
Einsatzpotenziale von Transportrobotern in der urbanen Logistik aus Anwendungsperspektive

David Grunow, Sandra Tjaden, Lukas Weber, Julia Wolf

Abstract

Automatisierte Roboter werden als eine potenzielle technologische Transportlösung in der urbanen Logistik gesehen. In diesem Artikel erfolgt eine explorative Analyse praktischer Einsatzpotenziale von Transportrobotern aus Sicht möglicher AnwenderInnen mithilfe von Leitfadeninterviews. Die Interviews zeigen, dass die Fachkundigen ein breit gefächertes Bild von Einsatzmöglichkeiten sehen, welche jedoch unterschiedlichen Anforderungen unterliegen. Der Artikel leistet einen Beitrag zur Implementierungsphase von Transportrobotern.

Schlagwörter / Keywords:

Transportroboter, Urbane Logistik, Einsatzpotenziale, Anwendungsperspektive, Automatisierung

1. Einleitung

Der Trend zur Urbanisierung, das steigende Senkungsaufkommen, Personalmangel und Bestrebungen zum Umwelt- und Klimaschutz stellen die urbane Logistik auf der letzten Meile aktuell vor große Herausforderungen. Innovationen und neue Ansätze wie Vernetzung, Digitalisierung, alternative Antriebe und geteilte Mobilitätsdienste sollen hier Abhilfe schaffen (vgl. Zukunftsinstitut GmbH 2021). Eine technologische Lösung wird in automatisierten, elektrifizierten Belieferungsformen gesehen (vgl. Clausen et al. 2016: 44; Sonneberg et al. 2019: 1540 f.).

Da automatisierte Transportroboter bisher fast ausschließlich in Testbetrieben mit vordefinierten Anwendungsfällen eingesetzt wurden, liegt der Fokus dieses Artikels auf der explorativen Analyse von praktischen Einsatzpotenzialen aus Sicht verschiedener möglicher AnwenderInnen, die mittels Leitfadeninterviews befragt wurden. Im Mittelpunkt stehen dabei die folgenden Fragen:

- a) Welche Einsatzfelder werden für automatisierte Transportroboter in der urbanen B2B- und B2C-Logistik als realistisch eingeschätzt?
- b) Welche Anforderungen für den Einsatz von Transportrobotern in der urbanen B2B- und B2C-Logistik müssen erfüllt werden?

Nach einer Darstellung des State-of-the-Art zum praktischen Einsatz von Transportrobotern im urbanen Raum und der im Folgenden adressierten Forschungslücke wird in die angewandte Methodik eingeführt. Anschließend erfolgt die synergetische Darstellung der Ergebnisse. Der Artikel schließt mit einem Fazit.

2. State-of-the-Art: Automatisierte Transportroboter

Der Einsatz von automatisierten Transportrobotern im urbanen Raum bzw. im B2C- und B2B-Bereich geht derzeit selten über Pilotprojekte hinaus (vgl. Sonneberg et al. 2019: 1540). Zu den relevanten herstellenden Unternehmen zählen Starship Technologies, Dispatch und Marble. Starship Technologies führte beispielsweise bereits Tests und Pilotprojekte zur Auslieferung von Fertiggerichten, E-Grocery oder Medikamenten sowie Kurier-, Express-, Paket-Dienstleistung (KEP) durch (vgl. Sonneberg et al. 2019: 1540 f.; Fraunhofer IML und LNC 2020: 27). Aufgrund der Entwicklung hin zu kleineren Warenströmen wird davon ausgegangen, dass Transportroboter zukünftig 80 bis 95 % aller Paketsendungen transportieren können (vgl. Clausen et al. 2016: 44; Sonneberg et al. 2019: 1540 f.). Transportroboter verkehren derzeit mit einer Geschwindigkeit von 6 km/h auf Fußwegen und meiden Straßen (vgl. Boysen et al. 2020: 28). Das Transportgut wird in integrierten Fächern befördert, welche während des Transports verschlossen sind

und am Zielort individuell entriegelt werden können, so dass jede empfangende Person nur Zugang zu der für sie bestimmten Sendung hat. Aktuell können Transportroboter über bis zu vier solcher Fächer verfügen und somit bis zu vier verschiedene KundInnen pro Tour beliefern (vgl. Sonneberg et al. 2019: 1540). Insgesamt ist eine maximale Zuladung von 15 kg möglich (vgl. Boysen et al. 2020: 28; STARSHIP 2021). Während der Fortbewegung können die Transportroboter in der Regel unterschiedlichen Hindernissen automatisch ausweichen. Findet ein Transportroboter selbstständig keinen Ausweg, kann er aus der Ferne manuell gesteuert werden (vgl. Sonneberg et al. 2019: 1540).

Auch in der Literatur wird sich intensiv mit dem Einsatz von automatisierten Transportrobotern im urbanen Raum auseinandergesetzt. Dabei werden verschiedene Perspektiven eingenommen. So werden u.a. technische Herausforderungen und mathematische Ansätze zur Optimierung von Transportabläufen untersucht (vgl. Boysen et al. 2020: 27 ff.). Außerdem werden Modellsimulationen zur Abschätzung der Effekte auf Energieverbrauch, Emissionen oder Service Level durchgeführt (vgl. Poeting et al. 2019a; Poeting et al. 2019b; Figliozzi und Jennings 2020). Ebenso findet der rechtliche Rahmen für automatisierte Transportroboter Beachtung (vgl. Jennings und Figliozzi 2019). Auch die unterschiedlichen Anforderungen an den Einsatz von Transportrobotern in einem kombinierten Personen- und Warentransport werden in der bestehenden Literatur genannt (vgl. Thiel et al. 2021). Obwohl die Perspektive der AnwenderInnen von grundlegender Bedeutung für die Technologie- bzw. Produktentwicklung ist und dieser auf Basis von Anforderungen eine Orientierung geben kann (vgl. Bender und Gericke 2021: 178 ff.), wird sie in der bestehenden Literatur zu Transportrobotern zumeist vernachlässigt. Durch die Beantwortung der einleitend gestellten Forschungsfragen wird im Folgenden ein Beitrag zum Schließen dieser Forschungslücke geleistet.

3. Methodik

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurden im Frühjahr und Sommer des Jahres 2021 im Rahmen des Projekts TaBuLa-LOG „Kombinierter Personen- und Warentransport in automatisierten Shuttles“ Interviews mit Fachkundigen durchgeführt. Die Durchführung der Interviews erfolgte in Form von Videokonferenzen und dauerte jeweils 30 bis 60 Minuten.

Der eingesetzte halbstandardisierte Interviewleitfaden wurde deduktiv aus den Forschungsfragen abgeleitet und umfasst 11 offene Fragen. Das Interview bestand aus drei Teilen und begann mit einer kurzen

Einführung und einer Vorstellungsrunde (Teil 1). Nach allgemeinen Einstiegsfragen zu den gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen in der Logistik (Teil 2) wurden die Befragten mittels einer Präsentation über die aktuelle technische Funktionsweise von Transportrobotern aufgeklärt, ohne dabei spezifisch auf Einsatzformen einzugehen. So wurde sichergestellt, dass die Personen die anschließenden Fragen zu den potenziellen Einsatzmöglichkeiten sowie den Anforderungen fundiert und dennoch unvoreingenommen beantworten konnten (Teil 3). Das Interview endete mit einer Danksagung. In diesem Artikel werden die Ergebnisse des dritten Interviewteils präsentiert, welcher sich schwerpunktmäßig mit den Transportrobotern beschäftigte. Alle vier Einzelfragen dieses Teils ermöglichten offene Antworten. Die gewählte Methodik stellte so das Sammeln von vertiefenden qualitativen Kenntnissen sicher, ohne den Fokus zu verlieren (vgl. Kruse 2015).

Die Auswahl der Fachkundigen erfolgte entlang typischer Organisationen, die neben den KonsumentInnen die Lieferketten im urbanen Raum prägen. Im Ergebnis liegen Interviews mit neun Personen vor. Zwei Personen sind aus Speditions- bzw. Logistikdienstleistungsunternehmen, zwei Personen sind aus KEP-Unternehmen, drei Personen sind aus Handels- bzw. Dienstleistungsunternehmen und zwei Personen arbeiten im institutionellen Bereich für Kommunen bzw. Wirtschaftsverbände.

Die Interviews wurden aufgezeichnet und im Nachhinein transkribiert. Die Auswertung erfolgte mittels der Software „MAXQDA“. Hierbei wurden die gewonnenen Informationen entsprechend der Forschungsfragen strukturiert und die Ergebnisse graphisch aufbereitet.

4. Potenzielle Einsatzfelder für Transportroboter

Die Abbildung 1 stellt potenzielle Einsatzfelder von Transportrobotern in der urbanen B2B- und B2C-Logistik zusammengefasst dar. Die Verbindungspfeile zeigen, welche Gruppe das jeweilige Einsatzfeld im Rahmen der Interviews genannt hat.

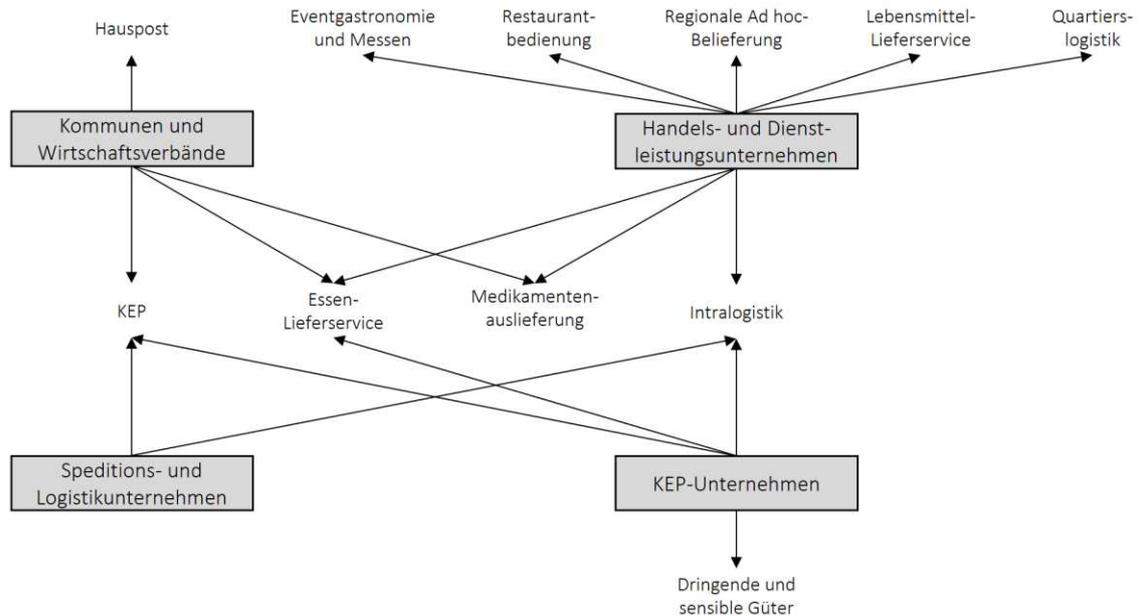


Abbildung 1: Potenzielle Einsatzfelder für Transportroboter, eigene Darstellung

Mindestens drei Fachkundige nennen KEP-Sendungen, Essenslieferungen und die Intralogistik als Einsatzfeld für Transportroboter. KEP-Sendungen werden von Speditions- und Logistikunternehmen, Kommunen und Wirtschaftsverbänden sowie KEP-Unternehmen angeführt. Als mögliche Ausgestaltungsformen der KEP-Sendungen werden kompatible Strecken für die Belieferung von Haushalten oder auch die Kombination der Transportroboter mit Mikrohubbs sowie stationären Boxen zur Anlieferung von Paketen gesehen. Essenslieferungen an der Haustür durch Transportroboter schätzten die Interviewten von Kommunen und Wirtschaftsverbänden, Handels- und Dienstleistungsunternehmen sowie der KEP-Unternehmen als realistisch ein. Dabei sollen die Roboter als Ersatz für den Transport per Pkw und Kleintransporter dienen.

Obwohl die räumliche Betrachtungsgrenze auf dem urbanen, öffentlichen Straßenraum liegt, wird von Handels- und Dienstleistungsunternehmen, KEP-Unternehmen sowie Speditionen und Logistikunternehmen auch der Einsatz von Transportrobotern in der Intralogistik während der Interviews angesprochen. Begründet wird dies über die im Vergleich zum Einsatz im öffentlichen Straßenraum einfachere Umsetzung. Als potenzielle Einsatzfelder werden die Versorgung der Fließbandproduktion mit Kleinteilen aus dem Lager sowie die Versorgung von Großküchen mit fehlenden Zutaten genannt. Des Weiteren wurde auch die Restaurantbedienung von den Interviewten der Handels- und Dienstleistungsunternehmen angesprochen. Dabei fungiert ein Transportroboter als Servicekraft, wenn keine persönliche Betreuung erforderlich ist.

Von zwei Befragten, den Kommunen und Wirtschaftsverbänden sowie Handels- und Dienstleistungsunternehmen, wird zudem die Medikamentenauslieferung als ein mögliches Einsatzgebiet gesehen. Die kontaktlose Übergabe von Medikamenten und der Ersatz der herkömmlichen Belieferung mit dem Pkw werden als potenzielle Vorteile identifiziert.

Eine weitere Möglichkeit sehen die Kommunen und Wirtschaftsverbände in dem Transport von Hauspost mithilfe des Transportroboters. Insbesondere in großen Unternehmen müssen oft weite Entfernungen innerhalb oder zwischen den Gebäuden bzw. zwischen verschiedenen Standorten von Unternehmen oder Verwaltung zur Verteilung der Hauspost zurückgelegt werden.

Die Handels- und Dienstleistungsunternehmen nannten als weiteres Einsatzfeld darüber hinaus die Quartierslogistik. Als Praxisbeispiel wurden Restaurants, Hotels, Büroflächen und Wohnstandorte in einem Umkreis von 100 Metern als Liefer- bzw. Abholorte genannt. Auch für den Lieferservice aus einer Großküche zu Wohnstandorten oder Bürogebäuden ist der Einsatz von Transportrobotern denkbar.

Neben den genannten Einsatzfeldern wurde auch die regionale Ad hoc-Belieferung erwähnt, bei der die Transportroboter eingesetzt werden könnten, um fehlende Güter, beispielsweise in einer Großküche, vom ortsansässigen Einzelhandel abzuholen und somit Engpässe zu vermeiden. Darüber hinaus könnten Transportroboter auch als Lebensmittel-Lieferservices sowie in der Eventgastronomie oder auf Messen eingesetzt werden, um den BesucherInnen ein neues Serviceerlebnis zu bieten.

Die Fachkundigen der KEP-Unternehmen sehen darüber hinaus den Einsatz von Transportrobotern für dringende und sensible Güter aufgrund monetärer Vorteile als weitere Möglichkeit.

5. Anforderungen für den Einsatz von Transportrobotern

Zur Implementierung eines realen Betriebs in den zuvor aufgeführten Einsatzfeldern wurden vielfältige Anforderungen an Transportroboter durch die Befragten formuliert. In der Abbildung 2 sind die genannten 17 Anforderungen entlang thematischer Schwerpunkte mit Hilfe einer Mindmap strukturiert.

In den Interviews wurde die Forderung nach einem gesetzlichen Rahmen deutlich. Diese wurde von Befragten aus Speditions- und Logistikunternehmen sowie aus Handels- und Dienstleistungsunternehmen formuliert. Es wurden ethische Fragen zur Abwägung in Unfallsituationen angesprochen, die es bei der Gesetzgebung zu diskutieren gilt, wobei durch Transportroboter ein geringeres Schadensausmaß im Falle eines Unfalls erwartet wird als bei Unfällen mit autonomen Pkw bzw. Lieferfahrzeugen. Explizit wurden die Aspekte „Safety and Security“ sowie die Haftung im Schadensfall thematisiert.

Als eine weitere rahmengebende Anforderung wurde die Infrastruktur von Speditions- und Logistikunternehmen sowie Kommunen und Wirtschaftsverbänden angesprochen. Hierbei ging es den Befragten vorwiegend um die Verfügbarkeit einer Infrastruktur, die den Einsatz von Transportrobotern ermöglicht. Insbesondere wurde der Aspekt der Vernetzung mit der vorhandenen Infrastruktur und anderen VerkehrsteilnehmerInnen, welche durch V2X-Kommunikation erreicht werden kann, als Anforderung identifiziert. Als spezielles Beispiel wurde die Vernetzung mit dem Ampelsystem angeführt.

Darüber hinaus wurde die Anforderung nach Standardisierung und Normierung deutlich gemacht. Diese wurde vorwiegend durch Befragte der KEP-Unternehmen formuliert, doch auch Handels- und

Dienstleistungsunternehmen sehen dort eine Notwendigkeit. Einen Aspekt stellt hierbei die standardisierte Übergabe dar. Um eine Haustürbelieferung bei der Paketzustellung an Kunden zu ermöglichen, müssen Prozesse, Fahrzeuge und Immobilien so gestaltet werden, dass der Transportroboter Zugang zum Gebäude erlangt und Stufen, Bordsteine sowie Treppen überwinden kann. Andernfalls stellt dies eine Abwertung des Service dar. Da dies jedoch sehr schwierig umzusetzen ist, wird vorgeschlagen, alternativ ein Netzwerk aus smarten Paket-Schließfachanlagen aufzubauen, um eine Paketauslieferung mit dem Transportroboter zu realisieren. Auch Briefkästen sind heute nicht standardisiert und teilweise schwer zugänglich. Als optimaler Zustand für den Einsatz von Transportrobotern wird ein einheitliches Briefkastensystem beschrieben. Die Briefkästen müssten elektronisch mit einem RFID-Chip zu öffnen und zu verschließen sowie von der Straße aus zugänglich sein. Eine standardisierte Zustellung direkt an die empfangende Person ist nur möglich, wenn diese erreichbar für den Transportroboter ist. Zusätzlich dazu wird gefordert, dass die Laderäume der Transportroboter kompatibel mit den normierten Paketgrößen des E-Commerce sind. In den Interviews wird deutlich, dass die genannten Standards zeitnah umgesetzt werden müssen, um die Logistikprozesse anzupassen und eine Belieferung mithilfe von Transportrobotern zu realisieren.

Um den Einsatz von Transportrobotern für Unternehmen attraktiv zu machen, werden in den Interviews mit Personen aus Speditions- und Logistikunternehmen, Kommunen und Wirtschaftsverbänden sowie KEP-Unternehmen Anforderungen gestellt, die sich auf die Kosten beziehen. Grundlegend ist hierbei die Investitionsbereitschaft und Finanzstärke der Unternehmen eine wichtige Voraussetzung.

Insbesondere in den frühen Phasen der Implementierung in den betrieblichen Ablauf bedarf es hoher Investitionen mit dem Risiko, dass die Technologie sich nicht durchsetzt. In den Interviews wird ange-

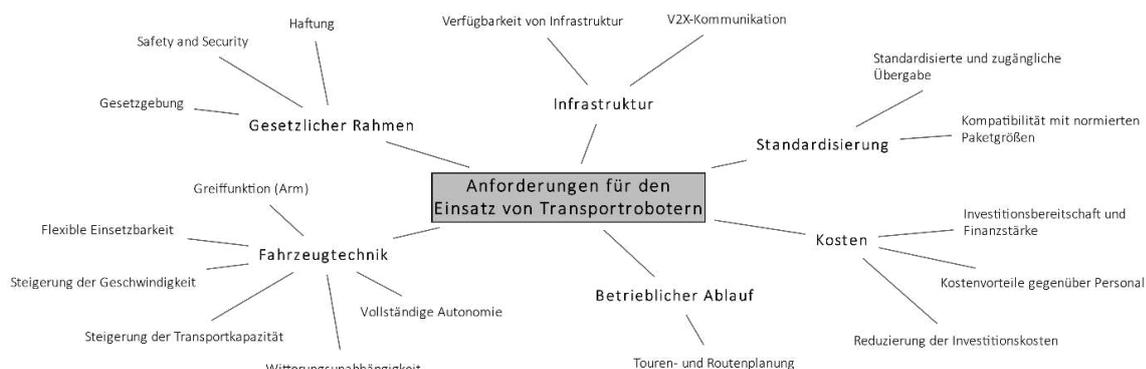


Abbildung 2: Anforderungen für den Einsatz von Transportrobotern, eigene Darstellung

merkt, dass die Einführung von neuen Transporttechnologien zunächst zusätzliche Kosten im täglichen Betrieb verursacht. Die Einführung von automatisierten Prozessen lohnt sich aus Sicht der Befragten daher nur, wenn dadurch Kostenvorteile erzielt werden können. Damit sind insbesondere reduzierte Personalkosten gemeint, so dass die Entwicklungs- und Betriebskosten der Maschinen ausgeglichen werden. Auch im Vergleich zu anderen Fahrzeugsystemen wie beispielsweise Drohnen sollten Transportroboter Kostenvorteile erzielen, damit diese von Unternehmen eingesetzt werden. Hierbei wird insbesondere die Reduzierung der Investitionskosten angesprochen.

Wie bereits angedeutet bedarf ein effizienter Einsatz von Transportrobotern die Anpassung des betrieblichen Ablaufs. Von Befragten der Speditions- und Logistik- sowie KEP-Unternehmen wird hierbei die Bedeutung einer dynamischen Touren- und Routenplanung angeführt. Dies betrifft zum einen den effizienten Ablauf der Transportprozesse und zum anderen die räumliche Isolierung von Transportgütern, um beispielsweise Kontaminationen auszuschließen. Als problematisches Beispiel wird die Kombination von Lebensmittel- und Non-Food-Logistik genannt. Abhilfe würde ein System aus unterschiedlichen Transportbehältern schaffen.

Von den Befragten aller vier untersuchten Organisationsgruppen werden außerdem Anforderungen an die Fahrzeugtechnik der Transportroboter gestellt. Entscheidend ist hier die vollständige Autonomie der Transportroboter, denn nur durch den Wegfall der Fahrenden bzw. der Begleitpersonen wird der Transport mittels Roboter wirtschaftlich vorteilhaft. Die autonome Fahrt der Transportroboter sollte darüber hinaus witterungsunabhängig möglich sein. Eine weitere Anforderung ist die Erhöhung der Transportkapazität von Transportrobotern. Bei hochwertigen Essenslieferungen kommen beispielsweise voluminös große Verpackungen zum Einsatz, um die Qualität und die Optik zu wahren, weshalb mehr Transportkapazität benötigt wird, als Transportroboter derzeit bieten. Die momentan geringe Transportkapazität führt darüber hinaus dazu, dass ein Einsatz in Ballungsgebieten besser geeignet ist, da dort eine höhere Frequenz von Transporten möglich ist. Auch die Geschwindigkeit der Transportroboter scheint derzeit zu gering. Bei größeren Fahrzeugen wird erwartet, dass diese sich mit mindestens 30 km/h fortbewegen. Zu den ermittelten Anforderungen an die Fahrzeugtechnik zählt außerdem die Flexibilität der Einsetzbarkeit. Es besteht die Sorge, dass ein automatisiertes Fahrzeug in den Einsatzmöglichkeiten beschränkt und nur bei einer gewissen Auslastung rentabel ist. Dies macht einen Betrieb statischer und stellt eine Schwäche gegenüber dem menschlichen

Personal dar, das flexibler eingesetzt werden kann. Auch die Anpassungen aufgrund eines schwankenden Sendungsaufkommens werden schwieriger, weshalb Entscheidungen mit langfristigen Konsequenzen aktuell gescheut werden. Als spezifische Anforderung wird darüber hinaus eine Greiffunktion in Form eines Arms genannt, um Güter abzustellen oder Einwurfvorrichtungen bedienen zu können. Dieser könnte die Anforderung an die Infrastruktur ergänzen, um eine reibungslose Übergabe zu realisieren.

6. Fazit

Die bisher in der Forschung und Entwicklung unterrepräsentierte Perspektive der AnwenderInnen zu potenziellen Einsatzfeldern von Transportrobotern im urbanen Raum konnte durch die Befragung von Fachkundigen aus verschiedenen Wirtschaftssektoren ergänzt werden.

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage, welche Einsatzfelder für automatisierte Transportroboter in der urbanen B2B- und B2C-Logistik als realistisch eingeschätzt werden, ergab durch die interviewten Fachkundigen ein breit gefächertes Bild. Die Einsatzfelder erstrecken sich von Hauspost über Gastronomie bis hin zur Quartierslogistik, die auch kooperative Ansätze umfasst. Insbesondere aus der Gruppe der Handels- und Dienstleistungsunternehmen stammt eine Vielzahl an Ideen.

Durch die von mehreren Fachkundigen genannten Einsatzfelder der KEP-Logistik und der Essens-Lieferdienste werden Trends im Bereich der Endkonsumenten und damit eine aktuelle Thematik adressiert (vgl. Blumtritt 2021; HDE 2021). Die Auslieferung von Medikamenten zielt ebenfalls auf eine aktuelle Thematik im Rahmen der Covid-19-Pandemie ab, da durch den Einsatz von Transportrobotern eine kontaktlose Übergabe ermöglicht werden könnte (vgl. DHL 2021).

Obwohl die Arbeit einen Fokus auf Einsatzfelder im urbanen, öffentlichen Raum legt, wird die Intralogistik von mehreren Fachkundigen als Einsatzmöglichkeit angeführt. Hierbei handelt es sich um ein Einsatzfeld in dem bereits heute fahrerlose Transportsysteme implementiert und weit verbreitet sind (vgl. Flämig 2015; DB Schenker 2017).

Im Rahmen der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage, welche Anforderungen für den Einsatz von Transportrobotern in der urbanen B2B- und B2C-Logistik erfüllt werden müssen, wurde von den Fachkundigen die in der Literatur diskutierten Aspekte bestätigt. Dies umfasst beispielsweise die Schaffung von gesetzlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen sowie von Standards. Auch technische und

organisatorische Optimierungen decken sich mit der Diskussion in der Forschung (vgl. Hoffmann und Prause 2018: 1; Sonneberg et al. 2019: 1545; Fraunhofer IML und LNC 2020: 27; Boysen et al. 2020: 15; Thiel et al. 2021). Ergänzend werden aus der praxisnahen Perspektive der Fachkundigen insbesondere die Aspekte der Kosten und der Finanzierung sowie der flexiblen Einsatzfähigkeit der Transportroboter hervorgehoben, welche für die Beibehaltung der Anpassungsfähigkeit an die dynamische Marktentwicklung und den wirtschaftlichen Erfolg des anzuwendenden Betriebs bedeutend sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse zu Einsatzpotenzialen von Transportrobotern erweitern die vorliegenden meist technischen Forschungsergebnisse. Damit liegt eine wesentliche Grundlage zur Überführung der Technologie von Transportrobotern von der Entwicklungsphase in die Implementierungsphase vor. Dies hebt die Relevanz der Perspektive der AnwenderInnen für eine erfolgreiche Implementierung und Weiterentwicklung der Technologie hervor und sollte in der weiteren Forschung berücksichtigt werden. Hierzu konnten im Projekt TaBuLa-LOG bereits erste Erkenntnisse durch den praktischen Einsatz eines Transportroboters unter Einbindung eines automatisierten Shuttles zum Transport von Behördenpost in Lauenburg/Elbe gesammelt werden.

Anmerkung

Dieser Artikel ist ein Ergebnis des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr geförderten Forschungsvorhabens „Kombinierter Personen- und Warentransport in automatisierten Shuttles (TaBuLa-LOG)“.

Literatur

Bender, Beate und Gericke, Kilian (2021): Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Deutschland: Springer.

Blumtritt, Christoph (2021): Prognose der Umsätze für Online Food Delivery in Deutschland für die Jahre 2017 bis 2024, <https://de.statista.com/prognosen/642308/online-food-delivery-umsatz-in-deutschland>, abgerufen am 19.11.2021.

Boysen, Nils, Fedtke, Stefan, Schwerdfeger, Stefan (2020): Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective, Jena: Springer.

Clausen, Uwe, Stütz, Sebastian, Bernsmann, Arnd, Heinrichmeyer, Hilmar (2016): ZF-ZUKUNFTSSTUDIE 2016, Friedrichshafen: ZF Friedrichshafen AG.

DB Schenker (2017): Automatisierung: Roboter in der Intralogistik, <https://logistik-aktuell.com/2017/03/16/automatisierung-in-der-intralogistik/>, abgerufen am 19.11.2021.

DHL (2021): KONTAKTLOSER EMPFANG UND VERSAND, <https://www.dhl.de/de/privatkunden/kampagnenseiten/kontaktlos-pakete-empfangen-und-versenden.html>, abgerufen am 19.11.2021.

Figliozzi, Miguel und Jennings, Dylan (2020): Autonomous delivery robots and their potential impacts on urban freight energy consumption and emissions, in: *Transportation Research Procedia*, Jg. 20, Nr. 46, S. 21–28.

Flämig, Heike (2015): Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: Maurer, Markus, Gerdes, J. Christian, Lenz, Barbara und Winner, Hermann (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.: Springer, S. 377–398.

Fraunhofer IML und LNC (2020): Die Veränderungen des gewerblichen Lieferverkehrs und dessen Auswirkungen auf die städtische Logistik, Berlin/Dortmund: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

HDE (2021): Umsatz durch E-Commerce (B2C) in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2020, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3979/umfrage/e-commerce-umsatz-in-deutschland-seit-1999/>, abgerufen am 19.11.2021.

Hoffmann, Thomas und Prause, Gunnar (2018): On the Regulatory Framework for Last-Mile Delivery Robots, in: *MDPI machines*, Jg. 6, Nr. 33, S. 1–16.

Jennings, Dylan und Figliozzi, Miguel (2019): Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel, in: *Transportation Research Record*, Jg. 6, Nr. 2673, S. 317–326.

Kruse, Jan (2015): *Qualitative Interviewforschung – Ein integrativer Ansatz* (2. Auflage). Weinheim und Basel: Beltz Juventa.

Sonneberg, Marc-Oliver, Leyerer, Max, Kleinschmidt, Agathe, Knigge, Florian, Breitner, Michael (2019): Autonomous Unmanned Ground Vehicles for Urban Logistics: Optimization of Last Mile Delivery Operations, in: *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Hannover: Leibniz Universität Hannover, S. 1538–1547.

STARSHIP (2021): Autonome Roboter für die Industrie 4.0, <https://www.starship.xyz/b2b-de/>, abgerufen am 19.11.2021.

Zukunftsinstitut GmbH (2021): Megatrends, <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/>, abgerufen am 19.11.2021.

Poeting, Moritz, Schaudt, Stefan, Clausen, Uwe (2019a): A COMPREHENSIVE CASE STUDY IN LAST-MILE DELIVERY CONCEPTS FOR PARCEL ROBOTS, in: Mustafee, Navonil, Bae, Ki-Hwan, Lazarova-Molnar, Sanja, Rabe, Markus, Szabo, Claudia (Hrsg.), Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference, Dortmund: TU Dortmund, S. 1779–1788.

Poeting, Moritz, Schaudt, Stefan, Clausen, Uwe (2019b): Simulation of an Optimized Last-Mile Parcel Delivery Network Involving Delivery Robots, in: Clausen, Uwe, Langkau, Sven, Kreuz, Felix (Hrsg.), Advances in Production, Logistics and Traffic, Dortmund: Springer, S. 1–19.

Thiel, Marko, Tjaden, Sandra, Schrick, Manuel, Rosenberger, Kerstin, Grote, Matthias (2021). Requirements for robots in combined passenger/freight transport. Epubli. Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 32, S. 195-215.

AutorInnenangaben

David Grunow
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technischen Universität Hamburg, Am Schwarzenberg-Campus 3, 21073 Hamburg, Deutschland
E-Mail: david.grunow@tuhh.de

Sandra Tjaden
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Technischen Universität Hamburg, Am Schwarzenberg-Campus 3, 21073 Hamburg, Deutschland
E-Mail: sandra.tjaden@tuhh.de

Lukas Weber
Projektleiter/Berater Sustainable Logistics
LaLoG LandLogistik GmbH, Im Technologiepark 1,
15236 Frankfurt (Oder), Deutschland
E-Mail: lukas.weber@landlogistik.eu

Julia Wolf
Projektmanagerin Automatisiertes und Vernetztes Fahren
Interlink GmbH, Fleethörn 7, 24103 Kiel, Deutschland
E-Mail: Wolf@interlink-verkehr.de