexibel. Es entstehen dynamische Regeln, die Abstände, Tempo und Richtungsänderungen bestimmen.³²

Diese Verhaltensweisen sind für vollautonome Fahrzeuge durch Software und Sensoren kaum abzubilden. Daher setzen die Anbieter auf menschliche Unterstützung.

Ein weiterer Grund hierfür dürfte auch sein, dass eine Umsetzung als nicht voll-autonomes System schneller realisierbar ist, denn „umso autonomer und komplexer das technische System, desto höher ist der Anspruch an die Vorsicht im Vorfeld der Implementierung.“³³

Abschließend lässt sich sagen, dass hier noch einige Unklarheiten vorherrschen und Behörden und Gesetzgeber gut daran täten, sich diesem Feld zu widmen, um Klarheit für die Betreiber zu schaffen. Damit der Einsatz teilautonomer Fahrzeuge auf Gehwegen möglich ist und der rechtliche Rahmen über die zur Zeit angewandten Sondergenehmigungen und Experimentierklauseln hinaus möglich ist und eine rechtlich fundierte Grundlage hat.³⁴

3.2.1 Beispiel Personenfahrzeuge

Der Bereich des teleoperierten Fahrens ist nicht auf kleine Zustellroboter, die sich ausschließlich auf Gehwegen bewegen, beschränkt. In Hamburg hat beispielsweise im Jahr 2023 der Anbieter Vay seine Fahrzeuge in Hamburg Bergedorf installiert.³⁵ Man bucht über eine App ein Elektroauto. Dieses wird zum gewünschten Abholort gefahren. Aber: Es sitzt kein Fahrer drin. Der Wagen, gespickt mit

²⁹ vgl. Glock et al., 2022, 548f

³⁰ vgl. Leerkamp et al., 2021, 115

³¹ vgl. Grunwald, & Brändle, 2019, S. 283

³² vgl. Leerkamp et al., 2021, 119

³³ Simmler, 2019, S. 467

³⁴ vgl. Brandt et al., 2018, 15

³⁵ vgl. Dahlmann, 2023

Kameras und Mikrofonen, wird aus einer Zentrale ferngesteuert. Dort sitzen Fahrerinnen und Fahrer mit Gaspedal, Bremse und Lenkrad vor drei großen Monitoren, die ihnen einen Rundumblick um das Fahrzeug ermöglichen, sodass sie es sicher zum Kunden steuern können. Dieser übernimmt den Wagen dann und fährt damit selbst zum Zielort. Dort angekommen, entfällt die lästige Parkplatzsuche, denn die Zentrale übernimmt wieder die Fernsteuerung und leitet das Auto zum nächsten Kunden.³⁶

Ein ähnliches Konzept setzt beispielsweise auch der estnische Anbieter "Elmo" um, der bereits in Estland eine Straßenzulassung erhalten hat.³⁷

Diese Beispiele sollen zeigen, dass teleoperiertes Fahren über verschiedene Anwendungsbereiche hinweg eingesetzt werden kann und daher Rechtssicherheit sinnvoll oder zwingend geboten ist.

3.2.2 Beispiel Roboter

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, handelt es sich bei den Robotern um keine vollautonome Lösung. Sie fahren zu etwa 90% selbstständig und greifen in komplexen Situationen z.B. bei Straßenkreuzungen auf menschliche Unterstützung zurück. Die Verbindung zur Einsatzzentrale wird durch Wlan und über Mobilfunknetze hergestellt.³⁸

Diese ständige Verbindung und der dadurch entstehende konstante Datenfluss zwischen Roboter und Zentrale wirft Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit auf.³⁹ Vor allem Fragen des Datenschutzes sind hier zu nennen, "da Zustellroboter mit bildgestützter Sensorik die Umgebung erfassen und dabei, um Objekte zu erkennen, auch „kritische“, personenbezogene Daten anderer Verkehrsteilnehmer erheben."⁴⁰

3.3 Nationale und lokale Unterschiede

Die Gesetzgebung für den Einsatz autonomer Fahrzeuge und insbesondere autonomer Fahrzeuge auf der Letzten Meile, die auf Gehwegen unterwegs sind, ist sowohl lokal als auch national sehr unterschiedlich.

Dabei wird die Last-Mile-Zustellung mit autonomen Vehikeln als eine der ersten Schritte im Bereich des automatisierten Fahrens gesehen. Der Grund: Lieferroboter sind mit äußerst geringen Geschwindigkeiten unterwegs. Ebenfalls ist die Umgebung, in der sie zum Einsatz kommen oftmals

³⁶ Dahlmann, 2023

³⁷ vgl. Elmo, 2023

³⁸ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 5

³⁹ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 6

⁴⁰ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 116

weniger komplex als andere Gebiete, in denen autonome Fahrzeuge denkbar sind.⁴¹ Zudem sind die Fahrzeuge zumindest in Deutschland auf die zulässige Maximalgeschwindigkeit von 6 km/h gedrosselt, da höhere Geschwindigkeiten hierzulande im Fußgängerbereich unzulässig sind⁴² Allerdings ist dieser Punkt in der aktuellen wissenschaftlichen Debatte umstritten, denn es gibt auch Forschende, die von einer "hohen Komplexität des Einsatzraumes" (Gehweg) sprechen und darin einen Grund für die langsame Gesetzgebung in diesem Bereich sehen.⁴³

In Deutschland werden die Lieferroboter als Kraftfahrzeuge kategorisiert. Daher ist für den Betrieb eine Genehmigung und ggf. eine Zulassung erforderlich. Bis dato basiert der Betrieb auf einer entsprechenden Ausnahmegenehmigung (§§ 21, 70 StVZO).⁴⁴ Das bedeutet, dass es zum jetzigen Zeitpunkt keine allgemeingültigen Regelungen in Deutschland für derartige Fahrzeuge gibt und Ausnahmegenehmigungen von Fall zu Fall bei den lokalen Behörden angefordert werden müssen, was im Umkehrschluss sowohl für Betreiber als auch Behörden einen erheblichen Aufwand bedeuten dürfte.

Anders sieht es beispielsweise in Estland aus, wo der weltweit erste Lieferroboter (Starship Technologies) entwickelt wurde, der mittlerweile in verschiedenen Ländern wie dem Vereinigten Königreich, den USA und Deutschland im Einsatz ist.⁴⁵ Estland hat bereits die eigenen Gesetze angepasst und Regeln für die gemeinsame Nutzung von Flächen für Menschen und Roboter verabschiedet.⁴⁶

Dabei bildet der baltische Staat eine Ausnahme. Die Gesetzgeber hierzulande stehen nicht nur vor der Herausforderung, die Fahrzeuge sinnvoll innerhalb der Straßenverkehrsordnung einzusortieren und Fragen rund um den Versicherungsstatus der Roboter zu klären, sondern auch Datenschutzthemen müssen dabei berücksichtigt werden, denn die Fahrzeuge sammeln Daten und sind mit verschiedenen Sensoren wie Mikrofonen und Kameras ausgestattet, die per mobilen Daten zu den Anbietern übertragen werden. Das könnte eine Verletzung der Datenschutzverordnung (GDPR) darstellen, aber scheint bisher für die Behörden in manchen Staaten keine Priorität zu haben.⁴⁷

Eine weitere Schwierigkeit bei der Implementierung der Vehikel ist die Tatsache, dass eine lückenlose Überprüfung von komplexer Software, wie sie bei den Fahrzeugen zum Einsatz kommt, vor der

⁴¹ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 110

⁴² vgl. Zöllner et al., 2021, S. 605

⁴³ vgl. Glock et al., 2022, S. 559

⁴⁴ vgl. Glock et al., 2022, S. 557

⁴⁵ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 1

⁴⁶ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 13

⁴⁷ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 12

Inbetriebnahme nicht machbar sein dürfte.⁴⁸ „Die Nutzung ist in diesem Sinne auch nur eine weitere Testphase, eine Art soziales Experiment, in dem die Nutzenden auch Testende sind“.⁴⁹

Diese Anzahl der genannten Herausforderungen sorgt dafür, dass Lieferroboter aktuell in den meisten Ländern nur mit Sondergenehmigungen zum Einsatz kommen und darüber auf lokaler Ebene entschieden wird. Diese Tatsache wird besonders deutlich, wenn man sich beispielsweise die aktuelle Legalisierung-Situation in den Vereinigten Staaten anschaut. Einige Bundesstaaten haben ihre Gesetze für die Roboter angepasst, aber gleichzeitig haben einige Städte und Gemeinden eigene Gesetze für den Einsatz der autonomen Lieferfahrzeuge verabschiedet. Das führt am Ende dazu, dass ein Flickenteppich unterschiedlicher Regeln entstanden ist, die sich teilweise widersprechen.⁵⁰

Das macht eine rasche Expansion für Anbieter schwieriger. Das führte dazu, dass der Anbieter „Roxo“ in New York nach einigen Tagen seinen Dienst einstellen musste. Nach Meinung der Behörden verstieß der Roboter gegen mehrere Vorschriften.⁵¹

Mittlerweile ist das Programm „Roxo“, das Teil von FedEx ist, eingestellt.⁵² Auch in anderen US-amerikanischen Städten ist die Situation für Anbieter kompliziert. „Ausgerechnet die Start-Up-Metropole San Francisco begrenzte als erste Stadt weltweit bereits 2017 den Einsatz von Lieferrobotern auf ausgewählte Bezirke. Grund für den Beschluss waren Befürchtungen, die autonomen Lieferfahrzeuge würden Fußgänger, insbesondere Ältere und Kinder, gefährden. Einer der Vertreter der Stadt sagte, „die Straßen seien für Menschen, nicht für Roboter.“⁵³ Das Thema „Nutzung der Stadt“ wird in dieser Arbeit im Kapitel „Aufteilung des Urbanen Raums“ näher eingegangen.

Die genannten Beispiele verdeutlichen, wie divers die Gesetze für die Roboter sind. Das lässt sich auch anhand folgender Grafik der USA erkennen.

⁴⁸ vgl. Grunwald, & Brändle, 2019, S. 294

⁴⁹ Grunwald, & Brändle, 2019, S. 294

⁵⁰ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 13

⁵¹ vgl. Kuchenbecker et al., 2021, S. 86

⁵² vgl. Bünte, 2022

⁵³ Kuchenbecker et al., 2021, S. 86

TABLE 1 Regulations on Sidewalk Autonomous Delivery Robots

State or City and Date when code was enacted		REQUIRED				Legislation
		Yield on sidewalk	Insurance policy	Braking system	Lights (at night)	
Arizona	3/28/2018	Yes, ped. only	No	No	No	Publication HB 2422. State of Arizona
Florida	7/1/2017	Yes	Yes	No	No	Publication SB 460. The Florida Senate
Idaho	7/1/2017	Not specified	No	No	No	Publication HB 204. Idaho State Affairs Committee
Ohio	9/29/2017	Yes, ped. only	Yes	Yes	Yes	Publication 4511.513. Ohio General Assembly
Utah	3/19/2018	Yes, ped. only	Yes	Yes	Yes	Publication HB 217. Utah General Session
Virginia	2/24/2017	Yes, ped. only	Yes	Yes	Yes	Publication 46.2-908.1. Virginia Code
Wisconsin	6/21/2017	Yes	No	Yes	Yes	Publication SB 148. Wisconsin Legislature
Austin, Texas	7/20/2017	Yes	Yes	No	No	City Council Resolution No. 20170810-012. Austin City Council
San Francisco	12/22/17 revised 3/29/18	Yes, ped. and cyclists	No, but must pay for damages caused by device	No	No	Publication 244-17. City and County of San Francisco, Board of Supervisors
Washington D.C.	9/15/2016	Yes	No	No	No	Publication Chapter 15C. § 50-1551 to 50-1555. Council of the District of Columbia

Abbildung 2: Unterschiedliche Regularien USA⁵⁴

3.4 Perspektive der Regularien

Seit dem 01.07.2022 gibt es in Deutschland einen Rechtsrahmen für autonome Kraftfahrzeuge.⁵⁵

Dieser Rahmen schließt jedoch keine autonomen Fahrzeuge ein, die sich auf Bürgersteigen bewegen

⁵⁴ Jennings & Figliozi, 2019, S. 15

⁵⁵ vgl. von Bodungen, 2022

und teleoperiert sind. Ausgerechnet diese Fahrzeuge bieten aufgrund ihrer kompakten Größe und ihrer langsamen Geschwindigkeit eine höhere Sicherheit, denn im Gegensatz zu schnellen, größeren Fahrzeugen, können sie selbst bei Maximalgeschwindigkeit fast augenblicklich zum Stoppen kommen. Aber nicht nur der Bremsweg ist deutlich geringer, auch müssen die Sensoren weniger hohe Anforderungen erfüllen, da durch das niedrige Gewicht eine geringere Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer besteht.⁵⁶

Trotz der genannten Faktoren gibt es, wie bereits mehrfach in vorhergegangenen Kapiteln erwähnt, noch keine rechtliche Grundlage für die Lieferroboter. So schreibt z.B. Simmler, "Es konnte festgestellt werden, dass Maschinen aktuell keine strafrechtliche Subjektqualität zukommt."⁵⁷ Er kristallisiert zwei Fragen heraus: "Werden Maschinen nun immer autonomer, stellen sich grundsätzlich zwei Fragen: Führt die zunehmende Autonomie von Maschinen dazu, dass diese eigens strafrechtlich handlungs- und schuldfähig werden?" Und: "Inwiefern berührt diese Autonomie die Verantwortlichkeit ihrer menschlichen Schöpferinnen und Interaktionspartner?"⁵⁸ "Wie lange sich diese traditionelle Annahme noch behaupten kann, ist allerdings fraglich, ist doch der Schuldvorwurf – wie die zunehmende Verbreitung der Unternehmensstrafbarkeit in vielen Rechtsordnungen (wenn auch nicht in Deutschland) zeigt – nicht ausschließlich Menschen vorbehalten."⁵⁹

Aktuell ist die Situation in Deutschland so, dass die Lieferroboter weiterhin nur mit Sondergenehmigung für einen definierten Zeitraum ((§§ 21, 70 StVZO) aktiv sein dürfen.⁶⁰

Perspektivisch sind Kommunen gefordert, sich in ein neues Rechtsgebiet einzuarbeiten. Hierbei sind auch Fragen relevant, die das Verhältnis zwischen Lizenzierungen und der uneingeschränkten Nutzung des öffentlichen Raums beleuchten.⁶¹ Darauf wird in dieser Thesis im Kapitel "Gesellschaftskritische Betrachtung" näher eingegangen.

Neben den mangelnden rechtlichen Voraussetzungen, die nicht über Sondergenehmigungen hinausgehen, bedarf es auch eines kulturellen Wandels in Deutschland. "Pilotprojekte werden, trotz hoher Akzeptanz, aufgrund von Finanzierungsvorbehalten oft nicht zur Alltagsreife gebracht. Eine lernfreundliche Versuchskultur wird in Deutschland in der Regel nicht durchgehalten."⁶²

Wille et al. erachten neben den rechtlichen Regularien auch noch andere Punkte als wichtig für einen flächendeckenden Einsatz der Lieferroboter. "Für eine erfolgreiche Integration von autonomen Kleinstfahrzeugen in den bestehenden Verkehrsraum ist neben der Nutzerakzeptanz und der politischen Unterstützung auch der Nachweis zur Aufrechterhaltung des sicheren und

⁵⁶ vgl. Glock et al., 2022, S. 549

⁵⁷ Simmler, 2019, S. 466

⁵⁸ Simmler, 2019, S. 456

⁵⁹ Simmler, 2019, S. 457

⁶⁰ vgl. Glock et al., 2022, S. 557

⁶¹ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 126

⁶² Serbser et al., 2023, 29

qualitätsoptimierten Verkehrsablaufs ein relevanter Punkt.”⁶³ Sie betrachten die Möglichkeit, Fahrzeuge aktiv in den Koordinierungsablauf von Kreuzungen zu integrieren, als erstrebenswert.⁶⁴ Das wäre zum Beispiel durch direkte Kommunikation der Roboter mit der Ampelanlagen möglich.

4 Zustellmethoden auf der Letzten Meile

Auf der sogenannten "Letzten Meile" gibt es eine Vielzahl verschiedener Fahrzeuge, die dort zum Einsatz kommen, wie die Grafik dieses Kapitels zeigt. Der folgende Abschnitt soll die einzelnen Fahrzeuge vorstellen, um einen Überblick der Methoden zu geben und die konkurrierenden Produkte der Lieferroboter zu skizzieren, um ein besseres Verständnis für die Marktsituation und die Chancen und Gefahren der jeweiligen Variante zu bekommen. Hierbei werden sowohl herkömmliche Fahrzeugkonzepte vorgestellt, also solche, denen man als Verbraucher normalerweise begegnet und die schon eine gewisse "Tradition" am Markt haben. Das anschließende Kapitel geht auf die alternativen Konzepte ein, die oft noch in der Erprobungsphase stecken, tendenziell jünger sind und eher ein Nischendasein haben. Dieser Überblick ist allerdings wichtig, um zu verstehen, wie viel und was sich auf dem Feld der Endkundenlogistik tut und soll zeigen, dass Lieferroboter nicht konkurrenzlos sind und mit einer Vielzahl innovativer und teilweise ebenfalls autonomer Methoden konkurrieren.

Alle Methoden egal ob "herkömmlich" oder "alternativ" bieten Vorteile, beinhalten aber auch Nachteile, die bei einer Umsetzung sowohl von Anbieterseite, als auch aus Verbraucher- und aus Behördensicht zu berücksichtigen sind, denn sie variieren teils stark bei Themen wie Flexibilität, Kapazität, Kosten, Personalaufwand, Mobilität, Antriebsart und damit verbundenen Emissionen. Einen Überblick bietet dazu die unten eingefügte Tabelle dieses Kapitels.

⁶³ Wille et al., 2019, S. 42

⁶⁴ vgl. Wille et al., 2019, S. 42

Tabelle 6 Aggregierte Bewertung der Zustellvarianten

	Antrieb	Emissionen	Kapazität	Personal	Vorteile	Nachteile
klassisches Nutzfahrzeug	Diesel	NOx, CO ₂ , PM ₁₀	1,3 - 3,5 t	1-2 Paket-zusteller	Reichweite, Lade-raum, Anschaf-fungskosten (rela-tiv)	Emissionen, Lärm, Unfallgefährdung
Transporthilfe (Sackkarre)	Muskel-kraft	keine	150 kg Trag-last, be-grenzte An-zahl Colli	1 Paketzu-steller	Flexibilität (Wendig-keit)	Eingeschränkte Reichweite, gerin-ges Ladevolumen, kein Wetterschutz
Elektro-Fahrzeug	Strom	keine; bzw. abhängig von Strom-quelle	1 - 3 t	1-2 Paket-zusteller	emissionsfrei (zu-mindest lokal), keine Lärmemissio-nen	Reichweite, Unfall-gefährdung (fehlende Motorgeräu-sche), Kosten
Lastenräder/ (e-)Cargo-Bike	Muskelkraft (ggf. Strom)	keine; abhängig von Strom-quelle	250 kg (inkl. Fahrer)	1 Paketzu-steller	Flexibilität, (lokale) Emissionsfreiheit, kein Lärm	eingeschränkte Reichweite, gerin-ges Ladevolumen, witterungsabhän-gig, ggf. Abstellung
Lieferroboter, Transport-drohne	Strom	keine; abhängig von Strom-quelle	2 kl. Pakete = 15 kg	(teil-) au-tonom	Autonomie, Flexibi-lität, (lokale) Emissi-onsfreiheit, kein Lärm	geringes Ladevolu-men, fehlender Kundenkontakt, rechtliche Situation, (Akzeptanz)
Binnenschiff	Diesel / Strom	Abhängig vom Antrieb	0,8 – 2,0 t	zu spezifi-zieren	Entlastung der Straße, Emissions-freiheit (E), kein Lärm	I. d. R. kein direkter Kundenzugang, Netzdichte, Wasser-stände und -zugang
Unterirdischer Transport	Strom / sonstige	Keine	0,5 – 2,0 t	zu spezifi-zieren	Entlastung der Straße	Hohe Investitionen, lange Realisierung, Eingriff in Straßen-körper
Stationäre Verwahrlösungen	keine	keine	Fächer für Pa-kete mit max. 60×35×35 cm	diverse Paketzu-steller	zeitunabhängige Abholung, Flexibilität, reduzierter Lieferverkehr	Flächenbedarf, An-bieterbindung

Abbildung 3: Unterschiedliche Lieferfahrzeuge für die Letzte Meile mit Wertung⁶⁵

4.1 Herkömmliche Zustellmethoden

In diesem Kapitel werden die bis dato am häufigsten genutzten Zustellmethoden auf der letzten Meile beschrieben, um in Kapitel 4.2 alternative, nicht so weit verbreitete, oder sich in der Entwicklung befindende Liefermöglichkeiten vorzustellen. Abschließend wird näher auf die Zustellmöglichkeit mit autonomen Robotern eingegangen, da dies schließlich der Fokus der vorliegenden Thesis ist. Zu den herkömmlichen Liefermethoden zählt der klassische Lieferverkehr mit dem Transporter. Aufgrund der hohen Verbreitung und der Tatsache, dass es in Deutschland bereits seit 2002 Packstationen für Privatkunden gibt, werden diese auch dieser Kategorie zugeordnet.⁶⁶

⁶⁵ Ninnemann et al., 2017, S. 96

⁶⁶ vgl. Olschimke, n.d.

72% aller Güter werden in Deutschland auf Straßen befördert. Das bedeutet, dass fast drei Viertel der Waren auf diesem Wege zugestellt werden.⁶⁷ Damit fällt ein Großteil der Logistik in Deutschland in den Bereich des Verkehrssektors. „Der Verkehrssektor ist der größte Energieverbraucher in Deutschland und nach der Energiewirtschaft der drittgrößte Sektor bei der Erzeugung von Treibhausgasemissionen.“⁶⁸ 2016 fuhren noch 90% aller Lieferfahrzeuge der Zusteller mit Diesel.⁶⁹ „Zur Unterstützung auf den letzten Metern vom Fahrzeug zum Empfänger dient im Regelfall eine mit Muskelkraft genutzte Sackkarre. Diese Kombination ist als konventionelle Zustellmethode einzustufen.“⁷⁰ Eine aktuelle, verlässliche Zahl der Dienstleister bezüglich ihrer heutzutage eingesetzten Antriebstechnologie ist nicht zu finden.

Neben der oben genannten Kombination gibt es noch die eingangs beschriebenen Packstationen. Hier gibt es mittlerweile unterschiedlichste Anbieter wie z.B. Pakadoo. „Kunden registrieren sich bei Pakadoo und lassen ihre online bestellte Ware an einen Pakadoo-Point am Arbeitsplatz liefern. Alle Lieferdienste haben Zugang zu diesen Pakadoo-Points und profitieren von den Vorteilen einer Bündelung der Anliefertransporte, 100- Prozentiger Erstzustellquote und Verbesserung ihrer Umweltbilanz.“⁷¹

Im Jahr 2019 gab es deutschlandweit 3500 Packstationen⁷² Ende des Jahres 2023 sollen es bereits 15 000 sein.⁷³ Diese Zahl bezieht sich jedoch nur auf DHL als größten Anbieter. Daher dürfte die tatsächliche Zahl der Packstationen deutlich höher liegen.

Das hat auch Umweltvorteile im Gegensatz zur Lieferung an die Haustür. „Werden alle Pakete einer Auslieferungstour in Packstationen abgelegt, können, im Vergleich zu einer Auslieferung ohne Fehlzustellungsquote, die CO2 Emissionen um 27 Prozent gesenkt werden.“⁷⁴ Muss ein Zusteller oder eine Zustellerin mehrere Versuche unternehmen, um Kunden zu erreichen, dann ergeben sich sogar höhere Einsparungen der CO2 Emissionen zugunsten der Packstationen.⁷⁵

Eine weitere bereits verbreitete Methode ist der Einsatz sogenannter Mikrodepots. „Mobile Mikrodepots eignen sich für dichtbesiedelte Gebiete. Das sind kleine, dezentrale Verteilplätze, die in den Stadtbezirken aufgestellt werden. Von den Mikrodepots aus werden die Waren zu Fuß oder mit Elektro-Lastenrad zugestellt.“⁷⁶ Diese Art der Paketdistribution wird in der untersuchten Literatur oft

⁶⁷ vgl. Göpfert, 2018, S. 271

⁶⁸ NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 4

⁶⁹ vgl. Ninnemann et al., 2017, S. 82

⁷⁰ Ninnemann et al., 2017, S. 82

⁷¹ Göpfert, 2018, S. 239

⁷² vgl. Eskuchen, 2019, S. 16

⁷³ vgl. Preuß, 2021

⁷⁴ Eskuchen, 2019, S. 17

⁷⁵ vgl. Eskuchen, 2019, S. 17

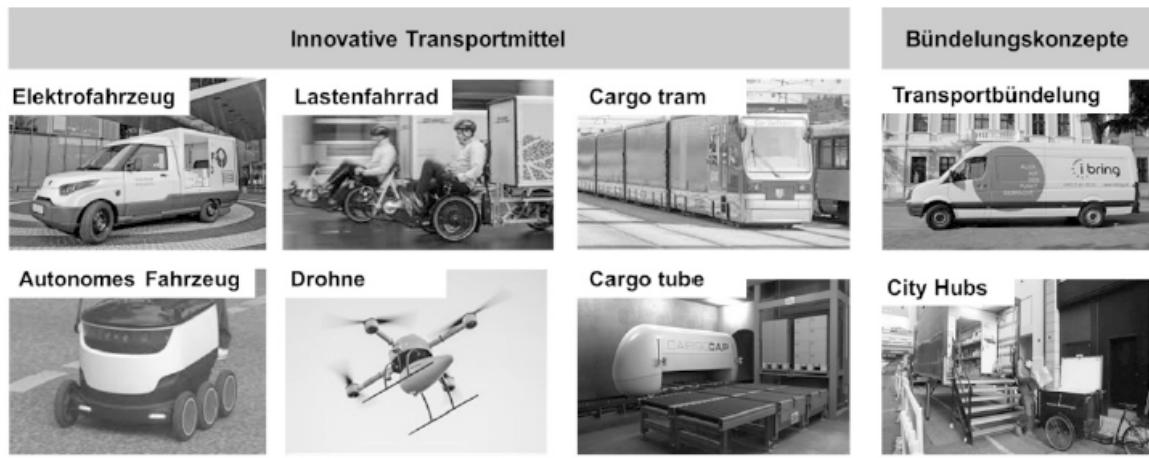
⁷⁶ Göpfert, 2018, S. 239

als vielversprechend erwähnt.⁷⁷ Solche Mikrodepots kommen in Großstädten wie z.B. Hamburg zum Einsatz und befinden sich mittlerweile im Regelbetrieb.⁷⁸ Mikrodepots befinden sich aufgrund ihrer noch geringen Verbreitung zwischen "herkömmlichen,- und alternativen Zustellmethoden".

All diese Methoden und auch die Methoden des folgenden Kapitels verfolgen unterschiedliche Wirkungshebel, haben aber oftmals das Ziel der Einsparungen von CO-Emissionen gemeinsam. Dieses wird z.B. mit Hilfe von Elektrifizierung und dem Einsatz von Lastenfahrrädern angestrebt. Des Weiteren wird versucht, dem Mangel an Personal mit Hilfe von Automatisierung zu begegnen.⁷⁹ Beispiele für hardwarebasierte Formen dieser Automatisierung sind in Kapitel 4.2 zu finden. Ramon Stahmann aus dem Bereich Logistikmanagement der Universität Bremen empfiehlt: "Die Auslieferungsstrategie der KEP-Dienstleister sollte bestenfalls von Beginn an mehrere verschiedenartige Transportmodi inkludieren, um für unterschiedliche Bedingungen den jeweils vielversprechendsten Transportmodus einzusetzen."⁸⁰

4.2 Alternative Zustellmethoden

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte dazu, wie zukünftig Pakete zu den Kunden gelangen könnten. Einige davon sind im Schaubild exemplarisch aufgeführt.



Quelle: DHL, BZ Berlin, CargoCap, i-bring

Abbildung 4: Alternative Zustellfahrzeuge als Übersicht⁸¹

⁷⁷ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 110

⁷⁸ vgl. Hochbahn, 2022

⁷⁹ vgl. Göpfert, 2018, S. 177

⁸⁰ vgl. Stahmann, 2017, S. 32

⁸¹ Göpfert, 2018, S. 177

Nicht nur die Art der Zustellungen ist im Wandel, auch drängen neue Unternehmen auf den Markt. So arbeitet beispielsweise der US-amerikanische Internetkonzern Alphabet in Kanada an einem unterirdischen Logistiksystem. Autonome Frachtroboter sollen so verschiedene Punkte des neuen Stadtteils in Toronto beliefern.⁸²

Allerdings bestehen beim Einsatz neuartiger, innovativer Methoden unterschiedliche Herausforderungen. Autonome Lieferroboter und auch Drohnen werden von der Öffentlichkeit skeptisch gesehen, wohingegen beispielsweise das Lastenrad eine höhere Akzeptanz bei Verbraucher:innen genießt.⁸³ Das ist ein Punkt, der eine rasche Implementierung verhindern könnte. (siehe auch Kapitel 7.4) Eine weitere Herausforderung für die Betreiber beim Einsatz alternativer Vehikel ist die Tatsache, dass jedes Konzept unterschiedliche Stärken und Schwächen hat. Neuere Methoden sind dabei weniger erforscht als herkömmliche Zustellmethoden. Aktuelle Forschungsarbeiten gehen davon aus, dass Lieferdrohnen, Roboter, Elektroroller und- räder sich dann lohnen, wenn die Lagerung dezentral stattfindet.⁸⁴ Dies könnte beispielsweise durch Microdepots erfolgen, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurden. Jedoch ist die Verbreitung solcher Depots noch nicht besonders hoch, und dies verhindert neben anderen Punkten den Einsatz. Ein Vorteil der Zustellung mit Drohnen und Lieferrobotern könnte in zeitkritischen, besonders eiligen Zustellungen liegen.⁸⁵ Für Auslieferungen aus Zentrallagern, so wie heutzutage häufig vorzufinden, eignen sich klassische Kleintransporter, die entweder kraftstoffbasiert oder elektrisch angetrieben werden.⁸⁶ Bei diesen Standardlieferungen liegt das Potential zu großen Teilen auf der Softwareseite, indem Routen durch intelligente Systeme optimiert werden und die Ladung der Fahrzeuge besser geplant wird.⁸⁷

4.3 Roboter als Zustellmethode

Lieferroboter sind dazu konzipiert, Ware von einem zu einem anderen Ort zu bringen.⁸⁸ „Fast alle Lieferroboter verfügen über HD-Kameras die das gesamte Roboterumfeld erfassen. Zudem sind sie mit inertialen Maßeinheiten (als einer räumlichen Kombination mehrerer Inertialsensoren wie Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren) GPS sowie Ultraschallsensoren für die Nahfeldabtastung ausgestattet.“⁸⁹ Die Roboter lassen sich nicht mit menschlichen Zusteller:innen

⁸² vgl. Göpfert, 2018, S. 240

⁸³ vgl. Glock et al., 2022, S. 559

⁸⁴ vgl. Stahmann, 2017, S. 31

⁸⁵ vgl. NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 47

⁸⁶ vgl. Stahmann, 2017, S. 31

⁸⁷ vgl. NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 47

⁸⁸ vgl. Vorina et al., 2022

⁸⁹ Handelsblatt Research Institute, 2021, S. 48

vergleichen, da sie vom Design bewusst nicht menschlich (wie z.B. Serviceroboter) aussehen.⁹⁰ Die meisten dieser Roboter sind aufgrund ihrer geringen Größe so gedacht, dass Kunden die transportierten Güter direkt aus dem Inneren des Roboters entnehmen. Das kann zum Beispiel für die Lieferung frischer Ware von Vorteil sein.⁹¹ Kund:innen erhalten hierzu eine Benachrichtigung auf dem Smartphone, mit der sie den Roboter entriegeln können.⁹² Neben dem Einsatz für frische Ware bieten die Roboter noch einige andere konzeptionelle Vorteile. So sieht ein VDI/VDE-Bericht, der durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur finanziert wurde, die Möglichkeit "enormer Kosteneinsparungen" durch ihren Einsatz, da kein Fahrer mehr von Nöten ist. Weiter führt der Bericht aus, dass sämtliche Arbeitszeitbeschränkungen für die Roboter entfallen und so Zustellungen an jedem Tag und zu jeder Tag- und Nachtzeit möglich sind. Die Unabhängigkeit von diesen Regeln wird in dem Bericht als Vorteil für Nutzer:innen der Roboter angesehen.⁹³ Aus den Rahmenbedingungen der Lieferroboter ergeben sich einige Faktoren, die bedacht werden müssen hinsichtlich Infrastruktur, der technischen Voraussetzungen, des Lagerplatzes, der Kostenfaktoren, der Sicherheitsanforderungen, der Regularien. Ebenso sind Anforderungen der sozialen Akzeptanz zu berücksichtigen. Für einen ersten Überblick dieser Anforderungen eignet sich die Grafik von Wimmer & Grotemeier sehr gut, da sie zeigt, wo Vor- und Nachteile liegen. Sie ist jedoch nur als grober Überblick zu verstehen. Die folgenden Kapitel werden genauer auf die einzelnen Punkte eingehen und sie analysieren.

⁹⁰ vgl. Abrams et al., 2021, S. 277

⁹¹ vgl. Glock et al., 2022, S. 548

⁹² vgl. Handelsblatt Research Institute, 2021, S. 48

⁹³ vgl. VDI/VDE Innovation & Technik GmbH, Berlin, 2021, S. 223

Anforderung	Beschreibung
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Bedingt durch die Unterordnung der Lieferroboter unter bestehende Verkehre können volle Gehwege den Lieferprozess drastisch verzögern - Fehlende Infrastruktur im ländlichen Raum schränkt den Einsatzbereich stark ein - Zieleinsatzgebiete: Städte mit einer Einwohnerdichte von ca. 1.000 Einwohnern/km²
Technik und Lagerplatz	<ul style="list-style-type: none"> - Das vorrangige Ziel des Zustellkonzepts per Lieferroboter ist die Verkürzung der letzten Meile, welches die unmittelbare Kunden Nähe als Grundvoraussetzung innehat - Jeder Lieferroboter bedarf einer Basisstation für die Be- und Entladung von Sendungen sowie eine Station zum Laden beziehungsweise Tauschen des Akkus - Die vorgestellten Systeme können keine Treppen steigen, sodass nur eine Zustellung bis zur Türschwelle erfolgen kann
Soziale Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> - Eine hohe Akzeptanz der Empfänger soll durch das „niedliche“ Äußere der Roboter erzielt werden - Der Einsatz von neuartigen Robotertechnologien kann als negativer Einfluss auf den Arbeitsmarkt interpretiert werden
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferung erfolgt erst, wenn der Kunde die Lieferung abruft -> Steigerung der Zustellquote auf nahezu 100 % - Abhängig von der Größe der Roboter ist eine Routenzustellung möglich - Mobile Hubs lösen den Bedarf nach regionalen Lagerflächen auf
Regulatorische Hürden	<ul style="list-style-type: none"> - Jede Kommune entscheidet aktuell in Eigenverantwortung über den Einsatz - Interessierte Dienstleister müssen für jeden Ort die rechtlichen Rahmenbedingungen neu aushandeln
Sicherheit und Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Einfluss Dritter (siehe Infrastruktur) oder naturbedingte Einflüsse (u. a. Vogelschlag, Wetterverhältnisse) - Angriff auf das System durch Dritte mit dem Ziel des Diebstahls der Ladung oder des Systems sowie die Zerstörung des Systems

Abbildung 5: Anforderungen und Eigenschaften von Lieferrobotern⁹⁴

5 Die Idee der Lieferroboter

Die Idee der Lieferroboter, so wie sie heute von vielen Unternehmen in ähnlichen Ausprägungen gebaut werden, geht auf einen Wettbewerb der Weltraumorganisation NASA zurück. Der Co-Gründer

⁹⁴ Wimmer & Grotemeier, 2018, S. 31

von Starship Technologies Ahti Heinla hatte sein Fahrzeug bei dem Contest eingereicht, doch er gewann nicht. Aber es entstand die Idee, autonome Fahrzeuge für Lieferungen auf der Letzten Meile einzusetzen.⁹⁵ 2014 wurde mit Starship Technologies die erste Firma weltweit für autonome Lieferroboter in Estland gegründet.⁹⁶ Mittlerweile gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Unternehmen, die Lieferroboter bauen und betreiben.

Aus der Designperspektive ähneln sich die Modelle der Anbieter. So ist beispielsweise der Roboter von Amazon namens "Scout" dem Modell von Starship beim Thema Design und Funktionalität sehr ähnlich, wie slowenische Forscher in ihrem Bericht "Autonomous delivery robots and their contribution during the pandemic" bemerken.⁹⁷

Wie die verschiedenen Anbieter im Einzelnen die Roboter steuern und wie hoch der Anteil des autonomen Fahrens ist, darüber sind kaum Infos zu finden. Über Marktführer Starship ist bekannt, dass sie in der Anfangsphase jeden Roboter einzeln von einem "Operator" überwachen ließen. Zudem lief neben jedem Roboter ein sogenannter "Handler" mit, der als zusätzlicher Sicherheitsfaktor eingesetzt wurde. Er/Sie stand in Kontakt mit der Zentrale in Tallinn und konnte bei Bedarf umgehend eingreifen.⁹⁸ Immer noch setzen Anbieter auf menschliche Unterstützung beim Überwinden herausfordernder Verkehrssituationen. (z.B. Kreuzungen)⁹⁹ Aus diesem Grund, spricht man - wie in Kapitel 3.2 beschrieben - "Teleoperiertem Fahren".

Die Lieferroboter verbessern sich jedes Jahr,¹⁰⁰ was auch ein höheres Level an Autonomie bedeutet. Um das Jahr 2019 begann der großflächige Einsatz von Lieferrobotern.¹⁰¹ Ein entscheidender Vorteil bezüglich der Lieferroboter ist, dass sie außerhalb der offiziellen Öffnungszeiten im Einsatz sind, um so Kunden einen echten Servicevorteil zu verschaffen. Das bedeutet, dass sie auch bei Dunkelheit zuverlässig müssen. Außerdem kann in manchen Regionen Schneetauglichkeit der Fahrzeuge ein wichtiger Faktor sein.¹⁰²

5.1 Anbieter von Lieferrobotern

Es gibt mittlerweile eine Vielzahl von kommerziellen Anbietern im Bereich autonomer Roboter für die letzte Meile. Sie alle aufzuzählen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Deswegen wird dieses Kapitel auf einige Anbieter eingehen, auf die besonderes Augenmerk gelegt werden sollte, da sie z.B. großen Konzernen wie Amazon (Scout) angehören, Marktführer sind, Starship Technologies

⁹⁵ vgl. Fusiek, 2022

⁹⁶ vgl. Vorina et al., 2022

⁹⁷ vgl. Vorina et al., 2022

⁹⁸ vgl. Brandt et al., 2018, S. 3

⁹⁹ vgl. Wille et al., 2019, S. 42

¹⁰⁰ vgl. Vorina et al., 2022

¹⁰¹ vgl. Vorina et al., 2022

¹⁰² vgl. Sutter et al., 2018, S. 70

oder besondere Innovationen aufweisen. Allgemein lässt sich aber sagen, dass die Roboter allesamt ähnlich konzipiert sind und sich lediglich durch Einsatzort, Geschäftsmodell und kleinere technische Komponenten unterscheiden.

Als erster Anbieter war Starship Technologies am Markt. 2016 starteten erste kommerzielle Pilotversuche. Im August 2016 wurden die Roboter des Anbieters in Kooperation mit Hermes getestet¹⁰³ und zeitgleich in der Schweiz mit der Schweizerischen Post als Partner.¹⁰⁴

Neben Starship drangen nach und nach weitere Anbieter auf den Markt. 2019 startete der amerikanische Konzern Amazon sein Roboter-Projekt im Snohomish County Area in den USA.¹⁰⁵ Der Roboter von Amazon ist doppelt so schwer wie das Konkurrenzmodell von Starship Technologies, viermal so schnell und kann fast ein Drittel mehr Gewicht transportieren.¹⁰⁶

Ein weiterer Anbieter ist Roxo, der für den gleichnamigen amerikanischen Dienst im Einsatz ist und zwei Einkaufstüten von A nach B liefern kann.¹⁰⁷

Eine Schwierigkeit beim wissenschaftlichen Vergleich der Anbieter stellt die Tatsache dar, dass sich die Branche sehr schnell wandelt - ständig drängen neue Player auf den Markt und andere verschwinden.

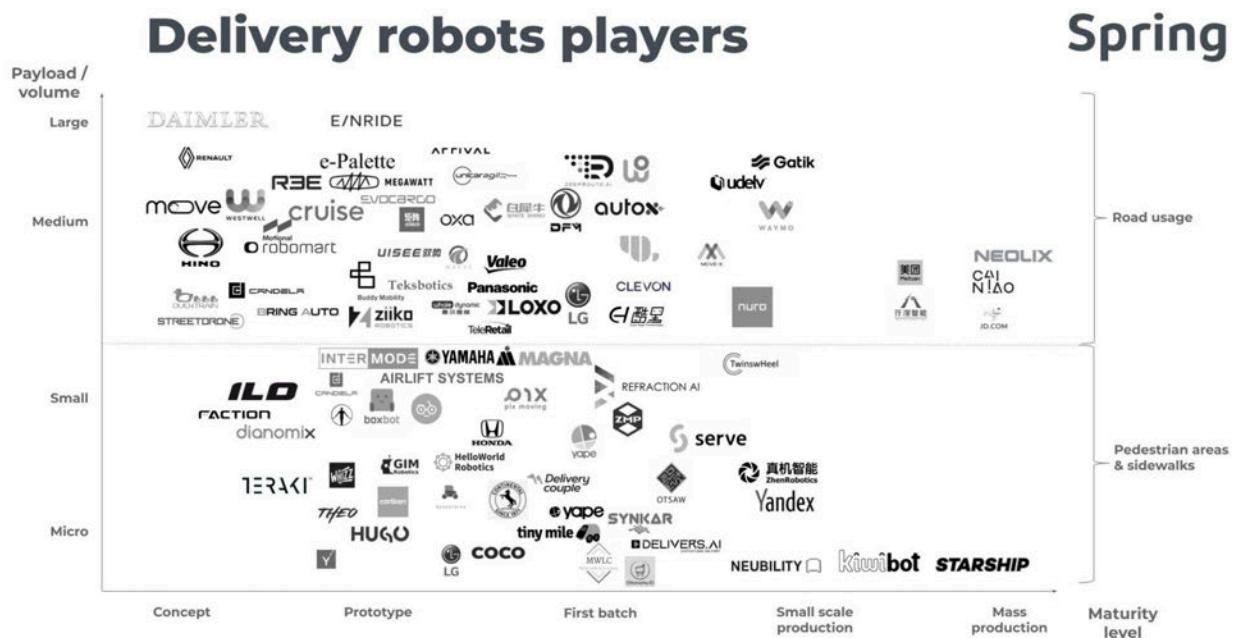


Abbildung 6: Anbieter von autonomen Lieferrobotern mit Status¹⁰⁸

¹⁰³ vgl. Schallmo, 2018, S. 12

¹⁰⁴ vgl. Bendel, 2017, S. 34

¹⁰⁵ vgl. Vorina et al., 2022

¹⁰⁶ vgl. Vorina et al., 2022

¹⁰⁷ vgl. Kuchenbecker et al., 2021, S. 86

¹⁰⁸ Declercq, 2023

5.2 Geschäftsmodell der Anbieter

“Für kleine Lieferroboter existiert bislang kein funktionierendes Geschäftsmodell und es fehlen entsprechende Regularien”, schreiben Kuchenbecker et al.¹⁰⁹ Ob dem wirklich so ist, lässt sich nur schwer sagen, da keiner der Anbieter börsennotiert ist und sich Zahlen und Resultate daher nur schwer überprüfen lassen. Zumal sich die Anbieter generell sehr bedeckt halten, da sie in direkter Konkurrenz um vielversprechende Projekte und Investorenengeld stehen.

Das Geschäftsmodell vieler Anbieter funktioniert so, dass die Lieferroboter nicht verkauft werden, sondern pro Einsatz bezahlt werden. Das bedeutet, dass die Kunden pro Lieferung einen variablen Betrag bezahlen. Dieser setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen, wie z.B. Distanz, Nachfrage, Wert des Warenkorbs.

Diese Art von Preisgestaltung ist aber längst kein reines Start-Up-Geschäftsmodell mehr. Auch etablierte, traditionsreiche Hersteller, die schon lange am Markt sind, setzen vermehrt auf das sogenannte “Ergebnisbasierte Preismodell”. Ein gutes Beispiel dafür ist der Fahrstuhlhersteller “Schindler”, der seine Aufzüge nicht mehr zum Zeitpunkt der Installation verkauft. Stattdessen werden Gebühren für zurückgelegte Strecken und befördertes Gewicht erhoben. Dieses monatlich fällige Preismodell hat zum Ziel, dass die Rechnungssummen im Idealfall die Herstellungskosten und Wartungsarbeiten übertreffen und somit nach mehreren Jahren refinanziert sind.¹¹⁰ Dieses Geschäftsmodell ist vergleichbar mit dem der Lieferroboteranbieter. Es bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass die Unternehmen große Anteile der Entwicklung und anfallenden Herstellungskosten vorab finanzieren müssen, was wiederum erhebliche Summen erfordert und somit die Liquidität strapazieren kann.¹¹¹

Insbesondere die Entwicklung und die Forschungsarbeit, die nötig sind, um autonome Vehikel zu bauen, ist sehr kostenintensiv. Neben der Technologie für die Fahrzeuge und ihre Sensorik, ihrem Interaktionsverhalten mit anderen Verkehrsteilnehmern etc. muss unter Umständen auch die Infrastruktur (z.B. Ladepunkte, Parkflächen usw.) angepasst werden, was wiederum nicht unerhebliche Ausgaben mit sich bringt. Dadurch entsteht ein unternehmerisches Risiko, denn noch ist nicht klar, ob sich autonomes Fahren im großen Stil etablieren wird. So hat beispielsweise einer der größten Unternehmen der Welt “Amazon” ein eigenes Programm für die Entwicklung autonomer Lieferroboter im Jahr 2022 wieder eingestellt.¹¹²

Es gibt aber auch Vorteile, die die Anbieter der Liederroboter und ihr Geschäftsgebiet haben. So schreibt Göpert, “Diese sogenannten „Startups“ schließen oftmals Angebotslücken und

¹⁰⁹ Kuchenbecker et al., 2021, S. 98

¹¹⁰ vgl. Schallmo, 2018, S. 52

¹¹¹ vgl. Schallmo, 2018, S. 52

¹¹² vgl. Beuting, 2022

konzentrieren sich auf Nischen, die von etablierten Unternehmen nicht bedient werden. Sie reagieren damit auf neue Herausforderungen und Entwicklungen in der Branche, wie z. B. den anhaltenden Anstieg des E-Commerce und die Digitalisierung sowie Anlieferungsprobleme auf der letzten Meile.”¹¹³ Ein weiterer Pluspunkt für die Produzenten der Roboter ist, dass ihre Kunden durch die Nutzung des Services zum Tester, Projektentwickler, Investor und ggf. zum Koproduzenten werden. Diese neue Rolle, die auf dem veränderten Kommunikationsverhalten durch die Digitalisierung basiert, bietet somit eine Chance, bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass Kunden informierter und flexibler sind und eine größere Macht innehaben.¹¹⁴ Kuchenbecker et al. stellen fest: “Für kleine Lieferroboter existiert bislang kein funktionierendes Geschäftsmodell und es fehlen entsprechende Regularien”.¹¹⁵ Jedoch stammt dieses Zitat aus einer Veröffentlichung im Jahr 2021 und das Geschäftsmodell der Anbieter wandelt sich schnell und beständig. Mittlerweile sind viele Anbieter dazu übergegangen, sich vermehrt auf US-College-Gelände auszubreiten.¹¹⁶¹¹⁷ Dies dürfte den Vorteil haben, dass die Infrastruktur einfacher ist und die Kunden digitalaffin. Ob dieses Modell jedoch monetär lukrativ ist, lässt sich aufgrund der bereits angesprochenen Intransparenz nicht abschließend beurteilen.

5.3 Ziele des Robotereinsatzes

Aus Unternehmenssicht ist die Letzte Meile ein großer Markt, zwar gilt sie als komplex, aber auf dieser Wegstrecke fallen rund 50% der Gesamtkosten bei Lieferungen.¹¹⁸ Das hat zur Folge, dass Unternehmen hier ein großes Potential für Kosteneinsparungen sehen. Zudem wächst dieser Markt stetig und in großen Sprüngen. Leerkamp et al. schreiben: “Der B2C-Versand nimmt nach verschiedenen Prognosen in den nächsten ca. 10 Jahren weiter mit relativ hohen Steigerungsraten (5 bis 10 % pro Jahr) zu.”¹¹⁹

Zudem geht Marktführer Starship Technologies davon aus, dass 95% aller Online-Bestellungen potentiell mit dem kleinen Roboter transportiert werden können. Das bedeutet, dass fast der gesamte B2C-Markt auf der letzten Strecke - zumindest vom Lieferumfang - potentiell mit den Robotern zugestellt werden könnte.¹²⁰

¹¹³ Göpfert, 2018, S. 255

¹¹⁴ vgl. Schallmo, 2018, S. 31

¹¹⁵ Kuchenbecker et al., 2021, S. 98

¹¹⁶ vgl. Allinson, 2023

¹¹⁷ vgl. Mann, 2023

¹¹⁸ vgl. Dormehl, 2019

¹¹⁹ Leerkamp et al., 2021, S. 122

¹²⁰ vgl. Dormehl, 2019

Ein weiteres Ziel der Anbieter ist es, die Schadstoff- und Lärmemissionen, die mit konventionellen Lieferfahrzeugen anfallen, zu reduzieren.¹²¹ Inwiefern dies aber ein ernst gemeintes Ziel oder bloß Teil der Marketingstrategie ist, lässt sich nicht unabhängig überprüfen.

5.4 Anwendungsbereiche

“Den bestehenden Konzepten autonomer Liefer- und Zustellroboter ist gemein, dass sie sich vorrangig für den Transport von Gütern zu Endkunden im B2C-Bereich eignen.”¹²² Das stellt eine große Neuerung dar, denn bis vor einigen Jahren waren zwar schon automatisierte Systeme in der Logistik im Einsatz, jedoch abseits des öffentlichen Raumes. Leerkamp et al. schreiben:

“Automatisierte Fahrzeuge im Bereich der Logistik zu verwenden, ist keineswegs neu, sondern erfolgt bereits schon seit Längerem vor allem in der innerbetrieblichen Logistik.”¹²³

Lediglich von Anbieter Starship Technologies ist bekannt, dass sie auch noch in der alten Domäne der internen Logistik unterwegs sind. Auf der Website des Anbieters werden u.a. Bayer und Merck als Kunden aufgeführt.¹²⁴ Dies könnte mit den fehlenden Regularien in Deutschland zusammenhängen, denn große Industriegelände sind oftmals Privatgelände und daher ist die Straßenverkehrsordnung nicht zu beachten. Dieser Anwendungsbereich könnte ebenfalls Chancen haben. Eine von Sicherheitsanbieter Kaspersky durchgeführte Studie aus dem Jahr 2002 ergab, dass 52% der befragten Personen glauben, dass Roboter die Effizienz der Produktionsprozesse verbessern und die Wirtschaftlichkeit der Unternehmen steigern können.¹²⁵ Zudem gaben 36% der Befragten an, dass sie im Einsatz von Robotern in der Produktion eine Chance sehen, in höher bezahlte Positionen aufzusteigen.¹²⁶ Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da nach Robotern allgemein gefragt wurde und nicht spezifisch nach den in dieser Arbeit beschriebenen Lieferrobotern.

Ein weiterer möglicher Anwendungsbereich im öffentlichen Raum wäre der Einsatz als Lieferfahrzeug für Güter zwischen Unternehmen und nicht an Endkunden. Denn im Gegensatz zu B2C-Lieferungen, werden dort pro Stopp 3-5 Pakete zugestellt, wohingegen Privatkunden im Schnitt nur 1,1 Pakete pro Lieferstopp entgegen nehmen. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit bei Unternehmen, jemanden anzutreffen, höher.¹²⁷ In diesem Bereich ist allerdings noch keiner der Lieferrobteranbieter aktiv. Abschließend lässt sich sagen, dass es auch in der untersuchten wissenschaftlichen Literatur durchaus kritische Stimmen gibt, was einen Einsatz der Roboter im öffentlichen Raum (B2C-Geschäft)

¹²¹ vgl. LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 143

¹²² Heinbach et al., 2022, S. 200

¹²³ Leerkamp et al., 2021, S. 110

¹²⁴ vgl. Starship Technologies GmbH, n.d.

¹²⁵ vgl. Kaspersky, 2022, S: 6

¹²⁶ vgl. Kaspersky, 2022, S .18

¹²⁷ Eskuchen, 2019, S. 15

betrifft. Bendel, sieht in dem Anwendungsfeld einige Probleme und schreibt, "der Paketroboter würde auf Gehsteigen unweigerlich zur Stolperfalle werden, würde Passanten und Skater durch die Luft segeln lassen. Serviceroboter können nützlich sein, aber auch gefährlich. Man muss sie am richtigen Ort zur richtigen Zeit einsetzen."¹²⁸ Auf dieses Thema wird ausführlicher in Kapitel 7.1 eingegangen.

5.5 Chancen der Lieferroboter

Nachdem nun die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und das Geschäftsmodell der Anbieter beleuchtet wurden, wird dieses Kapitel die Chancen aus technischer und operativer Perspektive beleuchten. Zudem werden Potentiale unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten untersucht und beschrieben.

Eine großer Pluspunkt der Lieferroboter besteht darin, dass ein Mensch (sogenannter "Operator") zwischen 50 und 100 Fahrzeuge auf einmal überwachen kann. Daraus ergibt sich ein beträchtlicher Vorteil gegenüber klassischen Fahrzeugen mit Fahrzeugführer, die ein signifikant schlechteres Verhältnis haben, da dort ein Mensch immer nur ein Fahrzeug steuern und überwachen kann.¹²⁹

Weitere Effizienzvorteile könnten sich ergeben, indem klassische Modelle mit Lieferrobotern kombiniert werden. Einer der führenden Anbieter Starship Technologies hat sich hierfür mit Mercedes zusammengetan und ein sogenanntes "Mothership-Concept" entwickelt. Dabei handelt es sich um einen klassischen Transporter, der über acht Stellplätze für Lieferroboter verfügt und als mobile Beladestation dient. Außerdem ist der Van in der Lage, die Roboter bedarfsabhängig an Orte mit hoher Nachfrage zu transportieren. Dort können sie anschließend vom Transporter ausschwärmen und Kunden bedienen. Die Unternehmen erhoffen sich so eine größere Effizienz auf der Letzten Meile.¹³⁰ Das konnte auch durch Studien belegt werden. Dort wurde festgestellt, dass die Symbiose von autonomen Lieferfahrzeugen und klassischen Liefervans die Zustellzeiten reduzieren konnte, die Kosten und die gefahrenen Kilometer sanken. Diese Untersuchung bezog sich allerdings nur auf bestimmte Szenarien und ist nicht allgemeingültig.¹³¹

Neben den technischen Gegebenheiten und Innovationen spielt auch das sich ändernde Konsumverhalten der Nutzer eine Rolle. Immer mehr Lieferungen werden am Tag der Bestellung oder noch zügiger beim Kunden erwartet. Wimmer und Grotemeier gehen davon aus, dass im Jahr 2025 schon 40% aller Lieferungen am Tag der Bestellung geliefert werden.¹³²

¹²⁸ Bendel, 2017, S. 35

¹²⁹ vgl. Zöllner et al., 2021, S. 606

¹³⁰ vgl. Ninnemann et al., 2017, S. 135

¹³¹ vgl. Jennings & Figliozi, 2019, S. 9

¹³² vgl. Wimmer & Grotemeier, 2018, S. 25

Zudem geht man davon aus, dass etwa 90% der Sendungen auf der komplexen Letzten Meile von Kleinfahrzeugen wie den Lieferrobotern erledigt werden können.¹³³ Das bedeutet rein von der Anzahl möglicher Aufträge eine große Chance für die Betreiber der autonomen Zustellfahrzeuge.

Ein weiterer positiver Ansatzpunkt für die Hersteller stellt das gestiegene Interesse der Konsumenten bezüglich der Themen Nachhaltigkeit und Umweltschutz. „Der Klimawandel nimmt in der Gesellschaft einen immer größeren Stellenwert ein und das Interesse an emissionsarmen Liefermöglichkeiten steigt.“¹³⁴ Hier spielt die Logistik eine nicht unerhebliche Rolle. „Die Logistik und der Straßenverkehr betragen etwa 5,5 Prozent der durch menschliche Aktivitäten erzeugten jährlichen Treibhausgasemissionen.“¹³⁵ Politische Bestrebungen zielen ebenfalls auf eine Reduktion der Emissionen und könnten Vorteile für Anbieter klimaneutraler Logistiklösungen bringen. Bis zum Jahr 2030 sollen nach Plänen der EU Lieferungen in städtischen Zentren CO2-neutral erfolgen. Das Ganze soll ohne höhere Kosten für Verbraucher und ohne steigende Wartezeiten vonstattengehen.¹³⁶ Ein weiterer Beschleunigungsfaktor für alternative Zustellmethoden war die Covid-19-Pandemie. Durch sie hat sich die Mobilität in Großstädten wie z.B. New York stark gewandelt. Rosenberger schreibt dazu: „Das Mobilitätsverhalten durchläuft einen rasanten Wandel und bietet neue Chancen.“¹³⁷ Zudem ist in dieser Zeit die Nachfrage nach Onlinebestellungen rasant gestiegen. Lieferdienste stellten in der Spur bis zu 60% mehr Pakete an Gewerbe und Privatpersonen zu. Gleichzeitig standen viele LKW aufgrund von Schließungen in der Industrie teilweise komplett still.¹³⁸ Dieses geänderte Konsumverhalten könnte auch Wachstum für alternativ angetriebene Lieferdienste und insbesondere für Roboter bieten. Eine weitere Änderung, die den Lieferrobotern zugute kommen könnte, ist die Tatsache, dass Forschende davon ausgehen, dass sich Lieferzeiten innerhalb von Städten mehr und mehr vom Tag in die Nacht hinein verschieben.¹³⁹ Der Hauptvorteil dessen dürfte sein, dass der Verkehr in der Nacht geringer ist und daher die Komplexität für die autonomen Fahrzeuge sinkt. Das Marktforschungsunternehmen Logistics Network Consultants und das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML gehen trotz all der aufgezählten Pro-Argumente für die Roboter nicht davon aus, dass die Durchdringungsrate der Roboter im Jahr 2030 hoch sein wird. Sie schreiben: „Die gewählten Durchdringungsraten von 1 % und 5 % sind durchaus optimistisch“

¹³³ vgl. Zöllner et al., 2021, S. 606

¹³⁴ McCain Foodservice Solutions, n.d., S. 9

¹³⁵ Kleinschmidt, 201, S. 1

¹³⁶ vgl. Eskuchen, 2019, S. 14

¹³⁷ Rosenberger, 2021, S. 29

¹³⁸ vgl. Rosenberger, 2021, S. 31

¹³⁹ vgl. Pflaum et al., 2017, S. 49

gewählt".¹⁴⁰ 2016 lag die Rate bei unter 0,1%.¹⁴¹ Daher ist davon auszugehen, dass die Roboter vorerst ein Nischendasein haben werden.

5.6 Risiken des Roboter-Einsatzes

Um ein ganzheitliches Bild und alle Pro- und Kontra-Argumente der Wissenschaft abzubilden, wird sich dieses Kapitel mit den Risiken und möglichen Hindernissen für einen flächendeckenden Robotereinsatz als Lieferfahrzeuge beschäftigen.

Ein Argument, welches die Betreiber der Roboter gerne anführen, ist, dass die Roboter klimafreundlicher sind als andere Zustellmethoden. Diese Tatsachenbehauptung konnten Forscher allerdings nicht bestätigen. In einer Studie simulierten sie verschiedene Szenarien. Im ersten Szenario setzten sie ausschließlich traditionelle Fahrzeuge für die Lieferungen ein, um dann die Quote der eingesetzten Lieferroboter sukzessive zu erhöhen. Allerdings konnte auch mit der höchsten Quote (3% der Zustellungen durch Lieferroboter) kein auffälliger Einfluss auf die Fahrstrecke erkannt werden und somit kein signifikanter positiver Einfluss, was mögliche CO2-Einsparungen betrifft.¹⁴²

Auch Leerkamp et. al. sehen das Argument für die Verkehrswende als kritisch an: "Möglicherweise trägt das Klimaschutzargument nicht genug und nicht dauerhaft genug, um diese Verkehrswende umzusetzen."¹⁴³

Außerdem halten Forscher Flächen für ein großes Risiko des Geschäftsmodells der Lieferroboteranbieter. Schon heute gibt es bedenkliche Akzeptanzprobleme, da Gehwege von Menschen und Robotern genutzt werden. Das führt zu unterschiedlichen Gesetzgebungen je nach Standort und kann daher das Geschäftsmodell der Firmen erheblich gefährden.¹⁴⁴ So hat sich ein bunter Flickenteppich von Regeln entwickelt, der sich sowohl auf nationaler, lokaler und regionaler Ebene unterscheiden kann. Diese fehlende Stringenz der Regeln macht es für die Anbieter sehr kompliziert, ein wettbewerbsfähiges Geschäftsmodell für ihre Zustellungen auf der Letzten Meile zu etablieren.¹⁴⁵

Leerkamp et al. halten zudem Förderungen aus öffentlicher Hand für unwahrscheinlich. Sie argumentieren, dass die wirtschaftlichen Potentiale zu klein und die positiven Auswirkungen für die

¹⁴⁰ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 208)

¹⁴¹ vgl. LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 208

¹⁴² vgl. Eskuchen, 2019, S. 21

¹⁴³ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 122

¹⁴⁴ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 13

¹⁴⁵ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 14

Gesellschaft und die Bevölkerung zu gering seien und daher vermutlich kein Geld in die Forschung der Zustellroboter fließen wird.¹⁴⁶

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist die Ausgestaltung der Roboter. Diese sollten menschenfreundlich gestaltet sein und Punkte der sozialen Robotik und der Maschinenethik bedenken.¹⁴⁷ Das Beachten dieser Disziplinen erfordert in der Erprobung und Entwicklung wieder Ressourcen der Unternehmen und Startups, die solche Fahrzeuge bauen und könnte zu Kostensteigerungen führen und dadurch die Wirtschaftlichkeit einschränken. Zudem wird es in Städten erst einmal günstiger bleiben, weiter auf menschliche Zusteller:innen zu setzen, argumentieren Leerkamp et. al.: „Im Bereich der „Massenverkehre“, also der Paketzustellung in Verdichtungsräumen, wird die Zustellung durch Menschen weiter die Regel bleiben, weil sie wirtschaftlicher ist.“¹⁴⁸

6 Wirtschaftliche Aspekte

Nachdem nun die Chancen und Risiken eines potentiellen Einsatzes autonomer Lieferroboter auf der letzten Meile beleuchtet wurden, soll das anschließende Kapitel die wirtschaftliche Perspektive in den Fokus rücken und beleuchten. Bei der Recherche dieser Aspekte hat sich gezeigt, dass sich die Anbieter sehr bedeckt halten, was Daten und Fakten angeht. Gleichwohl ist es möglich, auf wissenschaftliche Experimente zurückzugreifen und Daten aus dem bestehenden Logistikgewerbe hinzuzuziehen und daraus mögliche Konsequenzen für die neuartigen Vehikel zu erkennen.

6.1 Kostenfaktoren einer Lieferung

Um sich die Größe des Marktes auf der letzten Meile anzuschauen, gibt es ein paar Zahlen, die verdeutlichen können, warum mittlerweile so viele Unternehmen und auch alteingesessene Unternehmen an neuen Lösungen arbeiten.

Besonders Städte sind aufgrund ihrer engen Bebauung und kurzen Wegstrecken sehr interessant für autonome Zustelfahrzeuge auf der letzten Wegstrecke. Schon 2018 war bis zu einem Drittel des städtischen Binnenverkehrs sogenannter Wirtschaftsverkehr, der primär mit der Zustellung und dem Transport von Gütern befasst war.¹⁴⁹

Die Anzahl dieser Güter und der damit verbundenen Lieferwege wird aller Voraussicht nach steigen, da Studien davon ausgehen, dass schon im Jahr 2050 68% der Weltbevölkerung im urbanen Raum

¹⁴⁶ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 126

¹⁴⁷ vgl. Bendel, 2017, S. 35

¹⁴⁸ Leerkamp et al., 2021, S. 124

¹⁴⁹ vgl. Zöllner et al., 2021, S. 604

wohnen wird.¹⁵⁰ Um die schiere Größe des Marktes zu verstehen, lohnt sich ein Blick in die Zahlen der Lieferservices, die es mittlerweile in fast jeder Stadt gibt. "Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien 44 Mrd. Euro Marktvolumen bei Takeaway und Lieferservice über Drittanbieter."¹⁵¹ Diese Zahl berücksichtigt noch keine Paketlieferungen und andere Dienstleistungen wie Supermarkteinkäufe, Medizintransporte etc. Ein weiterer relevanter Kostenfaktor stellt folgende Tatsache dar: "mehr als 50 Prozent der Kosten bei der Paketlieferung fallen auf der letzten Meile an." Im Umkehrschluss bedeutet das, dass die letzte Meile aktuell für die Anbieter teuer ist, aber großes Optimierungs- und Einsparpotenzial bietet und sich die Anbieter daher signifikante Margen erhoffen. Auch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr sieht in automatisierten Konzepten für Lieferungen großes Potential. Der Bericht der Behörde führt aus: "Die durchgeföhrten Untersuchungen zu den automatisierten Belieferungskonzepten zur Haustürlieferung auf der letzten Meile zeigen ein außerordentliches Potenzial zur Kosteneinsparung. Verglichen mit der konventionellen Lieferung ist die bereits umsetzbare Belieferung mit autonomen Lieferrobotern über 60 % günstiger. Sobald vollständig autonome Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sind, werden Kosteneinsparungen von bis zu 88 % denkbar."¹⁵² Noch deutlicher könnte ein anderer Faktor für eine deutliche Reduzierung der Kosten sorgen. Bietet man den Kunden nämlich ein festes Zeitfenster für die Zustellung an, so lassen sich die anfallenden Kosten - im Vergleich mit herkömmlichen Fahrzeugen - um bis zu 90 Prozent reduzieren. Ohne Zeitfenster ergeben sich laut dem Bericht des Ministeriums immer noch Vorteile bei den Betriebskosten von ca. 70 Prozent.¹⁵³

Als weitere Vorteile hebt das Bundesministerium in dem Bericht hervor, dass kleine autonome Lieferroboter heute schon verfügbar sind und somit einen deutlichen Entwicklungsvorsprung gegenüber größeren autonomen Fahrzeugen haben. Zudem seien die Energiekosten für den Betrieb deutlich geringer. Einen weiteren Vorteil sehen die Expert:innen in den geringen Anschaffungskosten, heben jedoch im selben Atemzug hervor, dass auch deutlich mehr solcher Vehikel benötigt werden. Dem Teil des Berichtes fehlt ein eindeutiges Fazit zu den Kosten.¹⁵⁴ Das dürfte nicht zuletzt daran liegen, dass sich die Anbieter sehr bedeckt beim Aufschlüsseln und Publizieren von Zahlen halten und es daher kaum verlässliche Daten gibt. Ein weiterer Aspekt, der hier deutlich wird, ist die Tatsache, dass zwar vereinzelt Lieferroboter eingesetzt werden, aber ein Vergleich mit größeren autonomen Fahrzeugen unmöglich ist, da diese noch nicht großflächig eingesetzt werden und daher nur als Konzept evaluierbar sind.

¹⁵⁰ vgl. Eskuchen, 2019, S. 13

¹⁵¹ McCain Foodservice Solutions, n.d., S. 3

¹⁵² VDI/VDE Innovation & Technik GmbH, Berlin, 2021, S. 276

¹⁵³ vgl. VDI/VDE Innovation & Technik GmbH, Berlin, 2021, S. 224

¹⁵⁴ vgl. VDI/VDE Innovation & Technik GmbH, Berlin, 2021, S. 223

Klar ist aber, dass die Anbieter neue Lösungen für die Zustellung auf der letzten Meile brauchen, da die Menge weiter steigt. Wenn die Mengen im B2C-Sektor weiter steigen, dann treten sogenannte "Negative Economies of Scale-Effekte" ein, die trotz Wachstum geringeren Gewinn oder sogar Verluste für die Anbieter bedeuten.¹⁵⁵

Studien haben gezeigt, dass Anbieter von autonomen Robotern vor allem zwei Faktoren berücksichtigen sollten, wenn sie für Nutzer und Nutzerinnen attraktiv sein wollen. Die befragten Personen gaben an, dass es zwei Hauptgründe gibt, warum sie bestimmte Liefermethoden nutzten oder auch nicht nutzen. Als ersten Grund nannten sie den Preis für die Lieferung. Als zweiten Aspekt wiesen sie auf die berechnete Lieferzeit hin.¹⁵⁶ Diese zwei Faktoren sollten von Anbietern beachtet werden.

Ein niedrigeres Preisniveau für die Kunden könnte durch Skalierungseffekte und Einsparungen bei den Kosten für Personal erreicht werden und so die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge steigern.¹⁵⁷

Die angestrebten Kosten pro Lieferung klingen zumindest vielversprechend. Teilweise werden unter einem Dollar pro Lieferung angestrebt.¹⁵⁸ Um diese geringen Kosten pro Lieferung zu erzielen und trotzdem profitabel zu sein, setzen Anbieter auf großteils autonome Fahrten und auf ein System, bei dem der Roboter nur Unterstützung anfordert, wenn er sie wirklich benötigt. Dann greift ein Mitarbeiter auf den Roboter zu und kann ihn kurzzeitig per Videostream manuell steuern.¹⁵⁹

Lieferzeiten könnten verbessert werden, indem die Anbieter vermehrt auf Künstliche Intelligenz setzen, um Routen und die gesamte Logistik auf der letzten Meile zu optimieren. So könnten Zeiten reduziert werden und die Logistikketten stärker, flexibler und leichter nachvollziehbar werden.¹⁶⁰

6.2 Entwicklungsstand und Erfahrung

Der Entwicklungsstand der Roboter ist ständig im Wandel und auch unter Wissenschaftlern umstritten. Eine Schwierigkeit bei der genauen Bestimmung ist zum Beispiel darin begründet, dass Unternehmen die Roboter einsetzen, um innovativ zu wirken - es aber nur unwesentlich um den tatsächlichen Nutzen der Technologie geht. So schreiben Leerkamp et al.: "Die mir bekannten Vorhaben erscheinen mir oftmals als Demonstrationsvorhaben mit einem hohen Anteil an Marketingzielsetzungen – Unternehmen wollen sich als innovativ präsentieren und darstellen, dass sie Teil der Lösung bestehender Probleme sind."¹⁶¹

¹⁵⁵ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 123

¹⁵⁶ vgl. Romanjuk, 2020, S. 37

¹⁵⁷ vgl. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI et al., 2022, S. 26

¹⁵⁸ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 4

¹⁵⁹ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 6

¹⁶⁰ vgl. Handelsblatt Research Institute, 2021, S. 23

¹⁶¹ Leerkamp et al., 2021, S. 123

Doch tatsächlich gibt es schon Zahlen, die eine größere Erfahrung erahnen lassen, die über reine Marketingzwecke hinausgeht. Allerdings stammen die Daten von den Anbietern selbst und lassen sich nicht unabhängig verifizieren. So schreibt Marktführer Starship Technologies, dass ihre Roboter im Frühjahr 2023 10 Mio. Kilometer zurückgelegt haben und 5 Mio. Lieferungen zugestellt haben.¹⁶² Andere Anbieter, wie z.B. der direkte Starship-Konkurrent "Cartken", veröffentlichen keine Zahlen auf ihrer Website.

Was die Erfahrung und Entwicklung hemmen dürfte, sind die unterschiedlichen juristischen Rahmenbedingungen, an die sich die Anbieter halten müssen - wie im Kapitel "Regularien" ausgeführt. So müssen unterschiedlichste Störungen und Kombinationen von Fehlern programmiert und getestet werden. Außerdem müssen in sicherheitstechnischen Bereichen Redundanzen der Systeme implementiert werden, die praxistauglich sind. Diese Herausforderungen erhöhen die Kosten für die Anbieter und hemmen Tempo und Wirtschaftlichkeit und können zu mehr Ausfällen von Teilen des Systems führen. Der Wartungsaufwand und die Kosten der Überwachung der Roboter und des Systems resultieren in weiteren Kosten.¹⁶³ Wie bereits angeklungen, wird auch aus der wissenschaftlichen Literatur nicht eindeutig klar, ob und wie der Stand der Technik der Lieferroboter ist. Bitkom hat 2017 Unternehmen zu ihren Erwartungen gefragt, was den Einsatz von Lieferrobotern betrifft. Rund 42% der Befragten gaben an, dass sie im Jahr 2027 Lieferungen von Drohnen und Lieferrobotern für unverzichtbar halten.¹⁶⁴

¹⁶² vgl. Starship Technologies, 2023

¹⁶³ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 124

¹⁶⁴ vgl. Rohleder, 2017, S. 6

Roboter und Drohnen werden für den Transport unverzichtbar

Bitte beurteilen Sie, wie verbreitet die folgenden Szenarien in zehn Jahren sein werden?



57%

Waren werden mit autonomen Fahrzeugen transportiert



39%

Waren werden auf dem eigenen Firmengelände mit autonomen Drohnen transportiert



42%

Lieferung zum Endkunden mit Drohnen oder Lieferrobotern

i Basis: Alle befragten Unternehmen mit Logistikprozessen (n=508) | Antworten: »sehr weit verbreitet« und »eher verbreitet« | Quelle: Bitkom Research

bitkom

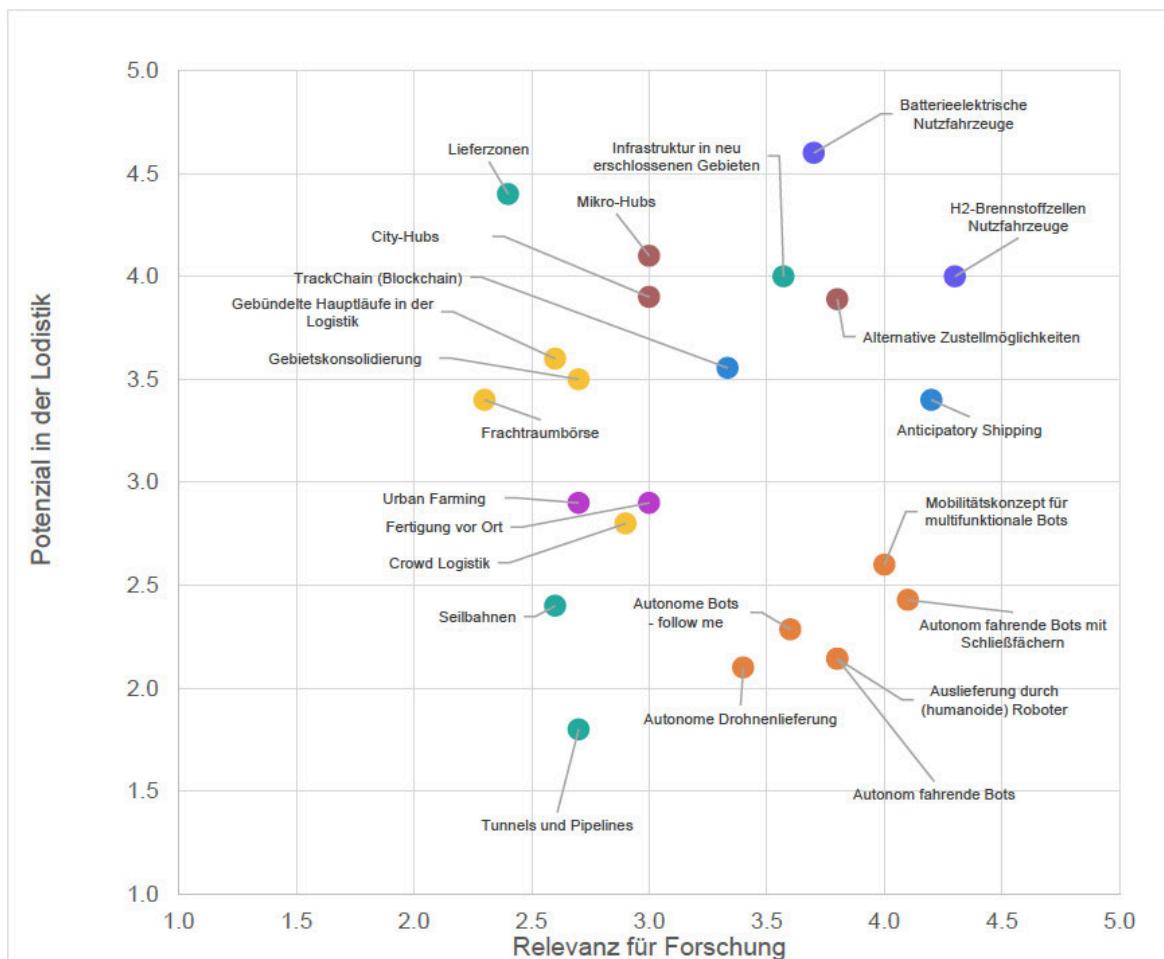
Abbildung 7: Drohnen und Roboter als Zustellmethode¹⁶⁵

“Eine von dem Unternehmen IDTechEx durchgeföhrte Studie prognostiziert bis zum Jahr 2025 eine Flottengröße von 200.000 Lieferrobotern weltweit.”¹⁶⁶ Diese Zahl lässt sich nur schwer überprüfen. Es könnte ebenso wahrscheinlich sein, dass solche Technologien und Fahrzeuge noch deutlich mehr Entwicklungs- und Erprobungszeit benötigen. So schreibt das LNC Logistics Network: “Technologien wie z. B. autonome Fahrzeuge, Lieferroboter, Drohnen sowie unterirdische Transporttunnelsysteme sind in der Entwicklung und teilweise in Erprobung. Ihre Wirkung werden diese jedoch absehbar erst nach 2030 entfalten.”¹⁶⁷

¹⁶⁵ Rohleder, 2017, S. 6

¹⁶⁶ Heinbach et al., 2022, S. 196

¹⁶⁷ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 324



Orange: Autonome Transportmittel, Gelb: Logistikplattformen, Braun: Alternative Logistikkonzepte, Grün: Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen, Dunkelblau: Alternative Antriebe, Pink: Urbane Produktion, Hellblau: Spezielle IKT-Lösungen

Abbildung 8: Schätzung des Potentials unterschiedlicher Technologien auf der Letzten Meile¹⁶⁸

Die Einschätzung des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung sieht das Potential der autonomen Roboter nicht allzu hoch an. Allerdings lässt sich aus der oben gezeigten Grafik erkennen, dass auch noch einiges an Arbeit im Bereich der Forschung besteht. Noch sind die Roboter weit davon entfernt, zu großen Teilen autonom zu sein, wie das Handelsblatt Research Institute feststellt. Die Fahrzeuge bewegen sich bis dato eher in "einfachen" Gegenden fort, wo die Infrastrukturherausforderungen einfacher für die Vehikel zu bewältigen sind. So sind die Roboter zum Beispiel großflächig auf Campusgeländen in den USA im Einsatz.¹⁶⁹ Diese Tatsache könnte dafür sprechen, dass der Entwicklungstand und die Erfahrung noch relativ niedrig sind. Gies sieht einen hohen Grad an Automatisierung in der Logistik in den Bereichen Sortierung und Distribution und verweist darauf, dass die Zustellung hingegen immer noch stark auf Menschen setzt. Zwar gibt es

¹⁶⁸ Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI et al., 2022, S. 25

¹⁶⁹ vgl. Handelsblatt Research Institute, 2021, S. 48

erste Versuche mit Lieferrobotern und Drohnen, aber diese Technologien sind seiner Meinung nach noch weit von einer Marktreife entfernt.¹⁷⁰

6.3 Vor- und Nachteile gegenüber anderen Methoden

Die Zeiten, in der Logistikanbieter ausschließlich auf klassische Transporter setzten und für die letzten Meter menschliches Personal einplanen, sind vorbei. Anbieter wie DHL, Amazon und DPD erproben neuartigen Lösungen für die letzte Meile. So werden unter anderem Drohnen getestet, die auf Grund ihrer Risiken und Unwägbarkeiten und der komplexen Gesetzeslage aber noch nicht im großen Stil eingesetzt werden können.¹⁷¹ „Drohnen kommen heute bereits für die Zustellung in spezifischen Fällen zum Einsatz. Die Entwicklung hin zu Frachtdrohnen mit größerem Ladegewicht werden ihre Bedeutung in Zukunft erhöhen“, schreibt Göpfert.¹⁷²

Nutzwertanalysen sehen Drohnen nur auf Platz zwei, wenn es darum geht, welche Fahrzeuge am besten für Zustellungen benutzt werden sollten. Die Analyse hat Logistikkonzepte chinesischer Großstädte untersucht und kommt zu dem Schluss, dass Lieferroboter aktuell das vielversprechendste Konzept für derartige riesige Metropolen sind. Die heute eingesetzten Fahrzeuge, die den üblichen Vans entsprechen, landen auf dem letzten Platz, wenn man den Nutzen betrachtet.¹⁷³ Es gibt einige Aspekte, in denen Lieferroboter anderen Fahrzeugen überlegen sind. Ein Argument ist die Reduktion der Personalkosten, wie Wimmer und Grotemeier feststellen.¹⁷⁴ Weitere Punkte, die für den Einsatz autonomer Roboter sprechen, sind die hohe Autonomie, die Flexibilität der Fahrzeuge und die lokale Emissionsfreiheit. Zudem verursachen sie keinen bzw. kaum Lärm bei ihrem Einsatz. Des Weiteren könnte man mit einem solch flexiblen zeitunabhängigen System direkt mit der Auslieferung der Ware beginnen, sofern diese vor Ort ist, denn die Spitzenzeiten von Onlinebestellungen im Lebensmittelbereich liegen beispielsweise bei 19 Uhr und 2 Uhr nachts.¹⁷⁵ Mit Hilfe einer großen Anzahl solcher Vehikel könnte man in Spitzenzeiten für Entlastung beim Personal sorgen und gleichzeitig Kunden zügiger beliefern.

Andere Fahrzeuge sind hingegen überlegen, wenn es um Themen wie Ladevolumen oder die rechtliche Situation geht. Außerdem fällt beim Einsatz der Roboter der Kundenkontakt weg, was wiederum die Akzeptanz beeinflussen könnte.¹⁷⁶

¹⁷⁰ vgl. Gies et al., n.d., S. 40

¹⁷¹ vgl. Ninnemann et al., 2017, S. 87

¹⁷² Göpfert, 2018, S. 239

¹⁷³ vgl. Stahmann, 2017, S. 29f

¹⁷⁴ vgl. Wimmer & Grotemeier, 2018, S. 30

¹⁷⁵ vgl. McCain Foodservice Solutions, n.d., S. 4

¹⁷⁶ vgl. Zimmermann et al., 2020, S. 77

Darüber hinaus gibt es bei der Implementierung zu beachten, dass die Roboter noch nicht über die Fähigkeit verfügen Treppen zu erklimmen, was einen erheblichen Nachteil gegenüber anderen Methoden darstellt und vor allem im urbanen Raum mit mehrgeschossigen Häusern ein Kontraargument darstellt.¹⁷⁷ Nicht nur dieser bauliche Umstand ist eine Hürde. Es müsste zudem geklärt werden, wie man damit umgeht, wenn betroffene Personen zur Paketannahme nicht zuhause sind und dadurch mehrere Zustellversuche von Nöten sind.^{178¹⁷⁹} Ein weiterer Aspekt, auf den die Literatur hinweist, ist das oben bereits erwähnte geringe Ladevolumen der Roboter. So sind im Vergleich zu konventionellen Lieferwagen deutlich mehr Auslieferungsfahrten nötig, um die gleiche Menge an Stückgut und Waren zu transportieren.¹⁸⁰ Das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung hat das Ganze simuliert und berechnet und kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz von Lastenrädern in Kombination mit Mikro-Hubs deutlich geringere CO2-Emissionen verursachen würde.¹⁸¹

7 Gesellschaftskritische Betrachtung

Um die Chancen für autonom fahrende Lieferroboter einschätzen zu können, reicht es nicht, die technischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen zu betrachten. Ebenso gilt es die gesellschaftlichen und städtebaulichen Aspekte zu beleuchten, da am Ende des Tages die Akzeptanz der Bevölkerung entscheidend sein wird, um solche Konzepte erfolgreich zu machen. Denn die Gesellschaft repräsentiert die Konsumenten der neuartigen Logistiklösungen. Kummert et al. formulieren es so: "Aus gesellschaftlicher Sicht steht und fällt die Automatisierung des Straßenverkehrs hauptsächlich mit der gesellschaftlichen Akzeptanz, welche mit der Wahrnehmung der Sicherheit zukünftiger Systeme einhergeht".¹⁸²

Es gibt drei entscheidende Faktoren, die die Akzeptanz beeinflussen. Eine Hürde kann das fehlende Wissen über das Angebot sein. Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn aufklärende Infos dazu fehlen oder nicht für alle zugänglich sind. Ein weiterer Faktor besteht

Zudem spielt es auch eine Rolle, ob die Verbraucher einen Nutzen in der Technologie sehen. Ebenso kann die Benutzerfreundlichkeit ein Faktor sein. Die Nutzung sollte ohne große Anstrengung möglich sein, weil sich eine Technologie ansonsten nicht durchsetzt. Auch spricht man von

¹⁷⁷ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 116

¹⁷⁸ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 110

¹⁷⁹ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 116

¹⁸⁰ vgl. LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 140

¹⁸¹ vgl. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI et al., 2022, S. 41

¹⁸² Kummert et al., 2021, S. 115

“wahrgenommenem Risiko”, was für die persönliche Einschätzung steht, die Nutzer als Resultat der Nutzung sehen.¹⁸³

Durch den Wegfall der menschlichen Komponente, sowohl auf dem Weg der Zustellung, als auch bei der eigentlichen Lieferung fehlt für Konsumenten die Möglichkeit, evtl. auftretende Beschwerden und Ärger zu adressieren, wenn die Qualität nicht stimmt.¹⁸⁴ Anbieter versuchen, dies durch technische Implementierungen zu umgehen. So werden beispielsweise akustische Signale ausgesendet. Andere Lösungen sehen vor, dass Nutzer via Bildschirm mit dem Lieferroboter kommunizieren können.¹⁸⁵ “Der Kiwibot beispielsweise interagiert durch eine angezeigte schematische Mimik mit Kunden und Passanten.”¹⁸⁶

Allerdings halten Leerkamp et al. fest: “Es lässt sich feststellen, dass keine umfassende Evaluierung und wissenschaftliche Begleitung abseits von unternehmensspezifischen Erkenntnisinteressen erfolgt sind.”¹⁸⁷ So wurden bisher Ziel- und Nutzungskonflikte nicht unabhängig untersucht. Daher ist es schwierig, genaue Aussagen über das Funktionieren oder eben Nichtfunktionieren der Interaktion anderer Verkehrsteilnehmer mit den Robotern zu machen.¹⁸⁸

Es lässt sich gleichwohl konstatieren, dass auch äußere Umstände und Umweltfaktoren die Akzeptanz und kritische Haltung der Bevölkerung in Bezug auf die Roboter stark beeinflussen. So gaben bei einer Befragung 92 Prozent der befragten Personen an, dass sie Sicherheitsbedenken bezüglich der Roboter haben, wenn das Wetter schlecht ist, und bezüglich der Interaktion mit Fußgängern.¹⁸⁹ Auch gehen die Wissenschaftler davon aus, dass die Covid-19-Pandemie einen erheblichen Einfluss auf die Gesellschaft hatte, insofern es um den Nutzen solcher autonomer Lösungen geht.¹⁹⁰ In dieser Zeit ist weltweit die Nachfrage nach kontaktlosen Lieferungen gestiegen, da die Menschen Angst vor zu viel Interaktion mit anderen Menschen hatten und dazu gezwungen waren, großteils zuhause zu bleiben.¹⁹¹ Studien haben ergeben, dass während der Pandemie 64,6% der Befragten sagten, dass sie autonome Roboter als Liefermöglichkeit nutzen würden, um unnötigen Kontakt mit anderen Menschen zu vermeiden.¹⁹² Allgemein haben Forschungen herausgefunden, dass auch Bildung und Wohlstand eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanz spielen. So schreibt Othman: “Höhere Bildung sorgt für eine positivere Haltung gegenüber autonomen Fahrzeugen. Gleichzeitig sind Menschen aus

¹⁸³ vgl. Kummert et al., 2021, S. 123

¹⁸⁴ vgl. Abrams et al., 2021, S. 274

¹⁸⁵ vgl. Glock et al., 2022, S. 548

¹⁸⁶ Glock et al., 2022, S. 548

¹⁸⁷ Leerkamp et al., 2021, S. 113

¹⁸⁸ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 113

¹⁸⁹ vgl. Othman, 2021, S. 358

¹⁹⁰ vgl. Othman, 2021, S. 378

¹⁹¹ vgl. Abrar et al., 2019, S. 461

¹⁹² vgl. Romanjuk, 2020, S. 28

ärmeren Ländern autonomen Fahrzeugen positiver eingestellt als in reicheren Ländern.”¹⁹³ Ein weiterer Faktor, der die Akzeptanz entscheidend prägen könnte, ist die Tatsache, dass 64% Prozent aller Angestellten branchenübergreifend denken, dass ihr Job von einem Roboter ausgeübt werden könnte.¹⁹⁴ Auf diesen Aspekt wird diese Arbeit aber noch näher im Kapitel “Automatisierung von Arbeit” eingehen. Hoffmann & Prause weisen außerdem darauf hin, dass bisher jede große technologische Neuerung zwar einen großen Hype erfahren hat, der in der Regel auch mit großen Protesten einherging, bis die Technologie von der breiten Masse akzeptiert wurde.¹⁹⁵ In den folgenden Kapiteln soll es um die einzelnen Aspekte gehen, die bei einer Einführung von Lieferrobotern aus gesellschaftlicher Sicht mitgedacht werden sollten. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass es sich dabei - wie bei der ganzen Thesis - um einen wissenschaftlichen Überblick handelt. Es kann daher sein, dass weniger relevante Erkenntnisse nicht aufgezählt werden, da das den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Es sich, streng genommen, um einzelne Forschungsfelder, die unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zuzuordnen sind.

7.1 Aufteilung des urbanen Raums

Dieses Kapitel soll sich den Veränderungen und Herausforderungen widmen, die eine Implementierung von Lieferrobotern für den urbanen Raum zur Folge hat. Diese Aufgabe ist vor dem Hintergrund zu betrachten, dass Städte tendenziell wachsen werden, da wie bereits angeklungen, immer mehr Menschen weltweit in urbanen Gebieten leben werden und daher Städte eher verdichtet werden. Der zur Verfügung stehende Platz wird eher knapper werden statt zu wachsen. “Der Trend zur Urbanisierung wird sich weiter fortsetzen. 2030 sollen fast 80% der Bevölkerung in Städten leben.”¹⁹⁶

Zudem zielt dieser Abschnitt auf den urbanen Raum ab, da die meisten dieser Konzepte auf diese Gebiete ausgelegt sind. Glock et al. schreiben: “Die überwiegende Mehrheit der vorgestellten Konzepte adressiert den urbanen Raum, in dem die fehlende Reichweite der autonomen Lieferroboter und die geringe Geschwindigkeit der gehweg-basierten Lösungen keine wesentlichen Einschränkungen darstellen.”¹⁹⁷ Die Bürgersteige sind also für die Anbieter hilfreich, aber wie sieht es mit der Verteilung der Flächen aus, die daraus resultiert?

¹⁹³ Othman, 2021, S. 380

¹⁹⁴ vgl. Kaspersky, 2022, S. 6

¹⁹⁵ Hoffmann & Prause, 2018, S. 15

¹⁹⁶ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 214

¹⁹⁷ Glock et al., 2022, S. 548

Rosenberger sieht in neuen Zustellmethoden eine Möglichkeit, weniger Lieferverkehr auf den Straßen zu haben. „Um die Straßen von Nutzfahrzeugen zu entlasten, kommen zumindest mittelfristig auf der letzten Meile Drohnen und andere automatisierte Fahrzeuge infrage.“¹⁹⁸

Allerdings bedeutet das Umsatteln auf neue Mobilitätskonzepte eine räumliche Verschiebung hin zu Flächen, die auch schon heute beansprucht werden. „Häufig entstehen in dichten Wohnquartieren Nutzungskonflikte im öffentlichen Raum durch zusätzliche Mobilitätsangebote, Lieferfahrzeuge, Lieferroboter oder Packstationen. Häufig werden diese Angebote zuungunsten des Fußverkehrs platziert“, schreibt dazu Meinel¹⁹⁹ Leerkamp et al. sehen die Problematik der Umverteilung ähnlich: „Zustellroboter erhöhen – neben Scootern, Ladezonen etc. – besonders in dichten urbanen Stadtquartieren zusätzlich den ohnehin schon hohen Nutzungsdruck auf den öffentlichen Raum – besonders auf den Gehwegen.“²⁰⁰ Weiter führen sie aus: „Auch schränken Lieferroboter kommerzieller Anbieter die Nutzung des öffentlichen Raums durch alle Menschen ein und tragen zu einer „Privatisierung öffentlicher Räume“ bei.“ (vgl. Marks 2019: 14; Wong 2017)²⁰¹ Auch das Fraunhofer Institut sieht diesen Konflikt und spricht von einer möglichen „Raumnutzungskonkurrenz, die frühzeitig erkannt und im Planungsprozess berücksichtigt werden sollte.“²⁰² Daraus ergeben sich konkrete Fragen, wie z.B. Serbser et al. formulieren: „Wie viel Raum wird der digitalisierten Mobilität eingeräumt und inwiefern werden die Voraussetzungen im Raum geschaffen, neue Mobilitätsangebote nachhaltig zu nutzen?“²⁰³ Behörden sollten sich bei der Genehmigung solcher Fragen annehmen. Denn es gilt zu klären, ob digitale Mobilität mehr Raum in Anspruch nimmt und inwiefern dieser Raum anderen Personen oder Fahrzeugen entzogen wird oder ob Synergien und Mehrfachnutzungen zum Tragen kommen.²⁰⁴ Kuchenbecker et al. sehen die Kommunen und Planer dabei in der Pflicht und schreiben: „Logistik erobert neue Räume in der Stadt. Durch Quartiersentwickler sowie Städte- und Verkehrsplaner müssen aber auch dedizierte Flächen für die Logistik geschaffen werden.“²⁰⁵ Für Jennings & Figliozi ergeben sich daraus wieder direkte, praktische Fragen, zum Beispiel die Frage, wie viele Roboter auf einmal pro Gehweg zugelassen sind.²⁰⁶ Diese Umverteilung gilt es zu betreuen, denn auch die Wissenschaft hat Sorgen, wie diese Verschiebung sich auswirken wird, denn sie geht von einer höheren Beanspruchung der Gehwege aus.²⁰⁷ Hoffmann und Pause nehmen an, dass diese Platzverteilungsfragen, auch wesentlich über

¹⁹⁸ Rosenberger, 2021, S. 32

¹⁹⁹ Meinel, 2019, S. 123

²⁰⁰ Leerkamp et al., 2021, S. 118

²⁰¹ Leerkamp et al., 2021, S. 118

²⁰² Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI et al., 2022, S. 47

²⁰³ Serbser et al., 2023, S. 27

²⁰⁴ vgl. Serbser et al., 2023, S. 31

²⁰⁵ Kuchenbecker et al., 2021, S. 94

²⁰⁶ vgl. Jennings & Figliozi, 2019, S. 10

²⁰⁷ vgl. Glock et al., 2022, S. 558

den zukünftigen Erfolg als Geschäftsmodells der Lieferroboter entscheiden. Dabei wird es darauf ankommen, wie Kommunen mit den neuen Robotern umgehen und welche Flächen ihnen zustehen werden.²⁰⁸ Dafür gilt es Rahmenbedingungen zu schaffen. Sonst besteht die Gefahr, dass viele Kommunen wieder sehr ambivalente Erfahrungen machen, wie bei der Einführung der E-Scooter, die als lizenziertes Sharingkonzept Flächen im öffentlichen Raum beanspruchen.²⁰⁹

7.1.1 Regulierungskonzepte

Es gibt Konzepte und Ideen, die Städte und Kommunen einsetzen könnten, um einem unkontrollierten Einsatz und dadurch entstehenden Ärger vorzubeugen.

So könnten sie z.B. auf das sogenannte “Geofencing” zurückgreifen. Damit könnte man Sperrzonen errichten und Quartiere zu bestimmten Zeiten schließen. Ein weiterer Baustein könnte sein, dass Gemeinden dazu übergehen, Roboter zu lizenzieren, um ihre Anzahl begrenzen zu können und Auflagen für die Betreiber der Fahrzeuge vorzuschreiben. Ein weiteres Tool ist der Einsatz von dynamischen Preisen.²¹⁰ “Die Maßnahme der Echtzeitbepreisung stellt ein marktwirtschaftliches Instrument dar, das in Abhängigkeit der räumlich-zeitlichen Verträglichkeit der Zustellroboter im öffentlichen Raum dynamische Gebühren einhebt.”²¹¹ Dies dürfte jedoch eher eine Methodik auf der Anbieterseite sein und weniger eine Variante, die Behörden nutzen können. Allerdings ist all diesen Methoden gemein, dass sie noch nicht auf ihre Wirksamkeit untersucht sind und das Zusammenspiel der einzelnen Werkzeuge zu untersuchen ist.²¹²

Als Vorreiter in Sachen Regulierung gilt die US-amerikanische Stadt San Francisco. Die Stadt beschloss bereits im Dezember 2017, die Anzahl der Roboter auf insgesamt neun im Stadtgebiet zu begrenzen. Jedes Unternehmen darf dort nur 3 Roboter zur gleichen Zeit einsetzen und das auch nur in bestimmten Gebieten, z.B. nur dort, wo die Gehwege eine definierte Mindestbreite erfüllen. Eine weitere Auflage besteht darin, dass die Roboter stets von einem menschlichen Begleiter überwacht werden müssen. Diese strikten Regularien sind auf die Proteste von verschiedenen Interessengruppen in der Stadt zurückzuführen. Den Protestlern war wichtig, dass die Bürgersteige kein Spielplatz für ferngesteuerte Fahrzeuge werden und Firmen sich auf Kosten von Jobs so bereichern.²¹³

²⁰⁸ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 14

²⁰⁹ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 126

²¹⁰ vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 119

²¹¹ Leerkamp et al., 2021, S. 119

²¹² vgl. Leerkamp et al., 2021, S. 119

²¹³ vgl. Hoffmann & Prause, 2018, S. 14

7.1.2 Befürchtungen der Wissenschaft

Babel et al. gehen davon aus, dass Serviceroboter bald zum täglichen Bild im öffentlichen Raum gehören und es somit regelmäßig zu Mensch-Roboter-Interaktionen kommen wird.²¹⁴

“Gehwege an typischen Hauptverkehrsstraßen sind heute schon zu schmal und führen zu hohem Interaktionsbedarf zwischen Menschen.”²¹⁵ So entstehen unterschiedlichste Herausforderungen - sowohl soziale als auch moralische, die bei diesem Zusammentreffen auftreten, wenn Menschen und Roboter Plätze, Zonen und Wege teilen.²¹⁶ Bendel sieht einige Gefahren, die von den Lieferrobotern ausgehen. “Sie machen uns unseren Lebensraum streitig, können Stolperfallen und Hindernisse darstellen und benötigen teilweise die gleichen Ressourcen wie wir. Sie vermögen uns zu unterstützen und zu ersetzen. Und sie können uns ausspionieren und überwachen.”²¹⁷

Ein weiterer Aspekt, auf den Serbser et al. hinweisen, besteht in der Zentriertheit der Verantwortlichen im urbanen Raum. Sie schreiben: “Im Kontext digitaler Mobilität stehen Innovationen für Fahrzeuge, Mobilitätskonzepte und Infrastruktursysteme im urbanen Raum im Zentrum, während Planer, Entwickler und Politiker aus ihrer fachspezifischen Perspektive dazu neigen, die Verletzlichkeit des komplexen Verkehrssystems insgesamt zu unterschätzen aber gleichzeitig die Potenziale für Vernetzung im ländlichen Raum über zu bewerten.”²¹⁸

Eine weitere Befürchtung ist, dass Smart Cities zu sehr den Fokus auf technikgetriebene Strategien legen und damit die Integration der einzelnen Akteure vernachlässigt. Serbser et al. vergleichen diese Strömung mit den Entwicklungen zwischen den 1930er und 1960er Jahren, als man in den USA, Deutschland, aber auch der DDR versuchte, Wegebeziehungen und Strecken unter dem Begriff der Sozialplanung zu optimieren. So entstanden Trabantenstädte, die zwar in gutem Glauben gebaut wurden, aber mangels Integration und Überbewertung von sozialtechnologischen Konzepten heute die Fehleinschätzung der damaligen Planung widerspiegeln.²¹⁹ “Ohne sozial sensible Integration der Akteure droht bei Smart Cities und digitaler Mobilität eine Wiederholung dieser technikgetriebenen Strategien, die Fehlallokationen und mangelnde Nutzungsakzeptanz zur Folge hätten und die eine vorhandene soziale Asymmetrie zwischen Räumen verstärken würden.”²²⁰

²¹⁴ vgl. Babel et al., 2022, S. 1625

²¹⁵ Leerkamp et al., 2021, S. 124

²¹⁶ vgl. Bendel, 2021, S. 244f

²¹⁷ Bendel, 2021, S. 244f

²¹⁸ Serbser et al., 2023, S. 25

²¹⁹ vgl. Serbser et al., 2023, S. 28

²²⁰ Serbser et al., 2023, S. 28

7.1.3 Hoffnungen der Wissenschaft

Es gibt aber auch gegenteilige Stimmen in der Forschung, die die Argumente für eine geänderte Mikromobilität aufzeigen. So wird mit weniger Stau gerechnet und insgesamt weniger Platzverbrauch in den Städten.²²¹ Die neuen Fahrzeuge wie (E-) Lastenräder oder auch Zustellroboter könnten den Verbrauch von Platz in der Stadt folglich reduzieren. In eine ähnliche Richtung weisen Zimmermann et al., die schreiben: "Neben einer CO₂-Ersparnis ermöglichen solche Transportmittel auch die Verkehrsbelastung und die Flächeninanspruchnahme im Vergleich zu konventionellen Lieferfahrzeugen zu reduzieren."²²²

Neben dem geringeren Flächenverbrauch im öffentlichen Raum ist auch der Aspekt der Klimaverträglichkeit essentiell. "Der Umgang mit dem öffentlichen Raum zählt zu den wirkungsvollsten Ansatzpunkten einer klimaverträglichen Verkehrspolitik."²²³

7.1.4 Lösungsansätze

Um Menschen nicht mit einer steigenden Zahl von autonomen Fahrzeugen auf Gehwegen zu stören, braucht es technische Lösungen, die eine gelungene Interaktion zwischen Passanten und Robotern ermöglichen. "Wenn technische Systeme interagieren sollen, kann die Lösung vermutlich nur lauten, dass diese dem Menschen ausweichen, was aber den Betrieb der autonomen Systeme beeinträchtigen wird."²²⁴

Neben dieser technischen Lösung sollte auch die Infrastruktur im öffentlichen Raum der geänderten Mobilität angepasst werden. Hierzu zählen die Einrichtung von autofreien Verkehrszenonen und die Etablierung neuer Fahrtwege für Transportfahrzeuge der Mikromobilität.²²⁵ So soll Flächennutzungskonflikten z.B. zwischen Passanten und Robotern vorgebeugt werden. Im Rahmen der Digitalisierung von Mobilitätskonzepten muss vermieden werden, dass die entstehenden Kosten der Produktion und des Betriebs in diesen Bereichen externalisiert werden und zu Lasten der Umwelt (Klimafolgen) oder der Verteilungsgerechtigkeit (Exklusion und Segregation) als Senken genutzt werden.²²⁶

Insgesamt sollte der Fokus also mehr in Richtung Nutzung und Umgestaltung des öffentlichen Raums gehen. Aktuell stehen jedoch die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit der Lieferroboter im Vordergrund. Leerkamp et al. sehen einen anderen Faktor bei der Umsetzung der neuen Fahrzeuge

²²¹ vgl. Philipp et al., 2021, S. 361

²²² Zimmermann et al., 202, S. 760

²²³ NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 47

²²⁴ Leerkamp et al., 2021, S. 124

²²⁵ vgl. Rosenberger, 2021, S. 32

²²⁶ Serbser et al., 2023, S. 31

als entscheidend an. Der eigentliche Maßstab, ob ein Einsatz sinnvoll ist, muss sich an der Qualität des öffentlichen Raums orientieren.²²⁷

7.2 Automatisierung von Arbeit

Die Art, wie wir arbeiten ändert sich durch die Digitalisierung und neue Möglichkeiten wie zum Beispiel den Einsatz autonomer Lieferroboter oder Künstlicher Intelligenz. Besonders dieser Begriff findet mehr und mehr Einzug in die Debatten. Er muss kurz eingeordnet werden, da das autonome Fahren der Roboter maßgeblich durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz zustande kommt. Der Begriff ist dabei keinesfalls neu und geht zurück auf eine Konferenz am Dartmouth College in Hanover, USA, die bereits 1956 stattfand. Dort wurde der Begriff zum ersten Mal in der englischen Version "Artificial Intelligence" benutzt.²²⁸

Der Begriff wird heute regelmäßig verwendet und teilweise werden Technologien, die damit arbeiten, als Bedrohung gesehen. Das ist vor allem auf bedrohliche Szenarien zurückzuführen, die von einer Künstlichen Intelligenz mit Bewusstsein sprechen, sogenannter "Starker KI". Sollte diese starke KI tatsächlich wahr werden, so könnte sich die Rolle der Menschen entscheidend ändern. Bisher ging die Menschheit nämlich davon aus, selbst an der Spitze der kognitiven Evolution zu stehen.²²⁹

Diese Einordnung ist für den folgenden Abschnitt wichtig, um zu verstehen, warum autonome Fahrzeuge mit Künstlicher Intelligenz in Teilen der Bevölkerung skeptisch gesehen werden. Künstliche Intelligenz birgt ein großes Potential für viele Wirtschaftsbereiche und die Logistik ist hierzulande einer der größten Sektoren. Göpfert stellt fest: "Mit mehr als 2,97 Mio. Beschäftigten und rund 253 Mrd. EURO Umsatz gehört die Logistik zu den größten Wirtschaftsbereichen in Deutschland."²³⁰ "Im Zusammenhang mit dem Fachkräftemangel im Logistiksektor ist es vorstellbar, dass autonome Transportsysteme die Aufrechterhaltung der Versorgungsfunktion der Logistik sicherstellen."²³¹ Aber sie werden Menschen nicht 1:1 ersetzen können, denn zumindest aktuell mangelt es ihnen noch an Funktionen, die dazu nötig sind. So ist es den autonomen Roboter zum Beispiel unmöglich, in mehrstöckigen Gebäuden bis zur Wohnungstür zu liefern.²³² Ebenso fällt die persönliche Interaktion zwischen Postbote und dem Empfänger weg, was aber in Zeiten von hohem Zeitdruck der Zustellbediensteten sowieso im urbanen Raum immer weniger wird. Aber es sind nicht nur Risiken

²²⁷ Leerkamp et al., 2021, S. 121

²²⁸ vgl. Seng, 2019, S. 187

²²⁹ vgl. Seng, 2019, S. 195

²³⁰ Göpfert, 2018, S. 255

²³¹ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 118

²³² vlg. Glock et al., 2022, S. 558

wie beispielsweise drohende Jobverluste, die mit der Automatisierung dieses Bereichs einhergehen, was einige Menschen befürchten.²³³

Bendel sieht in dieser Veränderung auch Chancen, „etwa indem der Betroffene den übermächtigen Brotberuf relativiert und sich an einer andersgelagerten Sinnstiftung probiert.“²³⁴ Ein weiter Aspekt ist auch, dass die Arbeitsbedingungen in der Logistik immer wieder kritisch im Fokus stehen und so die maschinelle Automatisierung der Letzten Meile größere Akzeptanz als andere Automatisierungsbereiche erfahren könnte. Glock et al. schreiben dazu: „Die zunehmende Kritik an den Arbeitsbedingungen bei etablierten Transportdienstleistern wie auch für Crowdworker im Bereich der Lebensmittelbelieferung lässt auch erwarten, dass die Zustimmung zu autonomen Alternativen steigt.“²³⁵ Ebenso würde die Flexibilität für Nutzer und die Verfügbarkeit steigen²³⁶, da die Roboter beispielsweise auch nachts operieren könnten.

Wie bereits angeklungen, kommt es auf den Bereich an, den man automatisieren möchte. So scheint Fachkräftemangel, der beispielsweise im Pflegebereich seit Jahren herrscht, die Bereitschaft zu automatisierten Lösungen zu steigern zu können, weil es keine anderen Optionen gibt.

Als letzteres in einem Projekt zweier niederbayerischer Landkreise angekündigt und den Kreisräten vorgestellt wurde, ging ein Aufschrei durch die Reihen: Entmenschlichung der Pflege durch Roboter? Dies war jedoch nie geplant und ist in einem ersten Schritt sicher auch nicht sinnvoll. Es ging um den automatisierten Transport von Laborproben und Entlastung von anderen nicht-pflegerischen Tätigkeiten, um mehr Pflegezeit am Menschen verfügbar zu machen. Die Reaktion war jedoch stereotyp: Die reale Angst, dass Digitalisierung den Menschen ersetzt. Vermutlich wird aber gerade das in der Zukunft angesichts von Fachkräftemangel als sinnvoll erachtet werden. Doch Stand heute sollte digitale Unterstützung als Hilfestellung, Beitrag zu mehr Effizienz, besserer Vernetzung und/oder höherer Qualität verstanden werden.²³⁷

Daran sieht man, dass es durchaus auf die Disziplin des Einsatzes ankommt. Interessanterweise sind es gerade Bedienstete im Gesundheits-, und Sozialbereich, die eine sehr wohlwollende Haltung haben, wenn es darum geht, Roboter in ihrem Fachbereich einzusetzen.²³⁸

²³³ vgl. Vorina et al., 2022

²³⁴ Bendel, 2021, S. 245

²³⁵ Glock et al., 2022, S. 558

²³⁶ vgl. Glock et al., 2022, S. 558

²³⁷ Ahrens, 2022, 421f

²³⁸ vgl. Savela et al., 2018

Jedoch ist es hier auch wichtig, den Unterschied zwischen autonomen und nicht-autonomen Robotern zu beachten. Eine Studie fand heraus, dass Menschen autonome Roboter deutlich bedrohlicher wahrnehmen als Roboter ohne Autonomie. Die Autoren gehen davon aus, dass Angst vor Jobverlust und Sicherheitsbedenken dafür verantwortlich sein könnte.²³⁹

Abseits der Akzeptanzaspekte, auf die im folgenden Kapitel näher einhergegangen wird, stellen Gies et al. fest, dass Unternehmen in der heutigen Zeit eine große Marktmacht haben. Sie schreiben: "Für die sich entwickelnden Ökonomien der Digitalwirtschaft ist charakteristisch, dass die Unternehmen über eine hohe Marktmacht verfügen, aber die Beschäftigten nur über eine schwache Vertretung ihrer Interessen."²⁴⁰

Öz sieht in unserer Zeit der Vernetzung und Digitalisierung einen grundlegenden Wandel der Arbeitsgestaltung. "Unter dem Strich wird unübersehbar, dass in Folge der Digitalisierung und Vernetzung in der Welt der Arbeit eine neue Arena der Arbeitsgestaltung entsteht, die von einer 'runderneuerten' „Mensch-Maschine-Interaktion“ bis hin zur Gestaltung von neuen überbetrieblichen Verbund- und Kooperationsstrukturen reicht."²⁴¹

Bei der Implementierung solcher Technologien gilt es folglich nicht nur den Interessen der Anbieter zu folgen. Leerkamp et al. schreiben dazu: "Hierbei geht es aber auch darum, die Gemeinwohlorientierung der Vehemenz der Interessendurchsetzung kommerzieller AkteurInnen entgegenzusetzen und in demokratische Diskursprozesse zu bringen."²⁴²

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Arbeitsprozesse immer weiter automatisieren, damit Chancen und nicht nur Gefahren einhergehen. Man sollte jedoch das Feld nicht einfach den kommerziellen Anbietern überlassen. Des Weiteren kommt es sehr darauf an, welchen Bereich man automatisieren möchte, da die Zustimmung von Angestellten und Nutzern je nach Bereich unterschiedlich ausgeprägt ist.

7.3 Wahrnehmung und Akzeptanz von Robotern und autonomen Fahrzeugen

Beim Thema Akzeptanz verhält es sich ähnlich wie in den anderen Bereichen. Es gilt die Akzeptanzfaktoren von Lieferrobotern herauszuarbeiten und dazu bedarf es eines Blicks auf vergleichbare Vehikel und Technologien. Denn die Branche der Lieferroboter ist noch sehr jung und hat bisher noch zu wenig Beachtung in der Literatur und der qualitativen Forschung erfahren. Wie

²³⁹ vgl. Abrams et al., 2021, S. 278

²⁴⁰ Gies et al., n.d., S. 50

²⁴¹ Öz, 2019, S. 499

²⁴² Leerkamp et al., 2021, S. 121

bereits in Kapitel 7.2 angedeutet, hängt die Akzeptanz unter anderem mit dem Einsatzbereich und dem Nutzen für Anwender und Verbraucher zusammen. So könnte der Einsatz der Lieferroboter deutlich höhere Akzeptanz in Gruppen erfahren, die einen größeren Nutzen in der Technologie sehen. Beispielsweise ist es gut möglich, dass mobilitätseingeschränkte Personen sich offener gegenüber der Lieferroboter zeigen, da sie ihnen ein unabhängiges, selbstbestimmtes Leben ermöglichen.²⁴³

Das muss aber nicht der Fall sein. Andere Studien deuten daraufhin, dass die Akzeptanz jünger Nutzern gegenüber der Lieferroboter höher ist als bei den älteren Teilnehmern der Studie.²⁴⁴ Das wiederum könnte mit dem umfangreichen Verständnis der jüngeren Zielgruppe in Bezug auf digitale Mobilitätslösungen zusammenhängen und damit, dass sie schon ab der Kindheit viel stärker als Ältere mit neuen Technologien konfrontiert sind, umgehen müssen.

Betrachtet man die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen, die ein wesentlicher Schritt in Richtung autonomes Fahren sind, dann zeigt sich, dass die Akzeptanz nur sehr schwach mit dem Alter der Probanden korreliert. Allerdings zeigte sich bei der Untersuchung, dass ältere Personen bereit sind, mehr Geld für solche sicherheitsrelevanten Systeme auszugeben. Ebenso fiel auf, dass Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft in einer starken Korrelation stehen. Des Weiteren kamen die Forscher zu dem Ergebnis, dass Geschlecht und Einkommen bei der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen keine Rolle spielen.²⁴⁵ Günthner schreibt dazu:

Die Ergebnisse sind mit Hinblick auf die Bedürfnisse der älteren Bevölkerungsgruppe nicht verwunderlich, da Fahrerassistenzsysteme nicht nur Sicherheit vermitteln, sondern es Menschen auch ermöglicht mit Einschränkungen ein Fahrzeug zu führen. Dadurch kann die Mobilität im Alter gewährleistet werden und ältere Menschen sind in der Lage ihr Leben unabhängig mit sozialer Teilhabe und körperlichen Aktivität zu führen, was schließlich zu einer erhöhten Lebensqualität führt.²⁴⁶

Ein weiterer Faktor bei der Frage, wie akzeptiert autonome Lieferroboter sind, ist die quantitative Struktur. So könnte die Anzahl der Lieferroboter in einem Stadtgebiet mit der Akzeptanz korrelieren, denn Anwohner und Passanten könnten von einer zu großen Anzahl der Roboter auf den Gehwegen abgeschreckt sein. „Somit muss bei der Schaffung von rechtlichen Rahmenbedingungen die zulässige Anzahl der Roboter innerhalb eines bestimmten Radius beachtet werden.“²⁴⁷

²⁴³ vgl. Grunwald, & Brändle, 2019, S. 282f

²⁴⁴ vgl. Abrams et al., 2021, S. 278

²⁴⁵ vgl. Günthner, 2018, S. 751f

²⁴⁶ Günthner, 2018, S. 751f

²⁴⁷ Kleinschmidt, 2017, S. 107

Marktführer Starship Technologies schreibt, dass die Roboter und ihre Begleitpersonen während der Erprobungsphase 250.000 Menschen begegnet sind und ein sehr großer Aufklärungsbedarf bei den Passanten vorherrschte.²⁴⁸ Daher scheint informative Arbeit beim Einsatz solcher neuartigen Fahrzeuge unabdingbar.

Trotz dieser Aufklärungsarbeit sehen die Forscher des LNC LogisticNetwork und das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik den Einsatz der Roboter beim Thema Akzeptanz als kritisch an. „Der autonome Einsatz in der Großstadt wird derzeit noch als weniger praktikabel angesehen, da die Gefährdung der Geräte hoch (Vandalismus) und die Akzeptanz eher gering ist, obwohl es im Projektzeitraum zu keinerlei Unfällen oder Beschwerden seitens der Bevölkerung kam.“²⁴⁹ Auch andere Wissenschaftler deuten darauf hin, dass es immer wieder zu Attacken gegenüber den Lieferrobotern kommt, obwohl darüber kein Anbieter offiziell spricht. Besonders häufig kommt es vor, wenn unbeaufsichtigte Kinder mit Robotern interagieren und ihnen den Weg blockieren, sie treten oder beschimpfen.²⁵⁰ Auch häufen sich Nachrichtenberichte über Übergriffe und Diebstähle auf Lieferroboter, ob dort allerdings ein direkter Zusammenhang zwischen Akzeptanz und Überfall besteht, ist nicht erforscht. Es könnte auch sein, dass der Roboter bloß die Hemmschwelle für solche Vergehen senkt, da kein Mensch körperlich attackiert wird.²⁵¹

Es kann sein, dass autonome Roboter als unberechenbar wahrgenommen werden und Nutzer ihnen daher eher mit Misstrauen begegnen.²⁵² Allerdings lässt sich das aufgrund der schlechten Datenlage zu dem Thema zum Erstellungszeitpunkt dieser Arbeit nicht abschließend beurteilen. Denn es gibt auch Untersuchungen, die gegen diese These sprechen. In einer Beobachtungsstudie wurde an einem Flughafen ein Reinigungsroboter eingesetzt, der von den Dimensionen und den Bewegungsabläufen einem Lieferroboter sehr ähnlich ist. Die Autoren der Studie fanden heraus, dass sich die meisten Personen, die dem Roboter begegneten, sich weiterhin sicher fühlten und keine Angst zeigten.²⁵³ Jedoch gilt es hierbei zu beachten, dass zwar die technischen Aspekte ähnlich sind, aber der Flughafen als geschützter Raum auch einen Einfluss auf die Akzeptanz haben kann. Zum jetzigen Zeitpunkt muss man jedoch ernüchternderweise feststellen, dass die Datengrundlage zum Thema Akzeptanz autonomer Lieferroboter nicht ausreicht, um die Lage eindeutig zu umreißen. Man kann jedoch konstatieren, dass die Akzeptanz eine große Bedeutung für die Anbieter solcher Fahrzeuge hat, wie das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung feststellt: „Auch

²⁴⁸ vgl. LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 426

²⁴⁹ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2020, S. 426

²⁵⁰ vgl. Babel et al., 2022, S. 1630

²⁵¹ vgl. Ramey, 2023

²⁵² vgl. Babel et al., 2022, S. 1629

²⁵³ vgl. Babel et al., 2022, S. 1644

wenn hier politisch durch weitere Forschung und Begleitung der Transformation unterstützt werden kann, ist es auch im eigenen Interesse der Unternehmen, Lösungen zu finden, welche breite gesellschaftliche Unterstützung finden, sodass in Summe Bewusstsein für die Veränderungen und Akzeptanz für die angestrebten Innovationen erreicht werden.”²⁵⁴

7.4 Aktuelle Gegebenheiten

Wie sich im vorhergegangenen Kapitel herausgestellt hat, ist die Akzeptanz ein wichtiger Baustein bei der Einführung der Lieferroboter. “Langfristig gesehen ist die Akzeptanz alternativer Transport- und Lieferkonzepte ausschlaggebend für die erfolgreiche Etablierung entsprechender Technologien.”²⁵⁵ Es gibt einige aktuelle Gegebenheiten, die diese Etablierung verhindern oder erleichtern können, auf diese gilt es in diesem Abschnitt einzugehen.

Ein Aspekt, der für die Anbieter von Vorteil sein könnte, ist das gestiegene Bewusstsein für umweltverträgliche Lösungen. “Besonders der für 20 % der deutschen Emissionen verantwortliche Transportsektor kann die Nachhaltigkeitserwartungen nicht erfüllen.”²⁵⁶ Aus dieser Tatsache könnte ein anderes Verständnis für Fahrzeuge wie Lieferroboter entstehen. So könnte die Öffentlichkeit die Roboter als sinnvoll einschätzen, was wiederum bei dem “Ausrollen” der Vehikel hilft.²⁵⁷

Aber nicht nur die Klimakrise könnte Unternehmen in der Branche bei der Umsetzung Aufwind geben. Auch andere Krisen könnten sich als eher vorteilhaft zeigen. So hat die Corona-Pandemie gezeigt, dass Technologie manche schwierigen Situationen mittels neuer Technologien gelöst oder entschärft werden können. Die Nachfrage nach Transportrobotern ist während der Pandemie explodiert, da die Fahrzeuge es Menschen ermöglichen an Waren zu gelangen, ohne dabei in Kontakt mit anderen Personen zu kommen.²⁵⁸ Daher geht auch Bendel davon aus, dass in bestimmten Bereichen wie dem Transport die Nachfrage steigen wird. Er schreibt: “Insgesamt ist zu erwarten, dass Transportroboter ebenso wie Pflegeroboter und Sicherheitsroboter sowie Desinfektionsroboter eine wichtige Rolle bei Krisen und Katastrophen spielen werden, wo Menschen eingeschränkt handlungs- und leistungsfähig sind.”²⁵⁹

Zwar sprechen diese gravierenden Krisen für den Einsatz der Fahrzeuge, aber es gibt Punkte, die geklärt werden müssen. Anbieter autonomer Fahrzeuge müssen Antworten auf das folgende, von Loh beschriebene, Dilemma finden, um Ängste abzubauen. Sie beschreibt das Dilemma wie folgt:

²⁵⁴ Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI et al., 2022, S. 7

²⁵⁵ Glock et al., 2022, S. 558

²⁵⁶ Philipp et al., 2021, S. 360

²⁵⁷ vgl. Abrams et al., 2021, S. 277

²⁵⁸ vgl. Vorina et al., 2022

²⁵⁹ Bendel, 2021, S. 245

Stellen wir uns einige Kinder vor, die unerwartet auf die Straße und direkt vor ein autonomes Auto springen. Das autonome Fahrassistentenzsystem berechnet nun, dass es nicht mehr rechtzeitig wird bremsen können (Bendel 2016a, b, 2017b; Hilgendorf 2014, 2017; Hilgendorf et al. 2015). Es könnte sowohl in den Gegenverkehr lenken als auch in die andere Richtung, in der sich hinter einem Brückengeländer ein Abhang auftut. Während das Auto im Rahmen der ersten Option (die Spur halten und bremsen) mit hoher Wahrscheinlichkeit die Kinder überfahren oder sie schwer verletzen würde, verlöre im Rahmen der zweiten und dritten Option (Gegenverkehr und Abhang) mindestens die bzw. der Fahrer*in das Leben. Szenarien dieser Art thematisieren eine Entscheidung von großer moralischer Relevanz, für die es keine eindeutige, keine korrekte Antwort bzw. Lösung gibt.²⁶⁰

Dieses Dilemma ist jedoch nur bedingt treffend, zumindest für die in dieser Arbeit beschriebene Fahrzeugkategorie, da die Roboter nur über ein geringes Gewicht und eine begrenzte Geschwindigkeit von 6 Kilometern pro Stunde verfügen. Trotzdem betonen die Anbieter ihre Sicherheitsvorkehrungen. So verfügt der Roboter von Starship über eine Diebstahlsicherung, die einen lauten Alarm auslöst, sobald es einen Vorfall gibt. Zudem lässt sich das Gerät jederzeit per GPS orten und im Störfall können die Täter mit den eingebauten Kameras bei ihrer Tat gefilmt werden.²⁶¹ Auch der Mitbewerber Cartken betont auf seiner Website, dass seine Roboter gut mit Menschen, Tieren und Objekten auf den Gehwegen klar kommen und sehr erfolgreich sind.²⁶²

Auch wenn sich die Logistikbranche langsamer als andere Branchen wandelt, so wird auch sie auf die Veränderungen unserer Zeit reagieren müssen und neue Lösungen implementieren. Aber die schiere Anzahl neuer Technologien kann auch Firmen überbeanspruchen, so schreibt Herger: "Digitale Transformation, künstliche Intelligenz, Internet der Dinge, Drohnen, selbstfahrende Autos, Blockchain, Precision Farming, Kryptowährungen, Lieferroboter, Nanorobots und viele andere Technologien läuten Änderungen im Verhalten von Menschen und Gesellschaften ein, die viele Unternehmen überfordern."²⁶³ Abschließen soll dieses Kapitel mit einer Übersicht aktueller Entwicklungen und Ansätzen in der Logistik. Die Grafik zeigt, dass sich die Lieferroboter zum aktuellen Zeitpunkt noch in der Phase des Analysierens befinden und noch ein gutes Stück von einer umfassenden Marktreife entfernt sind, wie auch die Masterarbeit aufgezeigt hat.

²⁶⁰ Loh, 2019, S. 86

²⁶¹ Stahmann, 2017, S. 15

²⁶² vgl. Cartken, 2024

²⁶³ Herger, 2019, S. 14

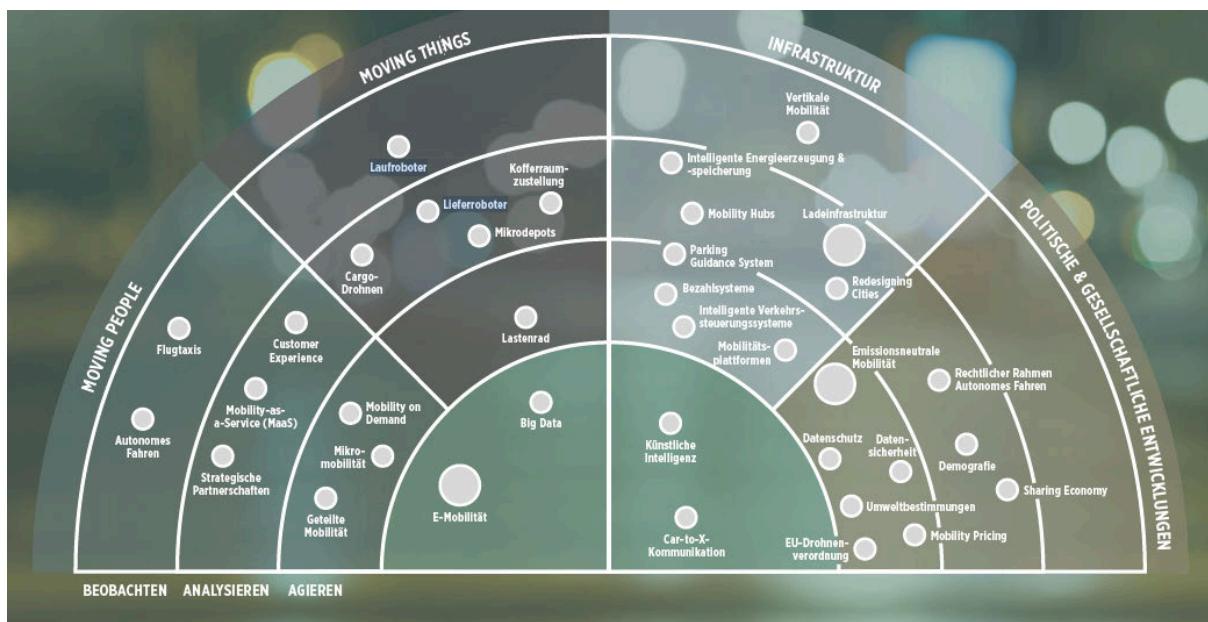


Abbildung 9: Stand und Handlungsempfehlungen der neuen Technologien auf der Letzten Meile²⁶⁴

8 Schlussbetrachtung

Der Einsatz von Lieferrobotern für autonome Zustellungen ist nicht bloß eine Frage der Machbarkeit. Vielmehr muss man die Technologie ganzheitlich betrachten. Dazu zählen neben wirtschaftlichen Faktoren und technischen Notwendigkeiten auch politische und regulatorische Entscheidungen. Schlussendlich zeigt sich aber deutlich, dass ein solches System nur dann funktioniert, wenn die Konsumenten bereit sind, die Technologie zu akzeptieren. Hierbei spielen Bildung und Erfahrung eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus liegt es aber an uns als Gesellschaft, wie wir mit Unternehmen umgehen wollen, die öffentlichen Raum für ihre wirtschaftlichen Vorteile nutzen und gleichzeitig das Potential haben, Arbeitsplätze redundant zu machen. Im folgenden Abschnitt werde ich auf die sich daraus ableitenden Handlungsempfehlungen eingehen.

8.1 Handlungsempfehlungen

“Technologischer Fortschritt ist kein Selbstläufer, sondern basiert auf politischen Entscheidungen, der privaten oder öffentlichen, finanziellen Förderung entsprechender Technikbereiche und letztendlich den Angeboten von Unternehmen auf dem Markt.”²⁶⁵ Das schreibt Seng im Handbuch der Maschinenethik. Nach der Recherche zu dieser Thesis lässt sich jedoch feststellen, dass die Etablierung von Lieferrobotern zwar multifaktoriellen Einflüssen unterliegt, aber besonders der Punkt

²⁶⁴ Handelsblatt Research Institute, 2021, S. 10f

²⁶⁵ Seng, 2019, S. 195

“Politische Entscheidungen” für die Anbieter eine große Herausforderung darstellt. In vielen Ländern sind lokal unterschiedliche Gesetze und Regeln entstanden, die eine rasche Implementierung verhindern und Unsicherheiten schüren. Aus politischer Sicht wäre es daher von Vorteil, ein einheitliches Regelwerk zu schaffen, um solche Innovationen nicht unnötig zu bremsen. Einerseits sollten Behörden und politische Entscheidungsträger für einen verlässlichen Rahmen bezüglich der Lieferroboter sorgen und andererseits dafür, dass der sowieso begrenzte Platz der Fußgänger-Infrastruktur nicht überlastet wird. Wenn letzteres geschähe, würden die Akzeptanz für die Roboter und die für die politischen Entscheider sinken. Dann müssten gegebenenfalls drastische Schritte wie in Paris gegangen werden, wo die Bevölkerung für ein Komplettverbot der E-Scooter stimmte.²⁶⁶ Aus diesem Grund sollten auch die Anbieter der Lieferroboter die Akzeptanz der Bevölkerung nicht außer Acht lassen, denn ohne diese könnte ihr Geschäftsmodell trotz Wirtschaftlichkeit scheitern.

Außerdem sollten die politischen Akteure bedenken, dass die Technologie des autonomen Fahrens auch die Mobilitätsbedürfnisse weiter steigern könnte und dadurch mögliche Umweltvorteile zunichte gemacht werden- ähnlich wie es im gesamten Verkehrssektor zu beobachten ist.²⁶⁷ “Es wäre daher naiv, einfach das Eintreten der unzweifelhaft vorhandenen Potenziale zu erwarten, schreiben Grunwald und Brändle.”²⁶⁸ Zudem hat diese Arbeit feststellen können, dass die Anbieter zwar von emissionsfreien Lieferungen sprechen, aber die tatsächlichen Einsparungen als fraglich zu betrachten sind, da zwar lokal keine Emissionen anfallen, aber Produktion, Serverleistung etc. auch Emissionen erzeugen, die sich zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht unabhängig verifizieren und bestimmen lassen. Dies sollte geschehen, um realistisch einschätzen zu können, ob Lieferroboter eine Option sind, um das EU-Ziel eines CO2-neutralen Verkehrs in europäischen Städten bis 2050 zu erreichen.²⁶⁹

8.2 Persönliches Fazit

Die durchgeführte Literaturanalyse hat gezeigt, dass Lieferroboter zwar nach und nach in der Wissenschaft betrachtet werden, es jedoch noch große Lücken in der Forschung gibt. So ist der tatsächliche Mehrwert für das Klima noch nicht erfasst. Zwar gibt es eine Studie, aus Milton Keynes in England der Lieferroboter, die von CO2 Einsparungen von 2.3% im Vergleich zu Verbrennerautos spricht.²⁷⁰ Fußgänger und Fahrradfahrer dürften jedoch noch weniger Emissionen erzeugen. Zudem scheint die Studie von Starship Technologies in Auftrag gegeben worden zu sein, daher ist ihr

²⁶⁶ vgl. Tagesschau, 2023

²⁶⁷ vgl. Umweltbundesamt, 2023

²⁶⁸ Grunwald, & Brändle, 2019, S. 292

²⁶⁹ vgl. Glock et al., 2022, S. 559

²⁷⁰ vgl. Oxford Analytica, 2023

Ergebnis ggf. nicht unabhängig. So kommt es besonders beim Klima vor, dass auch offizielle Stellen die ungeprüften Marketingaussagen und Fakten der Unternehmen ohne Überprüfung übernehmen. So spricht beispielsweise die Europäische Investitionsbank auch davon, dass Lieferroboter wie diese „weniger Schadstoffe und Emissionen“ erzeugen, ohne dies jedoch zu belegen.²⁷¹

Abseits der offenen Fragen, die es wissenschaftlich noch zu klären gibt, scheint aktuell die Phase der Entscheidung zu sein, ob Lieferroboter eine marktreife, großflächige Mobilitätslösung werden. Einige große Anbieter wie Amazon und FedEx haben bereits aufgegeben und ihre Entwicklungsprogramme eingestellt.²⁷² Andere Anbieter sind noch am Markt und erst jüngst bekam der Marktführer Starship Technologies eine neue Finanzierung über fast 90 Millionen Euro.²⁷³ Allerdings scheint sich der Fokus der Anbieter mehr und mehr auf dem US-Markt auszurichten, was auch daran liegen könnte, dass in Deutschland immer noch keine valide Gesetzesgrundlage für die autonomen Kleinstfahrzeuge geschaffen ist. Lediglich Cartken ist aktuell in Deutschland noch mit seinen Robotern in der Öffentlichkeit präsent.²⁷⁴ Ich denke die Entscheidung darüber, ob Lieferroboter in absehbarer Zeit zu unserem Alltag gehören werden, wird maßgeblich von der Akzeptanz der Menschen abhängen. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass Menschen mit Vorerfahrung mit Lieferrobotern diesen anschließend positiver gegenüber eingestellt sind.²⁷⁵ Ein weiterer Punkt ist die Wirtschaftlichkeit des Konzepts, die es noch zu beweisen gilt.

„Innerstädtische Logistik ist elementar für das Funktionieren unserer Städte. Gleichzeitig wird sie als selbstverständlich wahrgenommen. Sie rückt häufig erst dann in den Fokus, wenn sie als störend empfunden wird oder die Versorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs stockt – wie vereinzelt zu Beginn der Pandemie.“²⁷⁶ Solche unvorhersehbaren Situationen könnten die Nachfrage nach autonomen Robotern für Zustellungen weiter steigern. Allerdings sollten Anbieter nicht drauf setzen, sondern auch ohne Krisen ein tragfähiges, akzeptiertes Geschäftsmodell aufbauen. Dann besteht eine echte Chance, dass Lieferroboter kein Nischenprodukt bleiben. Schließlich befinden sich fast alle Branchen in einem ständigen Wandel. So hat die digitale- die analoge Fotografie verdrängt, das Internet Auflagen der Printmedien drastisch reduziert und Vergleichsportale das Hotelgewerbe auf den Kopf gestellt.²⁷⁷ Eine solche Entwicklung könnte auch der Logistik bevorstehen, denn es drängen eine Vielzahl neuer Fahrzeuge auf den Markt. Ob Lieferroboter die Lösung oder nur ein Puzzleteil sein werden, bleibt abzuwarten - aber Fakt ist, dass sich Zustellungen auf der letzten Wegstrecke stark wandeln werden.

²⁷¹ vgl. Fusiek, 2022

²⁷² vgl. Vincent, 2022

²⁷³ vgl. Nemitz, 2024

²⁷⁴ vgl. Groll, 2023

²⁷⁵ vgl. Othman, 2021, S. 380

²⁷⁶ Kuchenbecker et al., 2021, S. 94

²⁷⁷ vgl. von See, 2019, S. 161

Literaturverzeichnis

- Abrams, A., Dautzenberg, P., Jakobowsky, C., Ladwig, S., & Rosenthal-von der Pütten, A. (2021). Theoretical and Empirical Reflection on Technology Acceptance Models for Autonomous Delivery Robots. *Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '21)*, Association for Computing Machinery, New York, 272-280. <https://doi.org/10.1145/3434073.3444662>
- Abrar, M. M., Islam, R., & Shanto, A. H. (2019, April 11). *An Autonomous Delivery Robot to Prevent the Spread of Coronavirus in Product Delivery System*. IEEE. Retrieved März 23, 2023, from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9298108>
- Ahrens, D. (2022). In *Smart Region: Angewandte digitale Lösungen für den ländlichen Raum: Best Practices aus den Modellprojekten „Digitales Dorf Bayern“* (pp. 415-426). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-38236-0>
- Allinson, M. (2023, September 26). *Starship Technologies now offering autonomous robot delivery on 50 US college campuses*. Robotics & Automation News. Retrieved February 4, 2024, from <https://roboticsandautomationnews.com/2023/09/26/starship-technologies-now-offering-a-utonomous-robot-delivery-on-50-us-college-campuses/72392/>
- Babel, F., Kraus, J., & Baumann, M. (2022). Findings From A Qualitative Field Study with An Autonomous Robot in Public: Exploration of User Reactions and Conflicts. In *International Journal of Social Robotics 14* (pp. 1625-1655). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00894-x>
- Bendel, O. (2017). Achtung, sie kommen! *Unternehmer Zeitung*, 34-35.

- Bendel, O. (2021). *300 Keywords Soziale Robotik: Soziale Roboter aus technischer, wirtschaftlicher und ethischer Perspektive* (1. Ausgabe ed.). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-658-34833-5>
- Beuting, S. (2022, October 12). *Amazon gibt Projekt "Scout" auf - Lieferrboter: Gute Idee, schwierig umzusetzen · Dlf Nova*. Deutschlandfunk Nova. Retrieved February 4, 2024, from <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/amazon-gibt-projekt-scout-auf-lieferroboter-gute-idee-schwierig-umzusetzen>
- Brandt, J. C., Böker, B., Bullinger, A., Conrads, M., Duisberg, A., & Stahl-Rolf, S. (2018, Juni 18). *Fallstudie: Delivery Robot Hamburg für KEP- Zustellung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Retrieved March 23, 2023, from https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/delivery-robot-hamburg.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Bünte, O. (2022, October 18). Lieferroboter-Sterben: FedEx stellt Roxo ein | heise online. *Heise*.
- <https://www.heise.de/news/Lieferroboter-Sterben-FedEx-stellt-Roxo-ein-7312101.html>
- Cartken. (2024). Cartken - Autonomous Robot Deliveries. Retrieved January 17, 2024, from <https://www.cartken.com/>
- Dahlmann, F. (2023). Prototyp: Die Halb-Autonomen. *Brand Eins*.
- <https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2023/neue-werte/prototyp-die-halb-autonomen>
- Declercq, D. (2023). *delivery robot players*. LinkedIn. Retrieved Dezember 12, 2023, from https://www.linkedin.com/posts/ddeclercq_here-is-the-autonomous-delivery-robots-map-activity-7074045921814048770-Mjcr?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

- Dormehl, L. (2019, Mai 22). *How Starship Technologies Pioneered The Delivery Robot Model*. Digital Trends. Retrieved März 23, 2023, from
<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/how-starship-technologies-created-delivery-robots/>
- Elmo. (n.d.). *elmoremtote.de*. Elmo Remote. Retrieved July 23, 2023, from
<https://www.elmoremote.com/de/#start>
- Eskuchen, A. (2019, September 13). *Masterarbeit: Vergleich von Verfahren für die Generierung von Kundenstandorten zur Simulation von urbanen Versorgungskonzepten*. ITPL TU-Dortmund. Retrieved April 29, 2023, from
http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/publikationen/files/MA_2019_Eskuchen.pdf
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Kazmaier, M., Stephan, A., Plötz, P., & Moll, C. (2022, April). *Logistik 2030 - elektrisch, autonom, bot- und flugdrohnenbasiert?*
<https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/567d1c0f-882a-425b-a2ff-a32f74c657e0/content>
- Fusiek, D. A. (2022, September 9). *Robotics company revolutionises shopping and delivery*. European Investment Bank. Retrieved August 24, 2023, from
<https://www.eib.org/en/stories/robotics-starship-delivery>
- Fusiek, D. A. (2022, September 9). *Robotikunternehmen revolutioniert das Liefergeschäft*. European Investment Bank. Retrieved February 11, 2024, from
<https://www.eib.org/de/stories/robotics-starship-delivery>
- Gies, J., Wolf, U., & Stein, T. (n.d.). *Strukturwandel der Arbeit im Kontext der Agenda 2030 / Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie am Beispiel gemeinschaftlicher Mobilitätsformen und mobiler Dienste in Deutschland*. Wissenschaftsplattform Nachhaltigkeit 2030 - Deutsches

Institut für Urbanistik gGmbH. Retrieved April 30, 2023, from

<https://www.wpn2030.de/wp-content/uploads/2019/12/Studie-Zukunft-der-Arbeit.pdf>

Glock, K., Krebs, C., Hess, A., Amberg, B., Winter, M., Schönung, F., & Meyer, A. (2022). Autonome

letzte Meile im Reallabor: Konzepte, Bewertung, Erprobung. In H. Proff (Ed.), *Transforming Mobility – What Next? Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte* (pp. 541-562).

Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-36430-4>

Göpfert, I. (2018). Ein Zukunftsmodell für die Handelslogistik im Jahr 2036. In I. Göpfert (Ed.), *Logistik der Zukunft - Logistics for the Future* (8. Auflage ed., pp. 233-252). Springer Fachmedien

Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23805-6>

Groll, N. (2023, May 17). *Rewe startet autonomes Einkaufskonzept mit Lieferrobotern.* stores+shops.

Retrieved February 11, 2024, from

<https://www.stores-shops.de/technology/supply-chain/rewe-startet-autonomes-einkaufskonzept-mit-lieferrobotern/>

Grunwald,, A., & Brändle, C. (2019). *Handbuch Maschinenethik*. Springer Fachmedien Wiesbaden.

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-17483-5>

Günthner, T. (2018). Akzeptanz und Marktpotenziale von Fahrerassistenzsystemen in einer alternden

Gesellschaft. In *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen erfolgreich gestalten: Trends, Auswirkungen und Roadmap* (pp. 737-756). Springer Fachmedien Wiesbaden.

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32266-3>

Handelsblatt Research Institute. (2021, June). *The Mission Trendradar - Mobility be urban!, 5.*

https://issuu.com/handelsblattresearchinstitute/docs/trendradar_mobility_es

Heinbach, C., Gösling, H., Meier, P., & Thomas, O. (2022). Smart Managed Freight Fleet: Ein

automatisiertes und vernetztes Flottenmanagement in einem föderierten Datenökosystem.

In *HMD* (pp. 193-213). Springer. <https://doi.org/10.1365/s40702-022-00887-4>

- Herger, M. (2019). *Foresight MindsetTM: Die Kunst und Wissenschaft, seine Zukunft zu designen* (M. Herger, Ed.). Vahlen.
- Hochbahn. (2022, November 24). *Mikrodepot 2.0 - Pilotprojekt erfolgreich in Regelbetrieb überführt*. Hamburger Hochbahn AG. Retrieved August 24, 2023, from
<https://www.hochbahn.de/de/presse/pressemitteilungen/mikrodepot-2-0-pilotprojekt-erfolgreich-in-regelbetrieb-ueberfuehrt-38864>
- Hoffmann, T., & Pause, G. (2018, August 01). *On the Regulatory Framework for Last-Mile Delivery Robots*. MDPI. Retrieved April 29, 2023, from <https://www.mdpi.com/2075-1702/6/3/33>
- Jennings, D., & Figliozzi, M. (2019). *A Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel*. PDXScholar. Retrieved March 23, 2023, from
https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1489&context=cengin_fac
- Kaspersky. (2022). *The future of jobs* [A study on the consequences of automation and increased use of robots]. Retrieved June 20, 2023, from
<https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/100/2022/11/23134243/The-future-of-jobs.pdf>
- Kleinschmidt, A. (2017, Oktober 02). *Optimierungspotentiale in der urbanen Logistik - Masterarbeit*. Institut für Wirtschaftsinformatik. Retrieved April 30, 2023, from
https://www.iwi.uni-hannover.de/fileadmin/iwi/Abschlussarbeiten/sK_MA_Kleinschmidt.pdf
- Kuchenbecker, M., Manner-Romberg, H., & Zimmermann, J. (2021, Oktober). REALLABOR STADT. *LOGISTIK AUF DER LETZTEN MEILE, 1. Auflage*, 1-110.
<https://logistik-heute.de/news/letzte-meile-die-stadt-als-reallabor-fuer-die-logistik-35008.html>

Kummert, P. D.-I. A., Meisen, P. D.-I. T., Krause, D. M., Michalik, D., & Per Kohl. (2021).

Synergiepotenziale von Virtual City Twins im Bereich automatisiertes Fahren –
Beschleunigung der technischen Entwicklung und Überwindung von Akzeptanzbarrieren. In
H. Proff (Ed.), *Making Connected Mobility Work: Technische und betriebswirtschaftliche
Aspekte* (pp. 113-134). Springer Fachmedien Wiesbaden.

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32266-3>

Kureljustic, M., Karger, E., & Ahlemann, P. D. F. (2018). Manipulierbare KI – Ein unüberwindbares
Hindernis für die Sicherheit autonomer Fahrzeuge? In *Digitale Transformation von
Geschäftsmodellen erfolgreich gestalten: Trends, Auswirkungen und Roadmap* (pp. 457-472).
Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20215-6>

Leerkamp, B., Soteropoulos, A., & Berger, M. (2021). Zustellroboter als Lösung für die letzte Meile in
der Stadt? In *AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität*
(pp. 108-130). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63354-0_7

LNC LogisticNetwork Consultants GmbH & Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML.
(2020, December 31). *Untersuchung: Veränderung des gewerblichen Lieferverkehrs und
dessen Auswirkungen auf die städtische Logistik*. Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS).

Retrieved May 29, 2023, from

https://fops.de/wp-content/uploads/2020/12/70-906_Abschlussbericht.pdf

Loh, J. (2019). Maschinenethik und Roboterethik. In O. Bendel (Ed.), *Handbuch Maschinenethik* (pp.
76-115). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-17483-5>
Mann, A. (2023, December 28). *The little robots that could: At Morgan State, Kiwibots deliver food to
students and faculty*. Baltimore Sun. Retrieved February 4, 2024, from
<https://www.baltimoresun.com/2023/12/28/morgan-state-robot-food-delivery-service/>

- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Beltz.
- Mayring, P. (2023, March 17). *Qualitative Inhaltsanalyse*. ResearchGate. Retrieved June 22, 2023, from https://www.researchgate.net/publication/200086026_Qualitative_Inhaltsanalyse
- McCain Foodservice Solutions. (n.d.). *Die Lieferung der Zukunft* [Trends, Insights, Technologie].
- Meinel, G. (Ed.). (2019). *Flächenmanagement - Bodenversiegelung - Stadtgrün* (Vol. 77). Rhombos-Verlag.
- Nemitz, M. (2024, February 6). *Starship Technologies mit 90 Millionen US-Dollar Finanzierungsrounde*. Startbase. Retrieved February 11, 2024, from <https://www.startbase.de/news/starship-technologies-mit-90-millionen-us-dollar-finanzierungsrounde/>
- Ninnemann, J., Hölter, A.-K., Beecken, W., Thyssen, R., & Tesch, T. (2017, Mai 30). *Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelllogistik*. HSBA Hamburg School of Business Administration. Retrieved March 23, 2023, from https://www.hsba.de/fileadmin/user_upload/bereiche/forschung/Forschungsprojekte/Abschlussbericht_Last_Mile_Logistics.pdf
- NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. (2019, März). *WEGE ZUR ERREICHUNG DER KLIMAZIELE 2030 IM VERKEHRSSEKTOR*. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. Retrieved April 30, 2023, from <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-1-Weg-e-zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf>
- Olschimke, J. (n.d.). *Die Packstation (Einführung)*. Moderne Postgeschichte. Retrieved August 24, 2023, from <http://jolschimke.de/paketpost/die-packstation-einfuehrung.html>

- Othman, K. (2021). Public acceptance and perception of autonomous vehicles: a comprehensive review. In *AI Ethics* (pp. 355-387). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/s43681-021-00041-8>
- Oxford Analytica. (2023, May 24). Impact assessment of PDDs. *Starship Technologies*.
<https://www.starship.xyz/wp-content/uploads/2023/07/2023-05-Starship-Technologies.pdf>
- Öz, F. (2019, Februar 11). *Forschung Aktuell 02/2019*. Institut Arbeit und Technik. Retrieved März 23, 2023, from <https://www.iat.eu/forschung-aktuell/2019/fa2019-02.pdf>
- Pflaum, P. D. A., Schwemmer, M., Gundfinger, C., & Naumann, V. (2017). *Transportlogistik 4.0*. Fraunhofer Verlag.
<https://www.scs.fraunhofer.de/de/publikationen/studien/transportlogistik40.html>
- Philipp, M., Adelt, F., & Weyer, P. D. J. (2021). Mikromobilität und Mobility-as-a-Service – Eine Simulation möglicher Beiträge zur Mobilitätswende. In H. Proff (Ed.), *Making Connected Mobility Work: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte* (pp. 359-379). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20215-6>
- Preuß, S. (2021, October 21). *DHL baut Packstationen weiter aus: 15.000 bis 2023*. Deutsche Post DHL Group. Retrieved August 24, 2023, from
<https://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2021/dhl-baut-packstationen-weiter-aus-15000-bis-2023.html>
- Ramey, J. (2023, August 17). *Robbing Delivery Robots Is Now a Thing*. Autoweek. Retrieved January 7, 2024, from <https://www.autoweek.com/news/a44839987/delivery-robots-being-robbed/>
- Roethel, S. (2017, November 9). Frag-den-Staat. Retrieved January 17, 2024, from
https://media.frag-den-staat.de/files/foi/106844/Ausnahmegenehmigung_2017_12_22.pdf

- Rohleder, B. (2017, März 28). *Digitalisierung der Logistik*. Bitkom. Retrieved März 23, 2023, from <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Charts-Digitalisierung-der-Logistik-28-03-2017-final.pdf>
- Romanjuk, M. (2020). *Delivery robots serving last mile B2C: an evaluation of Tallinn residents' incentives behind the usage of delivery robots in 202*. Taltech. Retrieved March 23, 2023, from <https://digikogu.taltech.ee/en/Download/e7bcf260-32fa-4879-a343-d130c94202f2>
- Rosenberger, T. (2021, Januar). Das neue Normal. *DEKRA Solutions*, 1/2021, 28-33. https://www.dekra-solutions.com/wp-content/uploads/2021/01/DEKRA-Solutions_2021_01_DE.pdf
- Savela, N., Turja, T., & Oksanen, A. (2018). Social Acceptance of Robots in Different Occupational Fields: A Systematic Literature Review. In *International Journal of Social Robotics (2018)* (pp. 493-502). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0452-5>
- Schallmo, D. R. A. (2018). Technologische Trends - Autonome Systeme. In *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen erfolgreich gestalten: Trends, Auswirkungen und Roadmap*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20215-6>
- Seng, L. (2019). Maschinenethik und Künstliche Intelligenz. In O. Bendel (Ed.), *Handbuch Maschinenethik* (pp. 185-205). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-17483-5>
- Serbser, W., Levin-Keitel, M., Prytula, M., Waschke, T., Zebuhr, Y., & Hoffmann, K. M. (2023, Januar 16). *Wechselwirkung digitaler Mobilität mit Raum- und Sozialstrukturen*. Über DiDaT. Retrieved March 22, 2023, from https://didat.eu/files/pdf/vernehm/WBK01/SI_1_3_Mobilitaet_und_Raum.pdf

Simmler, M. (2019). Maschinenethik und strafrechtliche Verantwortlichkeit. In O. Bendel (Ed.), *Handbuch Maschinenethik* (pp. 454-469). Springer Fachmedien Wiesbaden.

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-17483-5>

Stahmann, R. (2017). *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Logistikmanagement*. Media SuUB Bremen.

Retrieved March 21, 2023, from

<https://media.suub.uni-bremen.de/bitstream/elib/3355/1/00106119-1.pdf>

Starship Technologies. (2023). *About Starship: The global leader in autonomous delivery*. Starship

Technologies. Retrieved December 6, 2023, from <https://www.starship.xyz/company/>

Starship Technologies GmbH. (n.d.). *Autonomous Robots for Industry 4.0*. Starship Deliveries.

Retrieved August 27, 2023, from <https://starshipdeliveries.com/industry/>

Sutter, A., Gilgen, B., & Mustapha, Z. (2018, 01 31). *Versandroboter*. Ostschweizer Fachhochschule.

Retrieved März 23, 2023, from

https://eprints.ost.ch/id/eprint/653/1/HCID-MT17-G07-SutterMustaphaGilgen_Versandrobo ter.pdf

Tagesschau. (2023, April 3). *Pariser stimmen für Verbot von E-Scooter-Verleih*. Tagesschau. Retrieved

February 6, 2024, from

<https://www.tagesschau.de/ausland/europa/paris-e-scooter-verbot-101.html>

Umweltbundesamt. (2023, April 28). *Emissionen des Verkehrs*. Umweltbundesamt. Retrieved

February 6, 2024, from

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#verkehr-belastet-luft-und-klima-minderungsziele-der-bundesregierung>

Vaillant. (n.d.). *Nachhaltigen Lieferung: Roboter im Einsatz / 21 grad*. Vaillant. Retrieved January 17, 2024, from

<https://www.vaillant.de/21-grad/technik-und-trends/wenn-der-roboter-an-der-haustuere-klingelt-de-r-weg-zur-nachhaltigen-lieferung-teil-2/>

VDI/VDE Innovation & Technik GmbH, Berlin. (2021, Dezember 20.). *Potentiale Automatisierter Verkehrssysteme – PAVE Endbericht*. Potentiale Automatisierter Verkehrssysteme – PAVE Endbericht. Retrieved June 20, 2023, from
<https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2021/21-30/KrachtEtAl2021PAVE.pdf>

Vincent, J. (2022, October 18). *FedEx is shutting down its robot delivery program*. The Verge. Retrieved February 11, 2024, from
<https://www.theverge.com/2022/10/18/23410419/fedex-shuts-down-last-mile-delivery-robot-roxo-deka>

von Bodungen, B. (2022, November 8). *AFGBV in Kraft – Verordnung komplettiert Gesetz zum autonomen Fahren*. Bird & Bird. Retrieved July 27, 2023, from
<https://www.twobirds.com/de/insights/2022/germany/afgbv-in-kraft-verordnung-komplettiert-gesetz-zum-autonomen-fahren>

von See, B. (2019). *Ein Handlungsrahmen für die digitale Transformation in Wertschöpfungsnetzwerken* [Dissertation]. TUHH. Retrieved März 23, 2023, from
https://tore.tuhh.de/bitstream/11420/3831/1/Dissertation_BvonSee.pdf

Vorina, A., Ojsteršek, T., & Pušnik, D. (2022, Februar 31). *AUTONOMOUS DELIVERY ROBOTS AND THEIR CONTRIBUTION DURING THE PANDEMIC*. uklo.edu.mk. Retrieved March 9, 2023, from
<https://uklo.edu.mk/wp-content/uploads/2022/12/6.-1.pdf>

Wille, C., Ruppe, S., Wesemeyer, D., & Neuner, H. (2019). Autonome Kleinst fahrzeuge integrieren. 2Internationales Verkehrswesen LOGISTIK Wissenschaft, (71) 2, 42-45. Retrieved 03 08, 2023, from https://elib.dlr.de/127431/1/42-45_l_wiss%20wille_IV201902.pdf

Wimmer, T., & Grotemeier, C. (2018). *Digitales trifft Reales Digitalization meets Reality Kongressband*. DVV Media Group.

https://www.bvl.de/files/1951/2130/2590/Kongressband_Deutscher_Logistik-Kongress_2018.pdf

Zimmermann, T., Hauschke, F., Memelink, R., Ökopoll GmbH Hamburg, Reitz, A., GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH Mainz, Pelke, N., ISIconsult Berlin, Eberle, U., & Ninnemann, J. (2020, December 1). *Die Ökologisierung des Onlinehandels*.

Umweltbundesamt. Retrieved April 30, 2023, from

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-oekologisierung-des-onlinehandels>

Zöllner, P. D.-I. R., Bernecker, P. D. T., & Kocsis, M. (2021). Autonome Quartierszustellung im Spannungsfeld zwischen Fahrzeugtechnik und Logistik. In H. Proff (Ed.), *Making Connected Mobility Work: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte* (pp. 603-620). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32266-3>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschiedene Fahrzeugtypen	Leerkamp, B., Soteropoulos, A., & Berger, M. (2021). Zustellroboter als Lösung für die letzte Meile in der Stadt? In <i>AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität</i> (pp. 108-130). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63354-0_7	10
Abbildung 2: Unterschiedliche Regularien USA	Jennings, D., & Figliozzi, M. (2019). A Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel. PDXScholar. Retrieved March 23, 2023, from https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1489&context=cengin_fac	18
Abbildung 3: Unterschiedliche Lieferfahrzeuge für die Letzte Meile mit Wertung	Ninnemann, J., Hölder, A.-K., Beecken, W., Thyssen, R., & Tesch, T. (2017, Mai 30). Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelllogistik. HSBA Hamburg School of Business Administration. Retrieved March 23, 2023, from https://www.hsba.de/fileadmin/user_upload/bereiche/forschung/Forschungsprojekte/Abschlussbericht_Last_Mile_Logistics.pdf	21
Abbildung 4: Alternative Zustellfahrzeuge als Übersicht	Göpfert, I. (2018). Ein Zukunftsmodell für die Handelslogistik im Jahr 2036. In I. Göpfert (Ed.), Logistik der Zukunft - Logistics for the Future (8. Auflage ed., pp. 233-252). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23805-6	23
Abbildung 5: Anforderungen und Eigenschaften von Lieferrobotern	Wimmer, T., & Grotemeier, C. (2018). Digitales trifft Reales Digitalization meets Reality Kongressband. DVV Media Group. https://www.bvl.de/files/1951/2130/2590/Kongressband_Deutscher_Logistik-Kongress_2018.pdf	26
Abbildung 6: Anbieter von autonomen Lieferrobotern mit Status	Declercq, D. (2023). delivery robot players. LinkedIn. Retrieved Dezember 12, 2023, from https://www.linkedin.com/posts/ddeclercq_here-is-the-autonomous-delivery-robots-map-activity-7074045921814048770-Mjcr?utm_source=share&utm_medium=member_desktop	28
Abbildung 7:	Heinbach, C., Gösling, H., Meier, P., & Thomas, O. (2022). Smart	29

Drohnen und Roboter als Zustellmethode	Managed Freight Fleet: Ein automatisiertes und vernetztes Flottenmanagement in einem föderierten Datenökosystem. In HMD (pp. 193-213). Springer. https://doi.org/10.1365/s40702-022-00887-4	
Abbildung 8: Schätzung des Potentials unterschiedlicher Technologien auf der Letzten Meile	Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Kazmaier, M., Stephan, A., Plötz, P., & Moll, C. (2022, April). Logistik 2030 - elektrisch, autonom, bot- und flugdrohnenbasiert? https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/567d1c0f-882a-425b-a2ff-a32f74c657e0/content	40
Abbildung 9: Stand und Handlungsempfehlungen der neuen Technologien auf der Letzten Meile	Handelsblatt Research Institute. (2021, June). The Mission Trendradar - Mobility be urban!, 5. https://issuu.com/handelsblattr esearchinstitute/docs/trendradar_mobility_es	56

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich Jan Werum, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den _____

