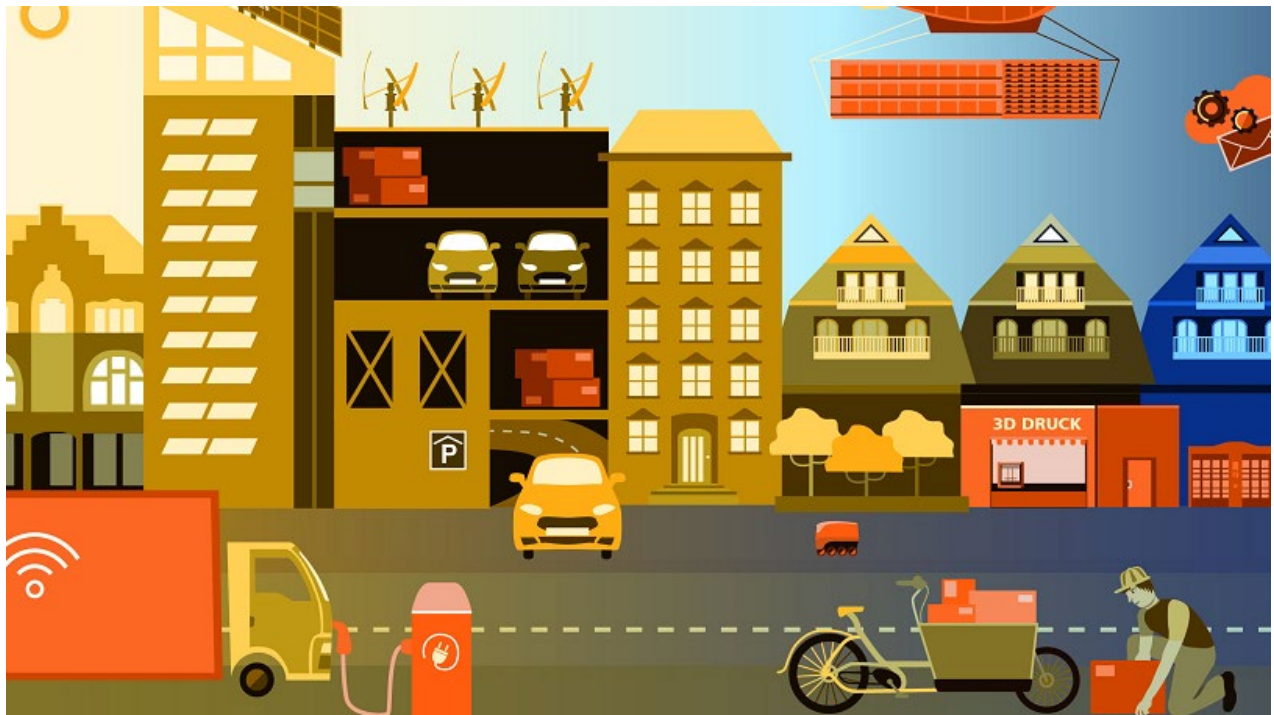


STUDIE

# LOGISTIK 2030 – ELEKTRISCH, AUTONOM, BOT- UND FLUGDROHNENBASIIERT?

EINE ANALYSE UND BEWERTUNG VON INNOVATIONEN FÜR DIE LOGISTIK  
2030 IM AUFTRAG DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND  
KLIMASCHUTZ (BMWK) IM RAHMEN DER BEGLEITFORSCHUNG ZUM  
TECHNOLOGIEPROGRAMM IKT FÜR ELEKTROMOBILITÄT



## INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Problemstellung.....	4
1.2	Ziel und Leitfragen.....	4
1.3	Definitionen und Abgrenzung .....	5
1.4	Methode .....	5
1.4.1	Überblick mittels Literaturrecherche .....	6
1.4.2	Experteninterviews .....	6
1.4.3	360°-Analyse ausgewählter Konzepte .....	7
<b>2</b>	<b>Innovative Logistiktechnologien und -konzepte .....</b>	<b>10</b>
2.1	Innovative Logistiktechnologien und -konzepte im Überblick.....	10
2.2	Autonome Transportmittel .....	10
2.2.1	Autonome Drohnenlieferung .....	10
2.2.2	Autonome Bots - follow me .....	11
2.2.3	Autonom fahrende Bots.....	12
2.2.4	Autonom fahrende Bots mit Schließfächern .....	12
2.2.5	Auslieferung durch (humanoide) Roboter.....	13
2.2.6	Mobilitätskonzept für multifunktionale Bots .....	13
2.3	Logistikplattformen .....	14
2.3.1	Gebündelte Hauptläufe in der Logistik .....	14
2.3.2	Gebietskonsolidierung .....	15
2.3.3	Crowd Logistik.....	15
2.3.4	Frachtraumbörse .....	16
2.4	Alternative Logistikkonzepte.....	16
2.4.1	City-Hubs.....	16
2.4.2	Mikro-Hubs .....	17
2.4.3	Alternative Zustellmöglichkeiten .....	17
2.5	Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen.....	18
2.5.1	Tunnels und Pipelines .....	18
2.5.2	Seilbahnen .....	19
2.5.3	Infrastruktur in neu erschlossenen Gebieten.....	19
2.5.4	Lieferzonen.....	20
2.6	Alternative Antriebe .....	20
2.6.1	Batterieelektrische Nutzfahrzeuge.....	20
2.6.2	H2-Brennstoffzellen Nutzfahrzeuge.....	21
2.7	Weiterführende Konzepte.....	21
2.7.1	Urbane Produktion .....	21
2.7.2	Spezielle IKT-Lösungen .....	23

2.8	Zwischenfazit.....	24
<b>3</b>	<b>Experteneinschätzung der Innovationen für die Logistik 2030 und 2030+.....</b>	<b>25</b>
3.1	Autonome Transportmittel .....	26
3.2	Logistikplattformen .....	28
3.3	Alternative Logistikkonzepte.....	29
3.4	Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen.....	30
3.5	Alternative Antriebe .....	31
3.6	Urbane Produktion .....	32
3.7	Spezielle IKT-Lösungen .....	32
3.8	Zwischenfazit.....	33
<b>4</b>	<b>360° Analyse vielversprechender Logistiktechnologien und -konzepte.....</b>	<b>35</b>
4.1	Technologisch .....	35
4.2	Ökonomisch .....	37
4.3	Ökologisch.....	40
4.4	Sozial, rechtlich und politisch .....	42
<b>5</b>	<b>Zukunftsbild innerstädtische Logistik 2030 und 2030+ .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>46</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>48</b>

# 1 EINFÜHRUNG

---

## 1.1 Problemstellung

In Zukunft werden sich Logistiksysteme stark verändern. Dies betrifft auch den innerstädtischen Lieferverkehr, welcher in den nächsten Jahren weiter deutlich zunehmen wird. Zum einen werden die Städte durch den Trend der Urbanisierung weiterwachsen (United Nations 2017; Arthur D. Little 2014), zum anderen wird sich der Trend zum Onlinehandel weiterhin erhöhen und so das Paketaufkommen deutlich steigern. Beispielsweise sind die Paket-, Express-, und Kuriersendungen in Deutschland innerhalb der letzten 10 Jahre von 2,3 Mrd. auf knapp über 4 Mrd. Sendungen gestiegen und bis 2025 wird ein Anstieg auf 5,7 Mrd. Sendungen erwartet (Bundesverband Paket- und Expresslogistik e. V. (BIEK) et al. 2021). Insbesondere auf der letzten Meile der Zulieferung (sog. *last mile logistics*) – d.h. auf der letzten Wegstrecke bis zum Endkunden – werden eine zunehmende Anzahl von Kunden in immer kleineren Liefereinheiten beliefert werden müssen. Insbesondere diese letzte Meile sorgt neben typischerweise hohen Kosten auch für ein erhebliches Verkehrsaufkommen (Schröder et al. 2019). Um dem erwarteten Wachstum des innerstädtischen Lieferverkehrs entgegenwirken zu können, sind Innovationen, d.h. neue Technologien oder Formen der Organisation bspw. in neuen Logistikkonzepten, erforderlich. Neben den technologischen Anforderungen muss der zukünftige innerstädtische Lieferverkehr auch den Anforderungen an ein nachhaltiges Logistiksystem standhalten, d.h. auch ökonomisch, ökologisch und sozial zukunftsfähig sein. Zudem werden technologische Entwicklungen wie Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung eine zentrale Rolle spielen.

Aufgrund dieser Veränderungen und neuen Anforderungen ist bisher unklar, wie der innerstädtische Lieferverkehr zukünftig gestaltet werden wird, welche neuen Technologien und Konzepte eine zentrale Rolle spielen können und welche Maßnahmen für eine erfolgreiche Implementierung dieser Innovationen notwendig sein können.

## 1.2 Ziel und Leitfragen

Ziel der vorliegenden Studie ist es, das Potenzial vielversprechender Innovationen in der Logistik, d.h. neue Technologien und Organisationsformen, für die innerstädtische Logistik bis zum Jahr 2030 zu diskutieren. Diese Studie nimmt dabei eine umfassende Perspektive ein und berücksichtigt technologische, ökonomische, ökologische, soziale, rechtliche sowie politische Aspekte.

Folgenden Fragen stehen hierbei im Vordergrund:

- Wie sieht die innerstädtische Logistik 2030 aus?
- Welche innovativen Technologien und Konzepte, wie bspw. elektrische oder autonome Fahrzeuge, können hierfür einen Beitrag leisten?
- Wie ist deren Potenzial aus technologischer, ökonomischer, ökologischer, sozialer, rechtlicher sowie politischer Perspektive einzuschätzen?
- Wie können diese neuen Technologien und Konzepte zukünftig zusammenwirken?
- Welche Handlungsempfehlungen ergeben sich für eine erfolgreiche Umsetzung und Förderung?

Im Fokus dieser Studie stehen neben bereits etablierten neuen Lösungen wie elektrischen Lastenrädern oder Lieferfahrzeugen, Paketstationen oder Mikro-Hubs insbesondere bisher weniger etablierte Innovationen mit einem hohen Potenzial, bspw. autonome Lieferfahrzeuge bzw. Liefer-Roboter oder Flugdrohnen.

### 1.3 Definitionen und Abgrenzung

Der Fokus dieser Studie liegt auf technologischen Innovationen für den innerstädtischen Lieferverkehr. Innovation wird in dieser Studie als neue Technologie, materiellen Artefakten und/oder Software, sowie Konzept, typischerweise aus mehreren Technologien und deren Zusammenspiel oder Steuerung bestehend, verstanden. Der innerstädtische Lieferverkehr bezieht sich auf den Transport von Waren und Gütern innerhalb von Städten und größeren Ortschaften und wird vereinfachend synonym mit "innerstädtischer Logistik" bezeichnet. Dies umfasst insbesondere den Transport von Stückgut, den Handel sowie die Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP) (LNC und Fraunhofer IML 2020). Nicht berücksichtigt wird der gesamte Güterverkehr, welcher neben dem städtischen Lieferverkehr auch beispielsweise durch Entsorgung oder Baustellenlogistik entsteht (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) 2021).

Insbesondere wird die letzte Meile der Zulieferung, die „Distanz zwischen dem Break-Bulk-Point und vielen Zustellpunkten in One-to-Many-Verteilprozessen" (Brabänder 2020), betrachtet. In einer Einteilung der Transportlogistik in Vor- (Transport von den Werken zu den Zulieferern), Haupt- (Transport von den Zulieferern zu den Umschlagpunkten) und Nachlauf (Transport von den Umschlagpunkten zu den Kunden (Feinverteilung)) (Logistik KNOWHOW 2013)<sup>1</sup> kann sie dem Nachlauf zugeordnet werden, ist jedoch nicht unabhängig von Prozessen im Vor- oder Hauptlauf.

Auf der letzten Meile spielen insbesondere der Transport und die Übergabe der Sendung sowie die Kundenintegration eine wesentliche Rolle (Brabänder 2020). Für den Transport werden in dieser Studie die Verkehrsträger Straße, Schiene und Luft berücksichtigt. Aufgrund des hohen Anteils an e-Commerce Sendungen betreffen die betrachteten Sendungen auf der letzten Meile im Wesentlichen B2C (Business to Customer) Kundenbeziehungen, auch B2B (Business to Business) und C2C (Consumer to Consumer) Sendungen sind möglich. Bei den Sendungen handelt es sich im Wesentlichen um KEP (Kurier-, Express- und Paket)<sup>2</sup> Sendungen; kleinere Sendungen, typischerweise <31,5 kg (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) et al. 2021), stehen im Vordergrund. Es kann sich bei den Sendungen auch um Stückgüter handeln, welche so verpackt sind, ggf. in Kombination mit einer Ladeinheit, dass sie bei Transport-, Lagerungs- und Umschlagvorgängen als einzelne Beförderungseinheit behandelt werden können (Krieger 2018).

### 1.4 Methode

In dieser Studie werden Innovationen für die städtische Logistik identifiziert und beschrieben und anschließend vielversprechende Technologien und Konzepte im Detail und in Hinblick auf gesamtheitliche Logistikszenerien diskutiert. Hierfür wurde in folgenden vier Schritten vorgegangen:

- Literaturrecherche
- Experteninterviews
- 360°-Analyse
- Aggregation der Erkenntnisse zu einem Zukunftsbild der innerstädtischen Logistik

Im ersten Schritt wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Ziel ist es, einen Überblick über aktuell existierenden und zukünftig geplanten Lösungen sowie eine erste

---

<sup>1</sup> Falls es sich um eine umfangreiche Warensendung handelt, kann der Kunde auch direkt beliefern werden (Logistik KNOWHOW 2013).

<sup>2</sup> Die KEP Sendungen unterscheiden sich in der Geschwindigkeit der Zustellung: Kuriersendungen werden am gleichen Tag ("same day"), Expresssendungen zu verbindlichen Zustellzeiten ("over night/ time definite") und Paketsendungen nach Regellaufzeit (typischerweise national am folgenden Werktag, Vorhersage nicht genau möglich) zugestellt (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) et al. 2021).

qualitative Bewertung des jeweiligen Potenzials unter Berücksichtigung mehrerer Dimensionen zu erhalten. Im zweiten Schritt wurden die Ergebnisse des ersten Schrittes mit Experten diskutiert, insbesondere um das Potenzial sowie die Relevanz für die Forschung abzuschätzen und so vielversprechende Innovationen zu identifizieren. Diese vielversprechenden Innovationen wurden dann im dritten Schritt einer detaillierteren 360°-Analyse unterzogen. Sowohl bei der ersten Bewertung aller ermittelten Lösungen auf Basis der Literatur als auch bei der 360°-Analyse wurden die politischen, ökonomischen, sozialen, technologischen, ökologischen und rechtlichen Dimensionen<sup>3</sup> betrachtet. Im letzten Schritt wurden die gesammelten Erkenntnisse in Hinblick auf mögliche Zukunftsbilder für die innerstädtische Logistik 2030 und darüber hinaus diskutiert.

#### 1.4.1 Überblick mittels Literaturrecherche

Um einen Überblick des derzeitigen Standes der aktuell diskutierten und zukünftig geplanten Logistiklösungen sowie ein erstes Detailverständnis zu erhalten, wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Hierfür wurden aktuelle wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Literatur sowie laufende und abgeschlossene Projekte berücksichtigt. Als Suchmaschinen wurden die akademischen Suchmaschinen „Google Scholar“, „BASE – Bielefeld Academic Search Engine“ und „Scopus“ verwendet, in denen mit Hilfe der Suchbegriffe „last mile“, „last mile logistics“, „logistics 4.0“, „city logistics“, „urban logistics“, „robotics in logistics“ und leichten Abwandlungen dieser, gesucht wurde. Aufgrund der geringen Menge an wissenschaftlichen Publikationen zu innovativen Logistiklösungen wurde zudem eine ergänzende Suche mittels der Suchmaschine "Google" durchgeführt; Ergebnisse waren hier vor allen Dingen Startups und Veröffentlichungen von Unternehmensberatungen. Der Schwerpunkt der Literaturrecherche lag auf innovativen Lösungen für die innerstädtische Zustellung mit Fokus Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung. In einer zweiten Suchrunde wurde nach wissenschaftlichen Veröffentlichungen speziell zu den identifizierten Lösungen gesucht. Neben einem systematischen Überblick wurden auf Basis der Literaturrecherche Steckbriefe für die identifizierten Lösungen erstellt, welche unter anderem eine erste qualitative Abschätzung der technischen, ökonomischen, ökologischen, sozialen, rechtlichen und politischen Dimensionen enthält. Dieser Bericht enthält eine Zusammenfassung der Steckbriefe; Details werden gerne bei Bedarf zur Verfügung gestellt.

#### 1.4.2 Experteninterviews

Die explorativen und systematisierenden (Bogner et al. 2009) Experteninterviews dienen dazu, die über die Literaturrecherche identifizierten Innovationen besser zu verstehen, in ihrer Gesamtheit zu validieren sowie Informationen über die Branche und Entwicklungen dieser einzuholen. Zusätzlich dazu wurden im Nachgang zu den Interviews die Technologien und Konzepte bezüglich ihres Potenzials und der Relevanz für die Forschung von den Experten quantitativ auf einer Skala von 1-5 bewertet.

Es wurden insgesamt Interviews mit 17 Experten (Tabelle 1) aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung und Verbänden, im Speziellen mit Experten aus Branchenverbänden, Forschungseinrichtungen sowie relevanten Projektpartnern der Projekte des Technologieprogramms "IKT für Elektromobilität" und des BMVI Programms „mFUND“ und Projektträger und Auftraggeber geführt (Kazmaier 2021)<sup>4</sup>. Für die Interviews wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, welcher den Experten zusammen mit den aus der Literaturrecherche resultierenden Steckbriefen vor der Befragung zur Verfügung gestellt wurde. Aufgrund der hohen Konkurrenz in der Logistikbranche konnten die Experten Informationen

---

<sup>3</sup> Eine Analyse dieser Dimensionen wird in der Literatur auch als PESTEL-Analyse (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal) bezeichnet.

<sup>4</sup> Detailinformationen zu den einzelnen Experten dürfen aus Gründen des Datenschutzes und der Vertraulichkeit in diesem Bericht nicht veröffentlicht werden.



oftmals nicht offenlegen. Neben der Ergänzung der bereits in der Literaturrecherche gesammelten qualitativen Bewertung unterschiedlicher Dimensionen, dienten die Einschätzungen der Experteninterviews dazu, besonders innovative und zukunftsfähige Lösungen für die weitere Detailanalyse zu ermitteln.

**Tabelle 1: Übersicht über die befragten Experten**

Bereich	Experte
Forschung	Experte 1
Forschung	Experte 2
Verband	Experte 3
Beratung	Experte 4
Verband	Experte 5
Forschung	Experte 6
Wirtschaft	Experte 7
Beratung	Experte 8
Beratung	Experte 9
Wirtschaft	Experte 10
Forschung	Experte 11
Forschung	Experte 12
Forschung	Experte 13
Verband	Experte 14
Beratung	Experte 15
Forschung	Experte 16
IKT für Elektromobilität Programm	Experte 17

### 1.4.3 360°-Analyse ausgewählter Konzepte

Die mittels der Experteninterviews ausgewählten Technologien und Konzepte wurden in einer 360°-Analyse im Detail untersucht, um mögliche Hindernisse für eine weitreichende Marktverbreitung und Entwicklungs- und Förderbedarf zu identifizieren. Fokus war eine quantitative Bewertung von technologischen, ökonomischen und ökologischen Indikatoren, insbesondere da die letzte Meile beispielsweise in der B2C-Zustellung als der teuerste, am wenigsten effiziente und am meisten verschmutzende Teil der Logistikkette angesehen wird (Gevaers et al. 2014). Diese quantitative Bewertung wurde um eine qualitative Einschätzung sozialer, rechtlicher und politischer Aspekte ergänzt.

#### Technologisch

In der Technologiebewertung wurde der Reifegrad der jeweiligen Innovation untersucht. Dieser kann mit Hilfe des sogenannten Technology Readiness Levels (TRL) (Mankins 1995) angegeben werden und dient der Identifizierung der weiteren für den Entwicklungsprozess relevanten Schritte (Deshmukh Towery et al. 2017). Eine Einschätzung möglicher Herausforderungen und Risiken sowie die notwendigen Schritte für ein Heben der Technologie auf die nächste Entwicklungsstufe ist über eine TRL-Bewertung nicht möglich (Deshmukh Towery et al. 2017).

In dieser Studie wurde das TRL auf Basis aktueller Publikationen und Experteneinschätzungen ermittelt. Es wird die Skala des „Technology Readiness Level Guidebook“ (Deshmukh Towery et al. 2017) des United States Department of Transportation verwendet (Tabelle 2). Die TRL-Skala beinhaltet 9 Level und erstreckt sich von einer Skizze der Idee (TRL 1) bis hin zur erfolgreichen Implementierung der Technologie (TRL 9) (van Cappelle et al. 2018).

Eine Technologie über TRL 9 kann kommerzialisiert werden. Die TRL-Stufen können in vier Gruppen zusammengefasst werden (Martínez-Plumed et al. 2021): In TRL 1 bis 4 befindet sich die Technologie in einer Laborumgebung, in den TRLs 5 und 6 wird die Technologie in

einer der realen Umgebung ähnelnden Umgebung getestet und ab Level 7 wird die Technologie in der realen Umgebung getestet.

**Tabelle 2: Technology Readiness Levels – Eigene Darstellung in Anlehnung an Tzinis (2015) und van Cappelle et al. (2018)**

Technology Readiness Level (TRL)	Beschreibung
1	Grundlegende Prinzipien beobachtet und berichtet
2	Technologiekonzept und/oder Anwendung formuliert
3	Analytischer und experimenteller kritischer Funktions- und/oder Merkmalsnachweis
4	Validierung von Komponenten/Subsystemen in Laborumgebung
5	System-/Subsystem-/Komponentenvalidierung in relevanter Umgebung
6	System-/Subsystemmodell oder Prototyping-Demonstration in einer relevanten End-to-End-Umgebung
7	System-Prototyping-Demonstration in einer Betriebsumgebung
8	Tatsächliches System fertiggestellt und "einsatzqualifiziert" durch Test und Demonstration in einer Betriebsumgebung
9	Tatsächliches System einsatzerprobt durch erfolgreiche Einsätze

### Ökonomisch

Für eine quantitative ökonomische Bewertung wurden mittels einer Total Cost of Ownership (TCO) –Analyse die Kosten pro Paket bzw. Liefereinheit berechnet. Die TCO-Analyse berücksichtigt alle für den Erwerb und die Nutzung der Technologie anfallenden Kosten wie Investitions-, Energie-, Reparatur und Wartungskosten (Logistik KNOWHOW 2021). Hierfür werden die für eine Entscheidungsfindung wichtigsten Aspekte und Kosten berücksichtigt (Ellram 2002). TCO-Analysen eignen sich gut zur Bewertung neuer Technologien und Konzepte in der Logistik; sie wurden bereits vielfach im Bereich von Elektromobilitäts- und Logistiklösungen angewendet und ermöglichen so auch einen guten Vergleich der betrachteten Innovationen mit traditionellen Lösungen (Moll et al. 2020).

Tabelle 3 zeigt die in dieser Studie für die TCO-Analyse berücksichtigten Kosten und Aspekte, basierend auf vorangehenden TCO-Analysen, u. A. zu Mikro-Hubs, Lastenfahrrädern und Nano-Hubs (Oebel 2021). Die Berechnung der einzelnen Parameter basiert auf bereits existierenden Bewertungen (Gaevers et al. 2014); Formeln und Koeffizienten wurden so angepasst, dass sie auf die innovativen Logistiklösungen anwendbar sind (Details zur Berechnung finden sich in Kazmaier (2021)). Die Annahmen für die der Berechnung zu Grunde liegenden Daten basieren auf Werten aus der Literatur und Informationen aus den Experteninterviews, die konkreten Annahmen finden sich in Kazmaier (2021).

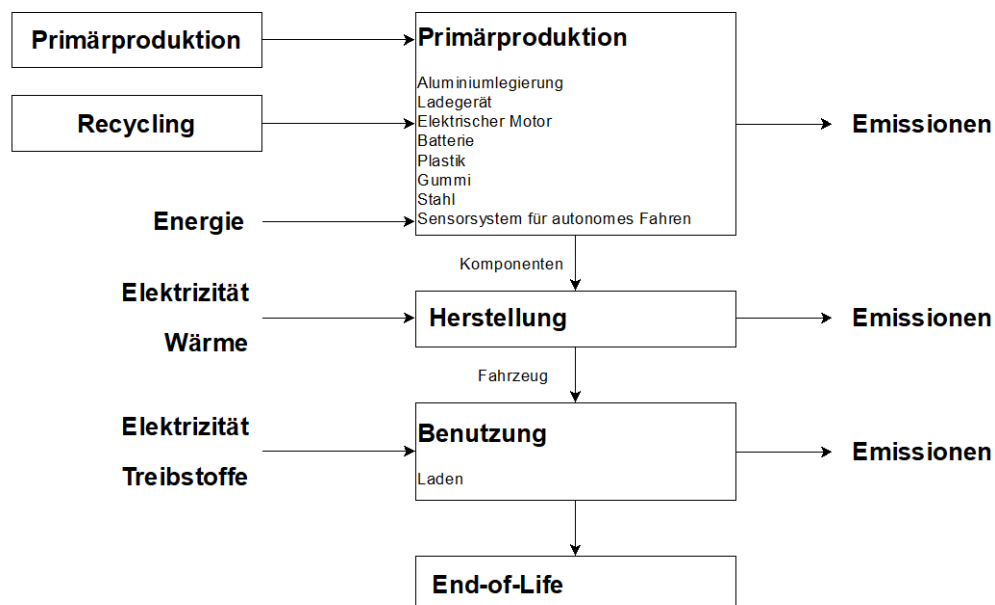


**Tabelle 3: In der TCO-Analyse berücksichtigte Kosten und Aspekte. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Gevaers et al. 2014 und Oebel 2021.**

Daten (Berechnet)	Rahmenparameter	Einflussfaktoren
Fixkosten	Fahrzeugkosten (Abschreibung)	
	Mietkosten / Investitionen	
Variable Kosten	Personalkosten	
	Kraftstoffkosten	
	Wartungs- Reparaturkosten	
	Leasingkosten	
Tourendauer	Beladezeit	Max. Paketanzahl
	Entladezeit	Gesamtanzahl an Paketen
		Zustellzeit/Servicezeit
	Fahrzeit	Gesamtdistanz
Durchschnittsgeschwindigkeit		

### Ökologisch

Neben der qualitativen Bewertung auf Basis der Literatur und den Experteninterviews wurde als quantitativer Indikator mit Hilfe einer Ökobilanz der Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2eq</sub>) pro Paket bzw. Liefereinheit berechnet. Abbildung 1 zeigt das bei der Ökobilanz verwendete Systemgrenzen-Diagramm; die darin enthaltene Prozesse fließen in die Berechnung mit ein. Der Fokus der Analyse lag demnach auf Material und Komponenten, Herstellung, Benutzung und End-of-Life. Die Daten und Annahmen basieren auf der Literatur und den Experteninterviews. Details bezüglich der Annahmen und Berechnungen sowie eine Inventarliste für die verwendeten Materialien befindet sich in Kazmaier (2021).



**Abbildung 1: Berücksichtigte Systemgrenzen für die Ökobilanz. Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Hollingsworth et al. (2019)**

## 2 INNOVATIVE LOGISTIKTECHNOLOGIEN UND - KONZEPTE

### 2.1 Innovative Logistiktechnologien und -konzepte im Überblick

Abbildung 2 zeigt die identifizierten Innovationen für die innerstädtische Logistik 2030 und darüber hinaus. Es wurden insgesamt 23 Innovationen identifiziert. Diese können in die sieben Hauptkategorien "Autonome Transportmittel", "Logistikplattformen", "Alternative Logistikkonzepte", "Urbane Produktion", "Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen", "Alternative Antriebe" und "Spezielle IKT" eingeteilt werden. Im Folgenden werden die identifizierten Logistiklösungen anhand der Merkmale Marktsegment, Güterarten/ Produkte, Kunden, Verkehrszweige, Kerntechnologien, Transportmittel und Energieträger charakterisiert sowie eine erste qualitative Bewertung der technologischen, ökonomischen, ökologischen, sozialen, rechtlichen und politischen Dimensionen auf Basis der Literatur vorgenommen.

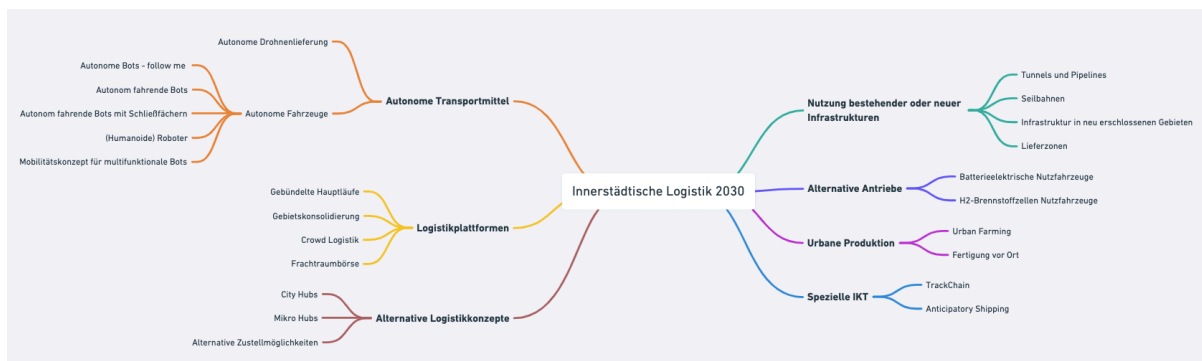


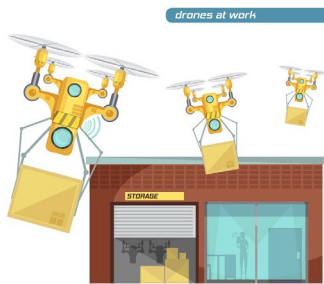
Abbildung 2: Mindmap der identifizierten Innovationen Quelle: Eigene Darstellung

### 2.2 Autonome Transportmittel

#### 2.2.1 Autonome Drohnenlieferung

Merkmale:

- Marktsegment: KEP
- Güterarten/ Produkte: Kleine Pakete (< 2,5kg) aus allen Sektoren
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Luftverkehr
- Kerntechnologien: Bilderkennung und Bildverarbeitung, 5G-Kommunikation
- Transportmittel: Drohne
- Energieträger: Batterie



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Eine autonome Drohne liefert in Einzelzustellung in urbanen Ballungsräumen aus. Die Drohne ermöglicht die Zustellung an einen spezifischen Empfänger an einem spezifischen Ort, unabhängig vom eigentlichen Wohn- oder Arbeitsort. Dabei kann die Drohne auch Teilstrecken auf anderen Verkehrsmitteln und erst ab einer geringen Reichweite zum Zustellort fliegen.

Abbildung 3: Drohnenzustellung. Quelle: Freepik

**Bewertung:**

Technologisch	+	Bereits eingesetzt, Herausforderungen: Energieeffizient, Reichweite
Ökonomisch	++	Einsparung bei Personalkosten und Mehrfachzustellung
Ökologisch	o	Niedriger Energieverbrauch, elektrisch
Sozial	-	Geringe Akzeptanz (Lärm, Privatsphäre)
Rechtlich	-	Bislang verboten, keine Regulierung
Politisch	-	Skepsis gegenüber autonomen Drohnen

**2.2.2 Autonome Bots - follow me**

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik
- Güterarten/ Produkte: Kleine bis große Pakete/Paletten aus allen Sektoren
- Kunden: B2B, B2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Kerntechnologien: Bildverarbeitung, Digitalisierung, KI
- Transportmittel: Teilautonomes Fahrzeug, Lastenrad, Transporter
- Energieträger: Batterie



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Ein elektrisches, autonomes Leichtfahrzeug folgt einem vom Menschen gesteuerten Leitfahrzeug, z.B. einem Cargo-Bike. In den meisten Fällen stellt der Mensch das Paket zu.

Abbildung 4: Autonomer Bot der einem Menschen folgt, könnte auch einem Lastenrad o.Ä. folgen. Quelle: Ducktrain

**Bewertung:**

Technologisch	++	Autonom + an komplexen Orten führt der Mensch
Ökonomisch	++	Auslastung ähnlich zu Lastenrad bei höherer Kapazität
Ökologisch	+	Niedriger Energieverbrauch, elektrisch
Sozial	+	Keine Emissionen, leise
Rechtlich	+	Sonderzulassung nötig, Mensch kann eingreifen
Politisch	o	Kein großer Aufwand

### 2.2.3 Autonom fahrende Bots

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Essenslieferungen
- Güterarten/ Produkte: Kleine und mittlere Pakete aus allen Sektoren, insbesondere Lebensmittel/Essen
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Technologien: Autonomes fahren, KI, Schwarmintelligenz
- Transportmittel: Autonomes Delivery Vehicle (ADV)
- Energieträger: Batterie



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Elektrisches und automatisiertes Leichtfahrzeug legt autonom die letzte Meile oder eine längere Strecke zurück. Das Paket wird an einen Menschen oder mechatronischen Briefkasten zugestellt.

Abbildung 5: Selbstfahrender Shuttle-Bus. Quelle: iStock/ Chesky\_W

**Bewertung:**

Technologisch	+	Konzepte und Versuche, KI und Sensorik verfügbar
Ökonomisch	++	Hohes Kosteneinsparungspotenzial möglich
Ökologisch	+	Keine Emissionen vor Ort, relativ leise
Sozial	o	Arbeitsplätze in Gefahr, Blockierung v. Fuß- und Radwegen
Rechtlich	o	Unklare Regelung für autonome Mikromobilität
Politisch	o	Unklar

### 2.2.4 Autonom fahrende Bots mit Schließfächern

Merkmale:

- Marktsegment: KEP
- Güterarten/ Produkte: Pakete aller Größen aus allen Segmenten
- Business Focus: B2C, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Technologien: Autonomes Fahren (KI)
- Transportmittel: elektrisches, autonomes Roboterfahrzeug
- Energieträger: Batterie, Brennstoffzelle



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Ein autonomes Fahrzeug mit Schließfächern fährt in die Stadt und steht dort als Paketstation; die Empfänger holen die Pakete im Self-Service ab, ähnlich einer mobilen Paketstation.

Abbildung 6: Renault EZ-PRO Concept als mobile Paketstation. Quelle: Renault

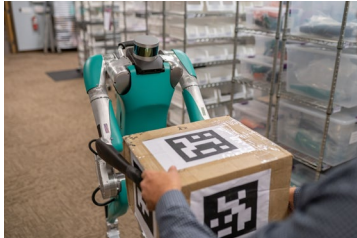
**Bewertung:**

Technologisch	+	Autonome Fahrzeuge befinden sich in Entwicklung
Ökonomisch	++	Hohes Kosteneinsparungspotenzial möglich
Ökologisch	+	Keine Emissionen vor Ort, relativ leise
Sozial	o	Akzeptanz von Bots
Rechtlich	o	Speziell ausgewiesene Standorte nötig
Politisch	+	Attraktivitätssteigerung der Stadt möglich

## 2.2.5 Auslieferung durch (humanoide) Roboter

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Essenslieferungen
- Güterarten/ Produkte: Kleine und mittlere Pakete aus allen Sektoren (bis ca. 20 kg), Lebensmittel, Essenslieferungen
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Technologien: Robotik, KI
- Energieträger: Batterie



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Die letzte Zustellung erfolgt durch einen humanoiden Roboter, der einen Menschen unterstützt. Perspektivisch fährt der Roboter in einem vollautonomen Transporter mit und stellt die Pakete selbständig zu.

Abbildung 7: Autonomer humanoide Roboter in einer Studie von Ford. Quelle: Ford

### Bewertung:

Technologisch	-	Keine Serienreife, Prototypen
Ökonomisch	+	Roboter sind sehr teuer, trotzdem Einsparungen möglich
Ökologisch	o	Wenig Daten vorhanden
Sozial	-	Geringe Akzeptanz (Ersatz vom Menschen)
Rechtlich	-	Keine Regelung für humanoide Roboter
Politisch	-	Ersatz des Menschen kritisch

## 2.2.6 Mobilitätskonzept für multifunktionale Bots

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Personentransport, Reinigung
- Güterarten/ Produkte: Kleine bis große Pakete aus allen Sektoren, Essenslieferungen, Abfallbeseitigung
- Business Focus: B2B, B2C, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Technologien: Autonomes Fahren, Bildverarbeitung, Schwarmintelligenz
- Transportmittel: Elektrofahrzeug, Brennstoffzellenfahrzeug (Zugwagen)
- Energieträger: Batterie, Brennstoffzelle



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Ein schwarmintelligentes, multifunktionales, vollautonomes Fahrzeug bewegt sich emissionsfrei durch die Stadt, mit Hilfe verschiedener Module kann der Roboter seine Funktion ändern.

Abbildung 8: Mögliche Einsatzzwecke eines multifunktionalen Citybots. Quelle: EDAG

## Bewertung:

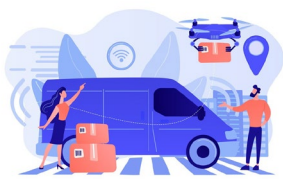
Technologisch	+	Viele Anwendungsmöglichkeiten, Konzeptreife
Ökonomisch	+	Teure Antriebseinheit kann immer eingesetzt werden
Ökologisch	+	Hohe Auslastung Antriebsmodul, Betrieb mit Batterie/ FCM
Sozial	o	Ersatz von Menschen durch Roboter (Taxi, Postboten,...)
Rechtlich	+	Gleiche Regelungen wie für autonome Fahrzeuge
Politisch	o	Autonomes Fahren muss erst politisch ermöglicht werden

## 2.3 Logistikplattformen

### 2.3.1 Gebündelte Hauptläufe in der Logistik

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik, Teilladungs-, Stückgutverkehr
- Güterarten/ Produkte: Pakete, Konsumgüter, Industriegüter
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr, Luftverkehr
- Kerntechnologien: Digitalisierung – Plattform, Tracking von Paketen
- Transportmittel: alle
- Energieträger: alle



#### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

In einem Multi-Use-Szenario (z.B. Post-, Kurier- und Arzneimittelsendungen) werden die Anwendungsfelder durch eine kooperative Logistikplattform, die eine dynamische Tourenplanung über mehrere Hersteller realisiert, verbunden.

Abbildung 9: Symbolische Darstellung gebündelter Lieferungen.  
Quelle: Freepik

## Bewertung:

Technologisch	++	Plattform mit TCO basierter Streckenführung einfach umsetzbar
Ökonomisch	+	Konsequente Anwendung von TCO führt zu Kostenoptimierung
Ökologisch	+	Effizientere Planung ermöglicht Einsatz von E-Fahrzeugen
Sozial	++	Hohe Akzeptanz aufgrund gesteigertem Einsatz E-Fahrzeuge
Rechtlich	+	Regelung v. unternehmensübergreifender Kooperation
Politisch	++	Elektrifizierung des Verkehrs ist politisch erwünscht



### 2.3.2 Gebietskonsolidierung

Merkmale:

- Marktsegment: alle Marktsegmente
- Güterarten/ Produkte: Kleine bis große Sendungen
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Kerntechnologien: Digitalisierung, Plattformen
- Transportmittel: alle
- Energieträger: alle



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Gebündelte Zustellung von Sendungen basierend auf Zeit, Menge und/oder Gebieten durch einen Anbieter.

Abbildung 10: Beispielhafte Aufteilung eines Liefergebiets in kleinere Teilgebiete für die die Lieferungen gebündelt werden.  
 Quelle: eigene Darstellung

**Bewertung:**

Technologisch	+	Viel Forschung zum optimalen Modell
Ökonomisch	+	Einsparung von Lieferkosten, dafür Erhöhung Lagerkosten
Ökologisch	+	Emissionen werden gesenkt
Sozial	+	Lieferzeiten nehmen zu, ist aber unkritisch
Rechtlich	o	Rechtliche Abwicklung nicht trivial
Politisch	o	Faire und transparente Vergabe ist herausfordernd

### 2.3.3 Crowd Logistik

Merkmale:

- Marktsegment: KEP
- Güterarten/ Produkte: Kleine und mittlere Pakete (Konsumgüter), Lebensmittel, Essen
- Kunden: B2C, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Kerntechnologien: Plattformen
- Transportmittel: Scooter, Fahrrad, Roller, Auto, Transporter, ÖPNV
- Energieträger: Muskelkraft, Batterie, alle weiteren Kraftstoffe



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Privatpersonen führen die Zustellung auf der letzten Meile durch; die Vermittlung findet über Plattformen statt. So kann der Einzelhandel auch über die Möglichkeit des schnellen Warenversandes verfügen (Brückenschlag zum online-Handel).

Abbildung 11: Bote der für eine Plattform Sendungen ausliefert.  
 Quelle: Storyset/Freepik

**Bewertung:**

Technologisch	+	Bereits Anbieter, Optimierungspotenzial bei Allokation und Routing
Ökonomisch	+	Geringe Lieferkosten, geringe Investitionen in Infrastruktur
Ökologisch	+	Hängt stark von Ausgestaltung und Transportmittel ab
Sozial	o	Einfache Verdienstmöglichkeit, mäßige Entlohnung
Rechtlich	-	Unklarheiten der Haftung, Entlohnungsregelung
Politisch	o	Arbeitsschutz muss sichergestellt werden, Marktregulierung nötig

## 2.3.4 Frachtraumbörse

Merkmale:

- Marktsegment: Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik, Teilladungs- und Stückgutverkehr
- Güterarten/ Produkte: alles
- Kunden: B2B, B2C
- Verkehrszweige: Luftverkehr, Landverkehr, Schiffsverkehr
- Kerntechnologien: Plattform, Automatisierung, KI
- Transportmittel: Flugzeug, Schiff, Lkw, Eisenbahn
- Energieträger: Benzin, Diesel, Kerosin, Strom, Wasserstoff



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Die Frachtraumbörse bietet eine komplette Abwicklung von der Nutzung von Transporten bzw. Frachträumen bis hin zu zusätzlichen Services wie bspw. Ausschreibung von langfristigen Transport- und Logistikkontrakten, Spot-Markt etc.

Abbildung 12: Beispielhafte Darstellung einer Frachtraumbörse.  
 Quelle: Storyset/Freepik

### Bewertung:

Technologisch	++	Techn. Möglichkeiten bestehen, KI und Smart Tendering entwickelt
Ökonomisch	+	Kosteneffiziente Abwicklung v. Transporten
Ökologisch	+	Verbessern der Kapazitätsauslastung
Sozial	o	Akzeptanz teilweise kritisch, Wettbewerb wird erhöht
Rechtlich	o	Rechtliche Abwicklung komplex
Politisch	-	Politik bremst Umsetzung elektr. Frachtbegleitdokumente

## 2.4 Alternative Logistikkonzepte

### 2.4.1 City-Hubs

Merkmale:

- Marktsegment: alle
- Güterarten/ Produkte: Pakete, Lebensmittel, Bekleidung
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr, Luftverkehr
- Technologien: Plattformen, elektrische Nutzfahrzeuge
- Transportmittel: Nutzfahrzeuge
- Energieträger: alle



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Urbane Verteilzentren und Bündelung von Warenströmen, die Verteilzentren befinden sich in oder nahe urbanen Räumen. Die Waren wechseln von großen Sattelzügen auf kleinere Fahrzeuge.

Abbildung 13: City-Hub. Quelle: www.cityhub.nl

### Bewertung:

Technologisch	o	Techn. Möglichkeiten bestehen, Plattformen fehlen noch
Ökonomisch	+	Wirtschaftlichkeit abhängig von Lage, durchaus gegeben
Ökologisch	+	Elektrische Nutzfahrzeuge, Verkehrsreduktion
Sozial	-	Große stadtnahe Flächen benötigt, geringe Akzeptanz, Staureduktion möglich
Rechtlich	o	Kooperation muss rechtlich abgesichert werden
Politisch	-	Großer städteplanerischer Aufwand, Rahmenbedingungen unklar

## 2.4.2 Mikro-Hubs

Merkmale:

- Marktsegment: Pakete
- Güterarten/ Produkte: Kleine und mittlere Pakete, Lebensmittel
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Kerntechnologien: Plattformen, Lastenrad
- Transportmittel: Lkw, Mikromobil, Lastenrad, Drohne, Bot
- Energieträger: alle



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Die Zustellung erfolgt über kleine, dezentrale Hubs in urbanen Räumen (zweistufige Zustellung), im Idealfall mit elektrischen Mikromobilen oder Lastenrädern, perspektivisch mit Drohnen oder Bots.

Abbildung 14: Mikro-Hub (kleinere Variante) betrieben von DHL. Quelle: Deutsche Post AG

### Bewertung:

Technologisch	+	Plattformen, Lastenräder bestehen, bei E-LKW noch Bedarf
Ökonomisch	+	Hängt von Struktur des Zustellgebiets ab, oft wirtschaftlich
Ökologisch	++	Elektrische Mobilität
Sozial	+	Hohe Akzeptanz (Lastenräder, Lärmreduktion), ggf. erhöhter Platzbedarf
Rechtlich	+	weitestgehend geklärt (ohne Nachtlieferung)
Politisch	++	Politisch unterstützt und gut unterstützbar

## 2.4.3 Alternative Zustellmöglichkeiten

Merkmale:

- Marktsegment: Pakete
- Güterarten/ Produkte: Pakete aller Größen, Lebensmittel
- Kunden: B2C, C2C
- Verkehrszweige: alle
- Kerntechnologien: Digitalisierung
- Transportmittel: Transporter, Mikromobile, Lastenrad, Drohne, Bot, unterirdische Transportsysteme
- Energieträger: alle



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Zustellung an Sammelpunkten (Paketstationen) oder individuellen Orten (Kofferraum, private Paketboxen). Die Abholung erfolgt ggf. im Self-Service (fehlgeschlagene Zustellversuche werden vermieden).

Abbildung 15: Packstation. Quelle: iStock/Alexander Farnsworth

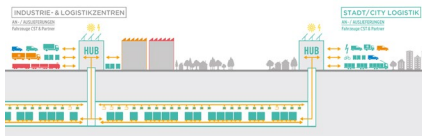
**Bewertung:**

Technologisch	++	Konzept wird teilweise schon umgesetzt
Ökonomisch	++	Hohe Investitionen, dafür hohe Einsparungen möglich
Ökologisch	++	Vermeidung von Verkehr, gute Platzierung der Stationen
Sozial	+	Hohe Akzeptanz (DHL Packstationen gut angenommen)
Rechtlich	+	Voraussetzungen gegeben (Ausnahme in priv. Raum)
Politisch	o	Verfügbarkeit der Flächen ist Herausforderung

**2.5 Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen**

**2.5.1 Tunnels und Pipelines**

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik, Stückgutverkehr
- Güterarten/ Produkte: alles
- Business Focus: B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr, Schienenverkehr unterirdisch
- Technologien: Automatisierung, Tunnelbau, Digitalisierung, KI
- Transportmittel: Schienenfahrzeug oder Shuttle
- Energieträger: Batterie, Strom



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Nutzung von unterirdischen Tunnels und Pipelines zum Gütertransport, welche Produktions- und Logistikstandorte mit städtischen Zentren verbinden.

Abbildung 16: Unterirdische Belieferung eines Hubs. Quelle: CST

**Bewertung:**

Technologisch	o	Tunnelbau ist Herausforderung; Konzeptphase
Ökonomisch	--	Nur mit hohen Investitionen möglich
Ökologisch	+	Entlastung der Städte von Cargo-Verkehr
Sozial	+	Reduzierung des Langstrecken-Verkehrs
Rechtlich	-	Muss genehmigt, umgesetzt und finanziert werden
Politisch	-	Muss genehmigt werden, sonst keine großen Hindernisse

## 2.5.2 Seilbahnen

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik, Stückgutverkehr
- Güterarten/ Produkte: Containerboxen und Pakete
- Kunden: B2C
- Verkehrszweige: -
- Kerntechnologien: Automatisierung, IKT, Digitalisierung
- Transportmittel: Seilbahn
- Energieträger: Strom



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Seilbahnen werden für den Gütertransport in dicht besiedelten und topographisch anspruchsvollen Gebieten genutzt.

Abbildung 17: Seilbahn. Quelle: iStock/sarahdoow

### Bewertung:

Technologisch	+	Technologien bestehen
Ökonomisch	+	Hohe Investitionen, wirtschaftlicher Betrieb möglich
Ökologisch	++	Geringer Energiebedarf
Sozial	+	Starke bauliche Eingriffe
Rechtlich	o	Komplexe Genehmigung
Politisch	-	Nur selten als Lösung anerkannt

## 2.5.3 Infrastruktur in neu erschlossenen Gebieten

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik
- Güterarten/ Produkte: Pakete, Konsumgüter
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr, Luftverkehr
- Kerntechnologien: Automatisierung, Digitalisierung
- Transportmittel: Alle
- Energieträger: Verschiedene



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Berücksichtigung von Logistikinfrastruktur bei der Erschließung neuer Gebiete, z.B. durch das Einplanen von Pick-up-Points und Mikro-Hubs im Stadtgebiet.

Abbildung 18: Veranschaulichung einer Smarten Stadt. Quelle: Freepik

### Bewertung:

Technologisch	+	Technologien vorhanden, konsequente Einplanung
Ökonomisch	+	Direkte Einsparungen bei Dienstleistern
Ökologisch	++	Maßnahmen sind Katalysator für neue Konzepte
Sozial	+	Attraktivere Fußgängerzone, aber auch Unfallgefahr
Rechtlich	o	Verantwortlichkeiten sind zu klären
Politisch	o	Möglicherweise schlechtere Bedingungen für Autofahrer

## 2.5.4 Lieferzonen

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution
- Güterarten/ Produkte: KEP-Sendungen, Konsumgüter
- Kunden: B2B, B2C
- Verkehrszweige: Straßenverkehr
- Kerntechnologien: KI, Blockchain, IoT, Digitalisierung
- Transportmittel: Lkw, Transporter, Mikromobile
- Energieträger: alle



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Einrichtung spezieller Lieferzonen für Zustellfahrzeuge im urbanen Raum.

Abbildung 19: Eigene Darstellung

### Bewertung:

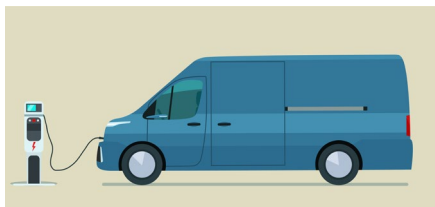
Technologisch	++	Bereits in zahlreichen Städten erprobt und erfolgreich
Ökonomisch	+	Zeit- und Kosteneinsparungen
Ökologisch	+	Reduktion von Behinderungen im Straßenverkehr
Sozial	+	Reduktion von Behinderungen im Straßenverkehr
Rechtlich	o	Rechtlich schwer umsetzbar
Politisch	-	Politik muss nötige Rahmenbedingungen schaffen

## 2.6 Alternative Antriebe

### 2.6.1 Batterieelektrische Nutzfahrzeuge

Merkmale:

- Marktsegment: alle
- Güterarten/ Produkte: alle
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrszweige: Landverkehr, Luftverkehr, Schifffahrt
- Kerntechnologien: Batterien, automatisiertes Fahren
- Transportmittel: Lkw, Transporter, Pkw, Drohne, Lastenrad, Bots etc.
- Energieträger: Strom



### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Batterieelektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge in allen Größen und Formen. Die Reichweite der Fahrzeuge wird durch die Batterie begrenzt und liegt zwischen 80 und 300 km.

Abbildung 20: Elektrische Flotte. Quelle: Adobe Stock



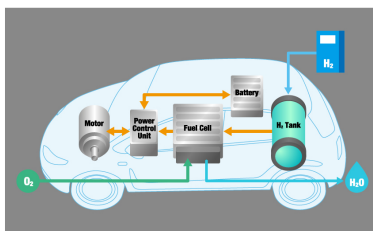
### Bewertung:

Technologisch	o	Weiterentwicklung von Batterietechnologie nötig
Ökonomisch	+	Schon wirtschaftlich in Einzelanwendungen, perspekt. wirtschaftlich
Ökologisch	++	Keine lokalen Emissionen
Sozial	+	Hohe Akzeptanz (Geringer Lärm), Abbau seltener Erden
Rechtlich	++	Flottenemissionsgrenzen, Umweltzonen
Politisch	+	Weitgehender Konsens

## 2.6.2 H2-Brennstoffzellen Nutzfahrzeuge

Merkmale:

- Marktsegment: Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik, Teilladungs- und Stückgutverkehr
- Güterarten/ Produkte: schwere Güter
- Kunden: B2B
- Verkehrsbranche: Landverkehr, Schwerlast- und Fernverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr, Luftverkehr
- Kerntechnologien: Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Batterie
- Transportmittel: schwere Nutzfahrzeuge, Lkw, Züge, Schiffe, Flugzeuge
- Energieträger: Wasserstoff, Batterie



#### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien werden als Antriebstechnologie in Nutzfahrzeugen (z.B. LKW, Bus, Zug, Schiff) genutzt.

Abbildung 21: Brennstoffzellen Nutzfahrzeug. Quelle: Adobe Stock

### Bewertung:

Technologisch	+	Technologie verfügbar und bereits angewendet
Ökonomisch	-	In mobilen Anwendungen noch nicht wirtschaftlich
Ökologisch	+	Keine lokalen Emissionen
Sozial	+	Akzeptanz generell hoch
Rechtlich	o	Müssen teilweise noch mit batterieelektrischen Antrieben gleichgestellt werden
Politisch	+	Wird als alternativer Antrieb gefördert

## 2.7 Weiterführende Konzepte

### 2.7.1 Urbane Produktion

#### 2.7.1.1 Urban Farming

Merkmale:

- Marktsegment: Konsumgüter
- Güterarten/ Produkte: Lebensmittelanbau, hauptsächlich Gemüse
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrsbranche: Landverkehr
- Kerntechnologien: Automatisierung, Digitalisierung
- Transportmittel: Lastenrad, Abholung, kleine Transporter
- Energieträger: alle



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Lokaler Anbau von Lebensmitteln in einem Gebäude/Container in der Stadt. Durch den lokalen Anbau müssen keine weiten Lieferwege zurückgelegt werden und die Kunden holen die Produkte vor Ort ab.

Abbildung 22: Kräuterfarm. Quelle: iStock/bankkgraphy

**Bewertung:**

Technologisch	+	Theoretisch alle Pflanzen möglich, vermehrt angewendet
Ökonomisch	o	Energie- und arbeitsintensiv
Ökologisch	o	Potenzial, Effizienz noch unklar
Sozial	+	Arbeitsplätze möglich, Wohngebiet wird attraktiver
Rechtlich	o	Lobbying durch Bevölkerung
Politisch	o	Steigerung der urbanen Lebensqualität

**2.7.1.2 Fertigung vor Ort**

Merkmale:

- Marktsegment: KEP, Konsumgüterdistribution und -kontraktlogistik
- Güterarten/ Produkte: Produkte die hauptsächlich aus einem Material bestehen
- Kunden: B2C, B2B
- Verkehrszweige: Landverkehr
- Kerntechnologien: 3D Druck, Automatisierung, Digitalisierung
- Transportmittel: -
- Energieträger: Strom



**Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:**

Das gewünschte Produkt wird mithilfe von 3D Druckern direkt vor Ort, z.B. im Geschäft, gefertigt. Der logistische Aufwand beschränkt sich auf den Versand der Rohmaterialien.

Abbildung 23: 3D-Druck von Schuhen. Quelle: iStock/kynny

**Bewertung:**

Technologisch	o	3D Drucker verfügbar, allerdings noch nicht weit verbreitet
Ökonomisch	+	Derzeit hohe Stückkosten, hohes Senkungspotenzial
Ökologisch	++	Emissionsreduktion durch Reduzierung des Gütertransports
Sozial	+	Mögliche geringe Lärmemissionen, höhere Individualität
Rechtlich	o	Regulatorische Zertifizierung- und Haftungsaspekte, Unterscheidung von B2C und B2B
Politisch		k.A.

## 2.7.2 Spezielle IKT-Lösungen

### 2.7.2.1 TrackChain

Merkmale:

- Marktsegment: alle
- Güterarten/ Produkte: alle
- Kunden: B2C, B2B, C2C
- Verkehrszweige: alle
- Kerntechnologien: Blockchain, IoT, Iota, DLT, TrackChain, KI
- Transportmittel: alle
- Energieträger: Strom



#### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Nutzung von Blockchain-Lösungen z.B. für Warenverfolgung, intelligentes Laden und Ridesharing.

Abbildung 24: Grafik zu Blockchain. Quelle: Freepik

#### Bewertung:

Technologisch	+	Teilweise bereits umgesetzt
Ökonomisch	+	Kann zur Senkung von Transaktionskosten führen
Ökologisch	+	Dezentrale Systeme, Peer-to-Peer, effiziente Möglichkeiten
Sozial	o	Befördert Entwicklung verbraucherkonformer Lösungen
Rechtlich	o	Rechtliche Herausforderungen z.B. zu IT-Sicherheit
Politisch	+	Bundestag fördert Kooperationen

### 2.7.2.2 Anticipatory Shipping

Merkmale:

- Marktsegment: alle
- Güterarten/ Produkte: alle
- Kunden: B2B, B2C
- Verkehrszweige: Straßenverkehr, Luftverkehr
- Kerntechnologien: IoT, Big Data, Telematik, IKT und KI
- Transportmittel: alle
- Energieträger: alle



#### Kurzbeschreibung / bzw. Ablauf:

Anticipatory Shipping beschreibt die Anlieferung der Güter bevor diese bestellt werden. Dieses basiert auf Big Data und künstlicher Intelligenz und nutzt typischerweise Suchhistorien, Merkzettel, Warenkörben, etc.

Abbildung 25: Grafik zur Datenverarbeitung. Quelle: Freepik

### **Bewertung:**

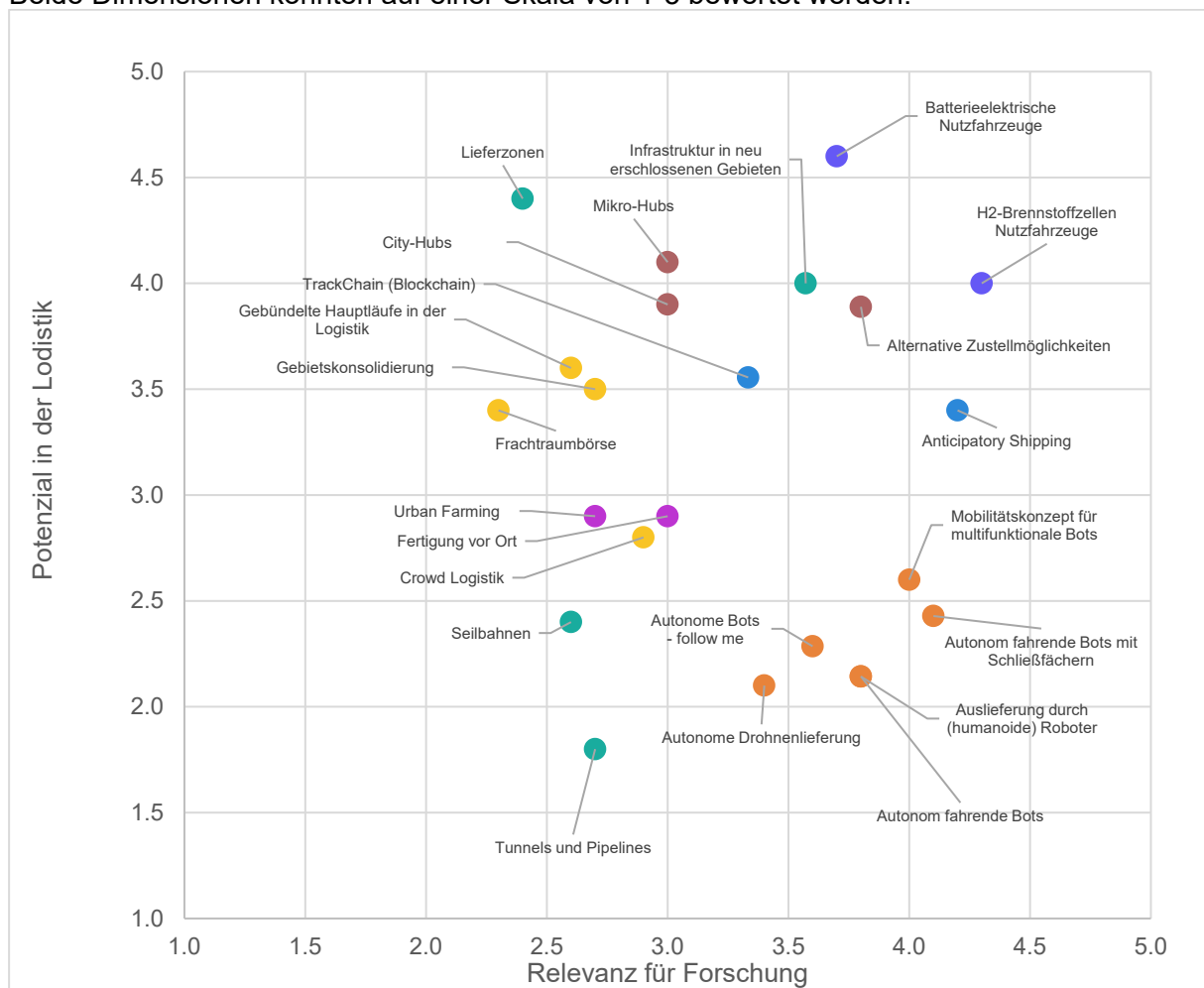
Technologisch	+	Amazon ist Vorreiter, Daten werden schon gesammelt
Ökonomisch	+	Es können Kosten reduziert werden
Ökologisch	o	Emissionsreduktion durch optimierte Auswahl der Verkehrsträger möglich
Sozial	+	Wachsendes Bedürfnis nach Schnelligkeit
Rechtlich	o	Verschärfte Gesetze zu Datenschutz
Politisch	-	Politik gefordert, auf Datenschutzrechte zu achten

## **2.8 Zwischenfazit**

Die Literaturrecherche ergibt eine große Anzahl unterschiedlicher innovativer Lösungen für die innerstädtische Logistik bzw. für die Zustellung auf der letzten Meile. Diese unterscheiden sich in der technologischen Reife, sind jedoch oftmals noch in der Testphase oder existieren nur als Konzepte. Die Ergebnisse der Literaturrecherche deuten darauf hin, dass die Technologien und Konzepte ökonomisch vielversprechend sein können. Ökologisch ergeben sich voraussichtlich in fast allen Lösungen Vorteile. Größere Hürden existieren in den sozialen, rechtlichen und politischen Dimensionen: Fehlende Akzeptanz stellt oft eine Herausforderung dar. Auch der Ersatz des Menschen durch Maschinen und damit verbundene mögliche Arbeitsplatzverluste spielen hier eine Rolle. Rechtlich zeigt die Literaturrecherche, dass oft strenge Regularien, Verbote oder ungeklärte rechtliche Situationen Hürden darstellen können. Für die Implementierung, insbesondere die Diffusion vieler Technologien kann politischer Handlungsbedarf notwendig sein.

### 3 EXPERTENEINSCHÄTZUNG DER INNOVATIONEN FÜR DIE LOGISTIK 2030 UND 2030+

Die auf Basis der Literaturrecherche identifizierten Innovationen wurde mit Experten diskutiert, um die Innovationen besser im Detail zu verstehen und insbesondere um das Potenzial sowie die Relevanz für die Forschung abzuschätzen und so vielversprechende Innovationen für eine umfassende 360°-Analyse (Kapitel 4) zu identifizieren. Abbildung 26 zeigt das von den befragten Experten eingeschätzte Potenzial und die Relevanz für die Forschung der einzelnen Innovationen. Ein hohes Potenzial bedeutet eine hohe erwartete technologische Reife bis 2030, Massentauglichkeit sowie ein Beitrag zu einer effizienteren und nachhaltigeren Logistik. Eine hohe Relevanz bedeutet eine geringere technologische Reife in 2030, aber erwartete Massentauglichkeit ab 2040 und ein Beitrag zu einer effizienteren und nachhaltigeren Logistik. Beide Dimensionen konnten auf einer Skala von 1-5 bewertet werden.



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

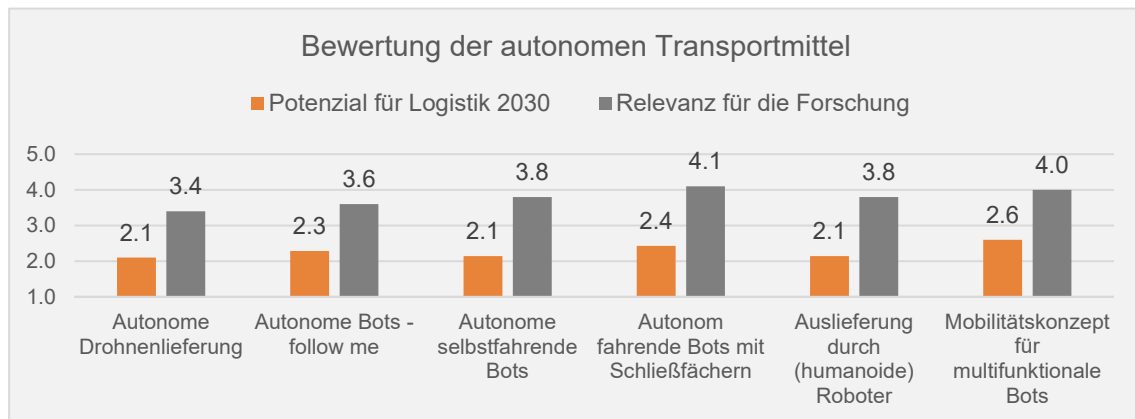
**Abbildung 26: Potenzial für die Logistik 2030 und Relevanz für die Forschung (n=10).**  
 Quelle: Eigene Darstellung

Aus Abbildung 26 wird ersichtlich, dass das Potenzial und die Relevanz für die Forschung für die einzelnen Innovationen unterschiedlich bewertet wird. Aggregiert man die Hauptkategorien (Farben), wird deutlich, dass es Kategorien mit einem hohen Potenzial für 2030 und einer hohen Relevanz für die Forschung gibt — alternative Antriebe

mit den batterieelektrischen und H2-Brennstoffzellen Nutzfahrzeugen (dunkelblau). Für die Alternativen Logistiksysteme (braun), Spezielle IKT (hellblau) und die Logistikplattformen (gelb) wird ein hohes Potenzial für 2030 gesehen, die Relevanz für die Forschung ist geringer. Das bedeutet, dass diese Innovationen technologisch als relativ reif eingeschätzt werden, sodass nicht mehr so viel Forschungsbedarf besteht. Autonome Transportmittel (orange) werden erst ab 2040 erwartet, die Bewertung der einzelnen Innovationen der Kategorie Nutzung bestehender oder neuer Infrastruktur unterscheidet sich sehr stark zwischen den Innovationen. Im Folgenden wird detailliert auf die einzelnen Hauptkategorien und jeweiligen Innovationen eingegangen.

### 3.1 Autonome Transportmittel

Abbildung 27 zeigt das Potenzial für die Logistik 2030 und die Relevanz für die Forschung der einzelnen Innovationen im Bereich der autonomen Transportmittel. Obwohl autonome Transportmittel allgemein ein relativ geringes Potenzial für die Logistik 2030 besitzen (s. auch Abbildung 26) deutet die hohe Relevanz in der Forschung darauf hin, dass sie ab 2040 zunehmend für die Logistik relevant sein können. Eine schnelle Entwicklung und ein weitreichender Einsatz bis 2030 wird nicht erwartet. Trotz der hohen Werte bei der Relevanz für die Forschung, zweifeln die Experten an der Massentauglichkeit bis 2040.



**Abbildung 27: Bewertung der Konzepte zu Autonomen Transportmitteln (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

Bei der **Autonomen Drohnenlieferung** sieht keiner der Experten ein hohes Potenzial für die innerstädtische Logistik 2030. Insbesondere ist die Massentauglichkeit (aktuell) nicht gegeben; Drohnen werden auch ab 2040 laut der befragten Experten nur in einzelnen Bereichen Anwendung finden, beispielsweise bei der schnellen Lieferung von kleinen Paketen (Transport von medizinischen Produkten), der Belieferung in sehr weitläufigen Gebieten und der Belieferung in Verbindung mit einem Boten und Transporter. Die Nachteile der Belieferung mit autonomen Drohnen sind die Ineffizienz (max. 50% Auslastung, da die Rückflüge nicht beladen sind) und das Fehlen ökologischer und sozialer Vorteile; insbesondere die Lärmbelastung stellt hier einen Nachteil dar. Die Experten sehen daher einen deutlichen Vorteil in landgebundenen Verkehrssystemen.

**Autonome Bots** allgemein sind ein häufig diskutiertes Thema. Trotz der hohen Aktivität vieler Logistikdienstleister und Startups in diesem Markt, sind die Experten bezüglich des Potenzials skeptisch. Technologisch bestehen noch einige Hürden, vollautonomes Fahren wird in der Stadt bis 2030 ausgeschlossen. Ökonomisch ist beispielsweise ein Lastenrad einem autonomen Bot überlegen; es benötigt keine energieintensive Datenverarbeitung und keine teuren Sensoren. Allerdings halten die Experten den regelmäßigen Einsatz von autonom fahrenden Bots bis 2040 oder 2050 für realistisch. Insbesondere Einsparungen bei den Personalkosten können die Wirtschaftlichkeit von Bots verbessern.



Auch wenn sie bezüglich des Potenzials quantitativ ähnlich niedrig bewertet wurden wie die autonomen Bots, halten die meisten Experten die **autonomen Bots - „follow me“** im Hinblick auf den Zeithorizont 2030 für möglich. Technologisch stehen die teilautonomen "follow me" Bots nicht vor den gleichen Hürden wie ein vollautonomes Fahrzeug. Da jeweils ein Bote vorausfährt und den Zug steuert, können auch unübersichtliche Stellen im Stadtverkehr überwunden werden. Zudem sehen die Experten in den Einzelfahrzeugen ein sinnvolles Konzept, um das Volumen und damit auch die Auslastung von beispielsweise Lastenrädern in Kombination mit Mikro-Hubs zu erhöhen. Mehrere Bots mit einem hohen Ladevolumen können dem Lastenrad folgen und so die Kapazität und damit das Liefergebiet des Lastenrads vergrößern. So können Neubeladungen zwischen den Einzeltouren entfallen und zu einer Zeit- und damit Kostenersparnis führen.

In **autonom fahrenden Bots** sehen die Experten wenig Potenzial für die innerstädtische Logistik 2030. Perspektivisch könnten autonomen Fahrzeuge selbstständig bis an die Stadtgrenze fahren, dort dann ein Bote zusteigen, und dieser dann mit dem autonom fahrenden Bot die letzte Meile zurücklegen.

Bei **autonom fahrenden Bots mit Schließfächern** sehen die Experten wenig Potenzial bis zum Jahr 2030, jedoch hohen Bedarf für die Forschung und damit Potenzial für 2040. Dies wird durch die Entwicklungen im Bereich des autonomen Fahrens, welches erst später erwartet wird, sowie durch die relativ hohen Kosten im Vergleich zu einer Paketstation bei geringem Mehrwert begründet. Der als Paketstation verwendete Bot steht die meiste Zeit an einem Ort, d.h. die Technologie und Funktionen werden nur selten genutzt. Dies führt zu einem relativ hohen Preis pro Paket; Bots sind fest installierten Paketstationen ökonomisch unterlegen. Letztere können gegebenenfalls von autonomen Fahrzeugen (beispielsweise LieferBot-E<sup>5</sup>, welcher autonom Paketkästen be- und entladen kann) beliefert werden. Eine Verringerung der Barrieren für das autonome Fahren und sinkenden Kosten würden die Attraktivität der Innovation steuern; Entwicklungen sollten dementsprechend durch weitere Forschung unterstützt werden.

Bei der **Auslieferung durch humanoide Roboter** sehen die Experten zwei große Hindernisse: die Technologiereife bis 2030 und die soziale Akzeptanz. Die Lieferungsempfänger werden einem Roboter, der vor der Tür steht und ein Paket zustellt, zunächst skeptisch gegenüberstehen. Bis in das Jahr 2050 halten die Experten die Entwicklung für realistischer. Es könnte zunächst der Bote durch ein Exoskelett unterstützt werden, dann Roboter die Boten in den Transportern begleiten und zuletzt Lieferungen teilweise von Robotern übergeben werden. Eine Kombination von autonomen Bots und humanoiden Robotern in Verbindung mit mechatronischem Briefkasten in Gebäuden könnte perspektivisch eine höhere Automatisierung der Zustellung ermöglichen. Bei entsprechendem großen Bots bzw. Wechselbehältern ist auch ein Einsatz in der Belieferung des Einzelhandels denkbar. Generell gilt aber, dass noch einiges an Bedarf für die Forschung in diesen Gebieten besteht und sich das Potenzial dieser Forschung womöglich erst ab 2040 entfalten kann.

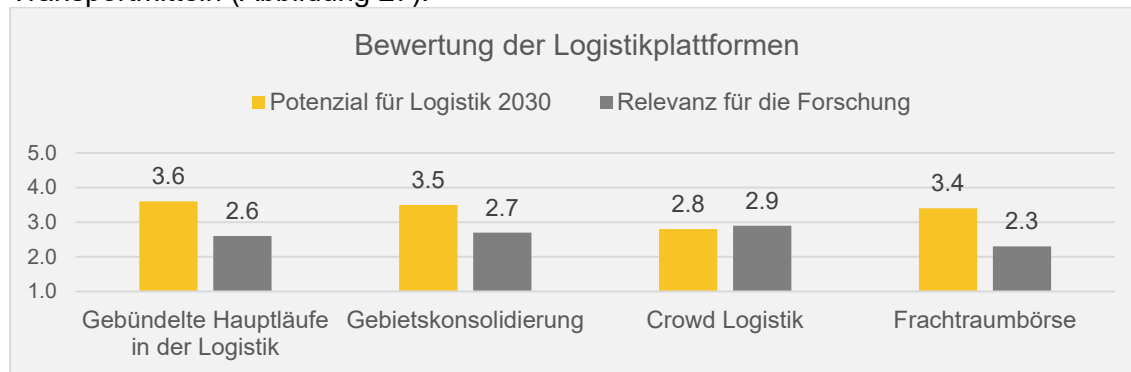
In **Mobilitätskonzepten für multifunktionale autonome Bots** sehen die Experten gegenüber den anderen autonomen Transportmitteln ein relativ hohes Potenzial. Durch die Modularität könnte dieses Konzept breiten Anschluss im gesamten innerstädtischen Verkehr finden. Mit der Überwindung der generellen Hürden im Bereich autonomes Fahren könnten diese Transportfahrzeuge neben dem Personentransport in der KEP-Branche (z.B. als gebrandete Fahrzeuge) und dem städtischen Güterverkehr (z.B. Belieferung des Einzelhandels, Müllentsorgung etc.) eingesetzt werden. Massentauglichkeit wird hier, wie bei allen autonomen Fahrzeugen, erst nach 2030 erreicht.

---

<sup>5</sup> <https://www.lieferbot-e.de/>

## 3.2 Logistikplattformen

Die Experten sind sich einig, dass Plattformen im Allgemeinen in der Entwicklung der Logistik und in der Verbindung mit weiteren Konzepten eine wichtige Rolle spielen werden; der Forschungsbedarf wird geringer eingeschätzt als beispielsweise bei den autonomen Transportmitteln (Abbildung 27).



**Abbildung 28: Bewertung der Konzepte zu Logistikplattformen (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

Über die Konsolidierung von Lieferungen und gebündelte Sortierung kann laut der Experten eine Steigerung der pro Stopp zugestellten Pakete erreicht werden. Die **Gebündelten Hauptläufe** spielen nicht nur alleine, sondern auch in der **Gebietskonsolidierung** eine wichtige Rolle. Für letzteres muss neben der Konsolidierung auf den Hauptläufen weitere Konsolidierung stattfinden (Expertenverweis auf eine Studie [Bogdanski 2019]). Hauptläufe müssen gebündelt sortiert werden. Werden Sendungen nur für die letzte Meile gebündelt und zwischen Depots transportiert, führt dies zu erhöhter Verkehrsbelastung. Zudem müssen effiziente Tourenplanung und eine hohe Auslastung der Transporter berücksichtigt werden. Angemerkt wurde zudem, dass rechtliche Hürden für das Ausschreiben eines Gebiets und die Vergabe an einen Anbieter existieren. Daher erscheint eine von der Stadt organisierte Gebietskonsolidierung, in der einem Logistikdienstleister ein Gebiet zugeteilt wird, unrealistisch. Erwähnt wurde zudem der Vorteil von großen Logistikdienstleistern wie Amazon und Händlern, die die Amazon Online Plattform nutzen<sup>6</sup>, welche gegenüber kleineren Dienstleistern effizienter planen können. Herausforderung für die Konsolidierung können längere Lieferzeiten sein, welche ein Umdenken der Bevölkerung, weg vom Convenience Lieferservice, erfordern. Untersuchungen im Bereich "Slow Logistics" (Wiese 2018) sowie die Einschätzungen weisen darauf hin, dass Empfänger auch längere Lieferzeiten akzeptieren würden.

**Crowd Logistik** wird von den Experten mit dem geringsten Potenzial der Logistikplattformen bewertet. Für lokale Einzelhändler (Boutiquen, Feinkostläden, Unverpackt-Läden, Geschäfte mit speziellen und hochwertigen Produkten) in der Stadt kann Crowd Logistik Vorteile haben, da Waren ohne hohe eigene Investitionen im ad-hoc-Versand angeboten werden können. Für Waren aus weiter entfernten Produktionsstätten spielt die Crowd Logistik eine geringere Rolle. Über eine Online-Plattform aufgebaute Lieferstrukturen sind im Allgemeinen teurer als existierende, hoch optimierte Lieferstrukturen. Um diese Lieferkonzepte zu rechtfertigen, muss eine Zahlungsbereitschaft für einen sofortigen (innerhalb von 15 min) oder zumindest kurzfristigen Erhalt bestehen. Eine Ausnahme sind Lieferdienste für Nahrungsmittel (z.B. Delivery Hero, Gorillas). Hier besteht keine große Konkurrenz durch andere Logistikanbieterbranchen und bei den Kunden besteht eine Zahlungsbereitschaft für den sofortigen Erhalt der Ware. Soziale und rechtliche Hürden bestehen, insbesondere die sozialen Aspekte (niedrige Bezahlung, schlechte Arbeitsbedingungen, unklare

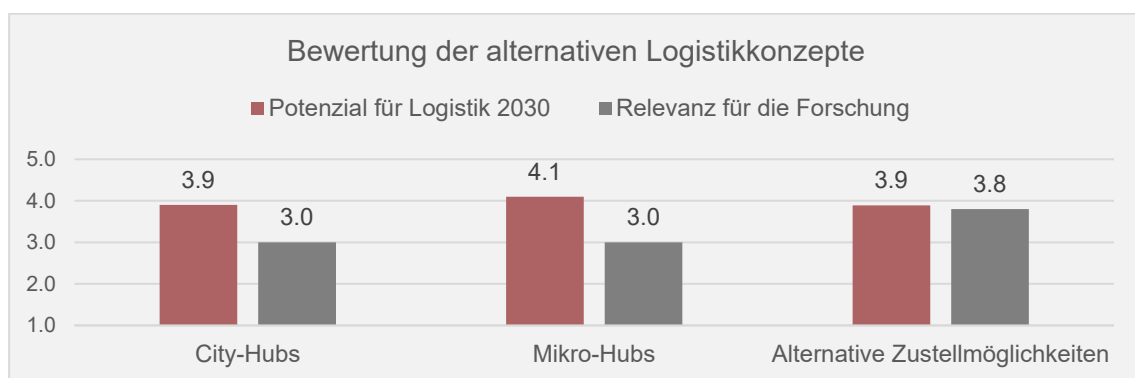
<sup>6</sup> Zusammen wickelten diese im Jahr 2021 mit 16 Logistikzentren in Deutschland 53% des deutschen Onlinehandels ab (Handelsblatt 2021).

Versicherungsregelungen, Gefahr von Schwarzarbeit) werden von den Experten kritisch betrachtet.

**Frachtraumbörsen** werden aktuell schon verwendet. Weiterentwicklungsmöglichkeiten sehen Experten in einer breiten Kommunikation von Frachtraumbörsen untereinander, z.B. die Kommunikation von Begegnungsverkehren. Im Idealfall könnte dadurch immer mit voller Auslastung gefahren werden. Eine Frachtraumbörse als Einzellösung ist nach Meinung der Experten nicht zielführend.

### 3.3 Alternative Logistikkonzepte

Die Experten sehen ein hohes Potenzial in alternativen Logistikkonzepten wie City-Hubs, Mikro-Hubs und alternativen Zustellmöglichkeiten; weitere Forschung ist trotzdem notwendig (Abbildung 29).



**Abbildung 29: Bewertung der Konzepte zu Alternativen Logistikkonzepten (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

**City-Hubs** und **Mikro-Hubs** spielen eine zentrale Rolle für die wichtige, aber noch kritisch gesehene Konsolidierung von Lieferungen. Bei beiden sind allerdings noch die Organisation, das Modell und die Governance unklar. Mikro-Hubs werden vor allem in Verbindung mit anderen Konzepten in der KEP-Branche als wichtig befunden. Sie fungieren als Start- oder Endpunkt (Ladepunkte) der Touren und gelten als „Enabler“ für weitere Konzepte: Durch sie können andere Technologien wie Lastenräder oder autonome Bots in der Stadt effizient eingesetzt werden. Durch die Kombination von Mikro-Hubs mit Lastenrädern, autonomen follow-me Bots und Wechselbehältern (standardisierte Transportbehältnisse auf dem Lastenrad) kann das Lastenrad schneller neu beladen werden, sein Liefervolumen durch die follow-me Bots deutlich erhöht werden und ist so auf längeren Touren konkurrenzfähig mit einem Transporter (pro Schicht 80 Stopps anstelle der typischerweise 20-30 Stopps). Zudem ermöglichen Mikro-Hub-Konzepte wie PaketConcierge, KoMoDo Berlin (KoMoDo Berlin 2021) oder DeinDepot (Schäfer et al. 2020) eine Bündelung von Sendungen. Hubs wie beispielsweise DeinDepot ermöglichen eine Bündelung der Pakete von verschiedenen Dienstleistern und eine Auslieferung auf der letzten Meile durch vom Depot-Betreiber betriebene Lastenräder.

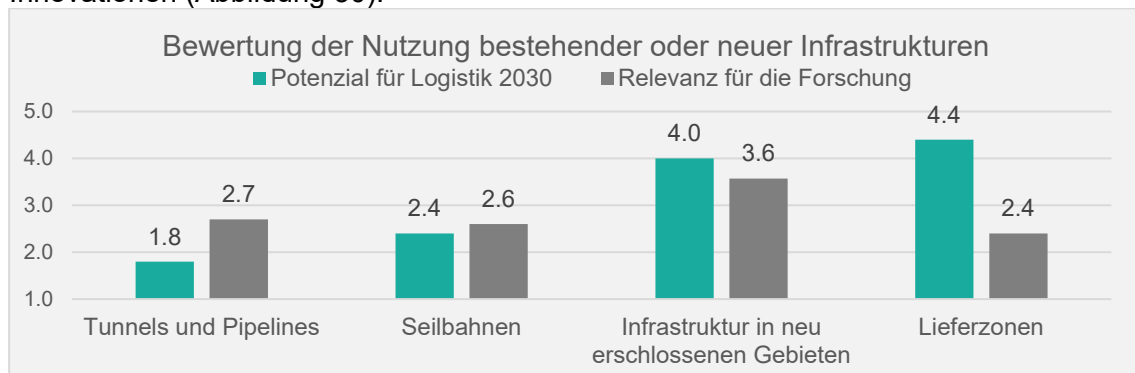
Der Einsatz von Mikro-Hubs steht allerdings noch vor mehreren Herausforderungen. Beispielsweise sind vielen Städten die Anforderungen an einen Mikro-Hub noch unklar. Standorte müssten geeignet ausgewählt werden. Langfristig wünschen sich die Dienstleister mehr Dialog mit den Städten. Für eine erfolgreiche Umsetzung von Mikro-Hubs in Städten sind neue Regularien seitens der Stadt zentral. Dies betrifft vor allem die Nutzungskonkurrenz (Preisfestlegung für Flächen), Flächenbevorratung seitens der Stadt (Zusammenführen der verschiedenen Akteure, siehe Beispiel Paris) und die Übernahme von Mikro-Hub-Flächen als Kategorie ins Baurecht. Zudem werden ein bundesweit standardisiertes Vorgehen und standardisierte Lösungen bei der Etablierung von Mikro-Hubs

benötigt. Des Weiteren bedeutet die Belieferung von Mikro-Hubs für alle Akteure eine Anpassung der Prozesskette. Da Mikro-Hubs anbieterübergreifend eingesetzt werden sollten, müssen die Prozesskette, die Zentral-Hubs und die Hauptläufe anbieterübergreifend geplant werden. Beispielsweise müssen auch Sendungen der Wettbewerber sortiert werden können. Synergien entstehen so mit dem Konzept Gebietskonsolidierung oder – allgemeiner – der Bündelung von Lieferungen.

**Alternative Zustellmöglichkeiten** werden schon lange in der Logistikbranche diskutiert. Litfaß-Logistik, Kofferraumzustellung oder Paketboxen am Haus könnten bis 2030 umgesetzt werden können. Insbesondere die hohe Anzahl an Business-to-Consumer (B2C)-Sendungen schafft Anwendungsfälle für Paketboxen. Beispielsweise werden bei einer Abwicklung von 10% der aktuellen B2C-Sendungen 50.000 Paketboxen benötigt. Herausforderungen sind Unklarheiten bzgl. der Rechte und Funktionen des Endverbrauchers und die gegebenenfalls limitierte Kapazität eines Mikro-Hubs. Zudem kann aufgrund möglicher Probleme motorisierter Abholverkehre eine direkte Zustellung sinnvoller sein.

### 3.4 Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen

Die Einschätzungen für das Potenzial der Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen sowie deren Relevanz für die Forschung unterscheidet sich deutlich zwischen den einzelnen Innovationen (Abbildung 30).



**Abbildung 30: Bewertung der Konzepte zur Nutzung bestehender oder neuer Infrastrukturen (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

**Tunnel und Pipelines** weisen ein geringes Potenzial auf. Aufgrund des hohen planerischen und finanziellen Aufwandes werden untertunnelte Städte weder für 2030 noch für 2040 als realistisch angesehen. Insbesondere für eine Implementierung bis 2030 hätten die planerischen Anforderungen schon beginnen müssen. Auch aus ökologischer Sicht sehen die Experten kaum Potenzial (Ausnahmen sind Projekte wie der „Hyperloop“). Allerdings wird die Verbindung von Städten durch Tunnels als für einfacher machbar eingeschätzt. Tunnels und Pipelines könnten folglich eine Option für die Optimierung der Hauptläufe sein und für den Gütertransport zwischen Städten eine Alternative zur Straße oder Schiene darstellen.

Das Potenzial von **Seilbahnen** wird ähnlich gering eingeschätzt. Grund sind dafür die großen Hürden für den Neubau von Seilbahnen. Der Einsatz kann in bestimmten Gebieten, wie beispielsweise in La Paz mit großen Höhenunterschieden, sinnvoll sein. Auch gibt es in Deutschland die Überlegung, Stadtteile über Flüsse hinweg durch ein Seilbahnnetz zu verbinden. Oftmals scheitern diese Projekte an der geringen Akzeptanz. Herausforderungen für eine Umsetzung bis 2030 sind laut den befragten Experten der lange Planungsprozess (Seilbahnen müssten sich bereits jetzt in der Planung befinden), Standardisierung von Transportbehältern (insbesondere für Tunnels) und der erforderliche aufwendige Vor- und Nachlauf.

Die Planung von **Infrastruktur für neu erschlossene Gebiete** birgt insbesondere in Hinblick auf das große Wachstum von Städten ein hohes Potenzial. Neu erschlossene Gebiete

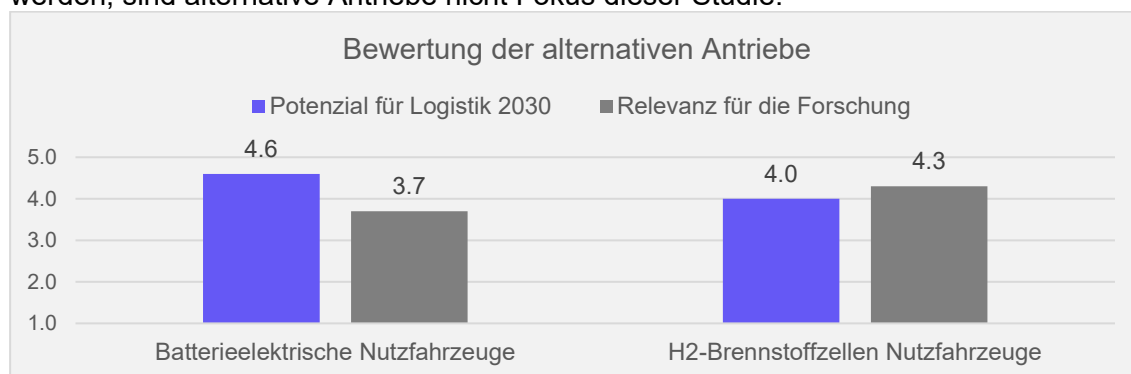
können systematisch konzipiert werden; Lieferzonen, Ladezonen, Paketboxen, Fahrradwege, etc. können und sollten eingeplant werden. Insbesondere bei neuen Gebäuden sollten neben Stellplätzen auch Paketboxen im Bebauungsplan vorgeschrieben werden (oder diese sogar ersetzen), um so infrastrukturellen Raum für den steigenden Bedarf an Paketzustellungen zu schaffen. Auch könnten beispielsweise Standorte von Supermärkten so geplant werden, dass die Logistikdienstleister nicht in das Wohngebiet fahren müssen und die Supermärkte für die Bewohner trotzdem gut zu erreichen sind.

**Lieferzonen** werden von den Experten mit sehr hohem Potenzial bewertet. In der Stadt sind Lieferzonen vorteilhaft für den innerstädtischen Güterverkehr und die KEP-Branche. Durch das Einrichten von Lieferzonen kann insbesondere das Parken in zweiter Reihe und Zustellstopps verringert werden.

Zusätzlich zu den identifizierten Lösungen wurde durch die Experten das Konzept **Nachtlogistik** (Taefi 2019) ergänzt. Damit kann Infrastruktur effizienter für die Logistik genutzt werden indem auch Tagesrand- und Nachtzeiten mit weniger Verkehr für die Belieferung genutzt werden.

### 3.5 Alternative Antriebe

Von dem hohen Potenzial alternativer Antriebe und der gleichzeitigen Relevanz für die Forschung sind alle Experten überzeugt (Abbildung 31). Insbesondere elektrifizierte Fahrzeuge gelten als Grundvoraussetzung einer nachhaltigen Logistik und können in existierende Prozesse in der Logistikbranche integriert werden. Alternative Antriebe werden sicher eine große Rolle in der zukünftigen Logistik spielen. Da sie bereits intensiv untersucht werden, sind alternative Antriebe nicht Fokus dieser Studie.



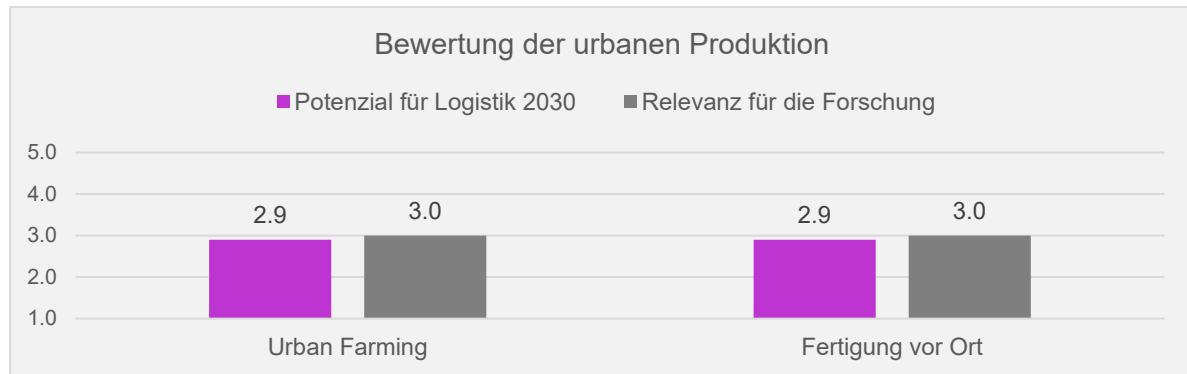
**Abbildung 31: Bewertung der Konzepte zu Alternativen Antrieben (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

In der Stadt werden hauptsächlich **batterieelektrische Fahrzeuge** erwartet, auf der Langstrecke potenziell auch **wasserstoffbetriebene Schwerlastfahrzeuge**. Alle Experten sind sich einig, dass es bei den Fahrzeugantrieben bis 2030 zu großen Veränderungen kommen wird und muss. Elektrische LKWs sind wartungsärmer als die derzeitigen LKWs mit Verbrennungsmotoren und werden zukünftig aufgrund sinkender Batteriepreise günstiger werden. Hürden sind derzeit noch die Skepsis gegenüber den neuen Antrieben bei den Logistikdienstleistern, welche sich jedoch stetig verringert. Zudem fehle ausreichend Druck, um auf alternative Antriebe umzusteigen zu müssen. Häufig angesprochener Nachteil batterieelektrischer Fahrzeuge ist zudem die Herstellung und Entsorgung bzw. das Recycling der Batterie. Für den ökologischen Vorteil der elektrischen Antriebe ist die ökologisch nachhaltige Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, d.h. die Energiewende, zentral. Weitere alternative Kraftstoffe wie synthetische Energieträger (e-Fuels) werden hauptsächlich in der chemischen Industrie sowie im See- und Luftverkehr genutzt werden. Für den Straßenverkehr werden mittelfristig keine großen Mengen dieser Kraftstoffe zur Verfügung stehen — oder nur zu hohen Preisen verfügbar sein. Zudem entstehen durch e-

Fuels trotzdem noch CO<sub>2</sub>-Emissionen vor Ort, welche durch elektrische Antriebe in Kombination mit erneuerbarem Strom relativ vermeiden werden.

### 3.6 Urbane Produktion

Urbane Produktion wird mit dem geringsten Potenzial bewertet. Es wird auch keine deutliche Relevanz für die Forschung gesehen (Abbildung 32).



**Abbildung 32: Bewertung der Konzepte zu Urbaner Produktion (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

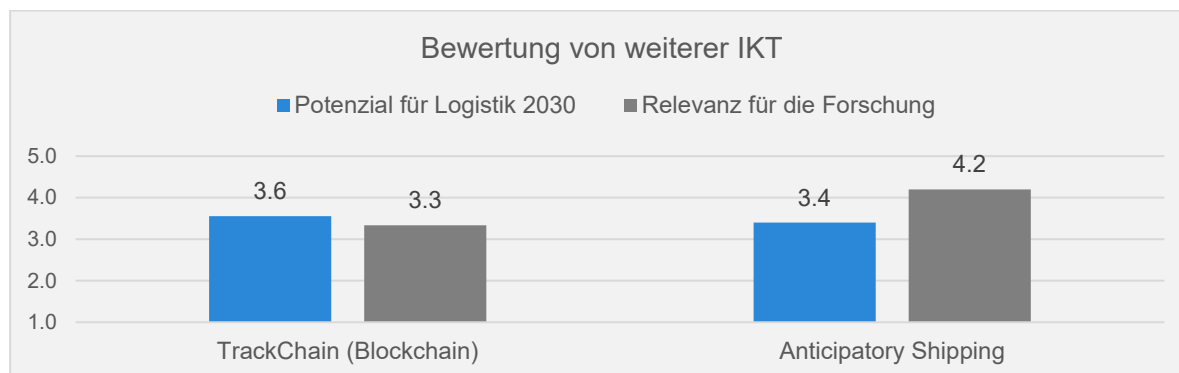
**Urban Farming** sehen die Experten bis 2030 nicht flächendeckend in der Stadt. Vereinzelt können Betreiber mit Ihren Konzepten erfolgreich sein. Eine Versorgung der gesamten Stadt wird jedoch nicht möglich sein, insbesondere aufgrund des fehlenden Platzes. Um eine Sensibilisierung der Bevölkerung zu erreichen kann das Einpflanzen von fruchtbaren Pflanzen an Grünstellen eine Möglichkeit darstellen.

Ähnliches Potenzial sehen die Experten in der **Fertigung vor Ort (3D Druck)**, insbesondere im B2B-Bereich, in dem der 3D-Druck bereits häufig eingesetzt wird. Ob der 3D-Druck in urbanen Produktionszentren erfolgreich sein wird, ist fraglich. Die Experten sehen eine Gefahr eines Hypes, ausgehend von dem Hype um 3D-Druck ab 2014, welcher sich wieder deutlich abschwächte (Gartner 2014).

### 3.7 Spezielle IKT-Lösungen

Bei den speziellen IKT-Lösungen sehen die Experten sowohl hohes Potenzial als auch eine hohe Relevanz für die Forschung (Abbildung 33). Auch wenn laut dieser Einschätzung der Einsatz dieser Lösungen schon 2030 möglich sein wird, wird es noch Forschungsbedarf und hohes Potenzial für die Weiterentwicklung geben.





**Abbildung 33: Bewertung der Konzepte zu Speziellen IKT (n=10). Quelle: Eigene Darstellung**

Bei „**Track Chain (Blockchain)**“ herrscht allgemeiner Konsens über das hohe Potenzial. Jedoch ist unklar, wie relevant die Lösungen für die innerstädtische Logistik sein werden. Allgemein wird die Blockchain-Technologie als zu weit von der gelebten Praxis entfernt eingeschätzt. Anwendungsfälle findet die Blockchain-Technologie insbesondere bei Lieferketten, an denen viele verteilte Entitäten beteiligt sind, welche untereinander Daten austauschen.

Einigkeit besteht bei „**Anticipatory Shipping**“. Der Versandhandel agiert schon lange datengetrieben. Im Paketshop-Netzwerk, zum Beispiel bei DPD, werden Daten von Städten, Geodaten, Shops und Öffnungszeiten analysiert. Weiter gefasst ist IKT inzwischen weit verbreitet in der Navigation enthalten. Erwähnt wurde hier die Konkurrenz durch große Anbieter wie Amazon, welche mit einer Abwicklung von ca. 50% des Onlinehandels (Handelsblatt 2021) führend in der Menge der Daten ist.

### 3.8 Zwischenfazit

Die Bewertung und Einschätzung der Experten zeigt, dass mehrere Innovationen in der innerstädtischen Logistik 2030 und darüber hinaus eine Rolle spielen werden. Die Logistik wird divers sein: Einige Technologien wird es als Einzellösungen geben. Großes Potenzial wird es im Zusammenspiel unterschiedlicher Technologien und Konzepte geben, sodass Synergieeffekte möglich sein können. Während für manche Technologien und Konzepte Marktreife und sogar Massentauglichkeit schon ab 2030 erreicht werden kann, beispielsweise alternative Antriebe oder Logistikplattformen, werden andere erst später relevant und es besteht noch Forschungsbedarf, beispielsweise bei autonomen Transportmitteln.

Neben der Umstellung auf alternative Antriebe, welche laut der Experten eine zentrale Rolle spielen wird, wird die Logistik 2030 dominiert durch die alternativen Logistikkonzepte, insbesondere Mikro-Hubs, welche ein „Enabler“ für verschiedene Technologien darstellen können. An zweiter Stelle stehen die autonomen Transportmittel, bis 2030 jedoch hauptsächlich „follow me“ Bots (teilautonom) auf der Straße. Ab 2040 könnten auch vollautonome Transportmittel wie autonom fahrende Bots relevant werden. Es besteht allgemein bei den autonomen Transportmitteln große Relevanz für die Forschung und hohes Synergiepotenzial mit anderen Technologien und Konzepten. An dritter Stelle stehen Logistikplattformen, hauptsächlich genutzt für die Bündelung (konsolidierte Lieferung, gebündelte Sortierung) gefolgt von weiteren IKT, insbesondere Anticipatory Shipping, da Blockchain als zu praxisfern gilt.

Aufgrund dieser Erkenntnisse und unter Einbezug bereits geplanter Studien sowie eines möglichen Förderbedarfs werden die folgenden Innovationen im Rahmen einer 360°-Analyse näher untersucht:



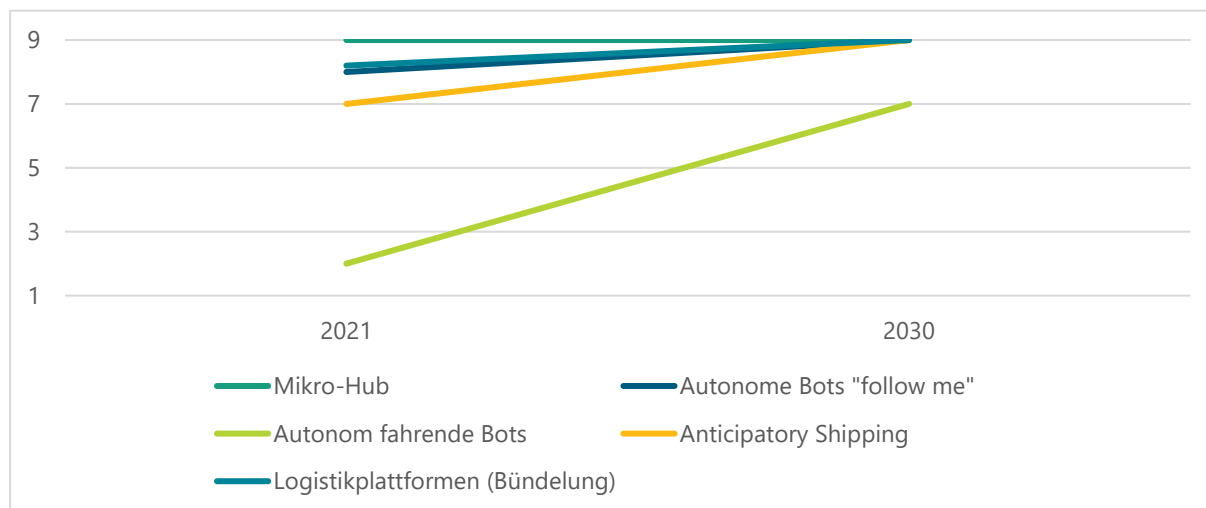
- **Mikro-Hubs** (hohes Potenzial für die innerstädtische Logistik 2030, Synergien möglich)
- **Autonome Bots „follow me“** (hohes Potenzial für die innerstädtische Logistik 2030, hohe Relevanz für die Forschung)
- **Autonom fahrende Bots** (ggf. auch multifunktional) (perspektivisch ab ca. 2040)
- **Anticipatory Shipping** (hohe Relevanz für die Forschung)
- **Logistikplattformen mit Fokus auf Bündelung von Hauptläufen bzw. Sortierung** (hohes Potenzial für die innerstädtische Logistik 2030, Synergien möglich)

## 4 360° ANALYSE VIELVERSPRECHENDER LOGISTIKTECHNOLOGIEN UND -KONZEPTE

Im Folgenden werden die vielversprechenden Technologien und Konzepte anhand der Dimensionen technologisch, ökonomisch, ökologisch, sozial, rechtlich und politisch miteinander verglichen und im Einzelnen diskutiert. Der Fokus liegt auf dem technologischen, ökonomischen und ökologischen Vergleich. Hierfür werden als Indikatoren das TRL, die mittels der TCO-Analyse ermittelten Kosten pro Paket und die Emissionen verwendet. Abschließend werden die Dimensionen sozial, rechtlich und politisch beleuchtet.

### 4.1 Technologisch

Abbildung 34 zeigt einen Vergleich des aktuellen und erwarteten TRLs der betrachteten Technologien und Konzepte. Während die Mikro-Hubs, "follow me"-Bots, Anticipatory Shipping und die Bündelung der Hauptläufe durch Logistikplattformen technologisch schon heute relativ weit fortgeschritten sind, ist für die autonom fahrenden Bots bis 2030 der höchste TRL-Sprung zu erwarten. Dies weist auf eine hohe Relevanz für die Forschung hin.



**Abbildung 34: Aktuelles und erwartetes TRL-Level. Quelle: Eigene Darstellung**

Bei Mikro-Hubs wird das TRL derzeit auf 8 eingeschätzt, für 2030 ist das erwartete TRL 9. Mikro-Hubs befinden sich bei vielen Anbietern bereits regulär im Einsatz. Oftmals müssen lediglich die Anforderungen (micro-hub 2021; Keiser 2019; Hanseatic Transport Consultancy et al. 2019; Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein 2019) an einen geeigneten Standort noch bekannt gemacht werden. Technologisch bestehen bei der Umsetzung von Mikro-Hubs keine Hindernisse.

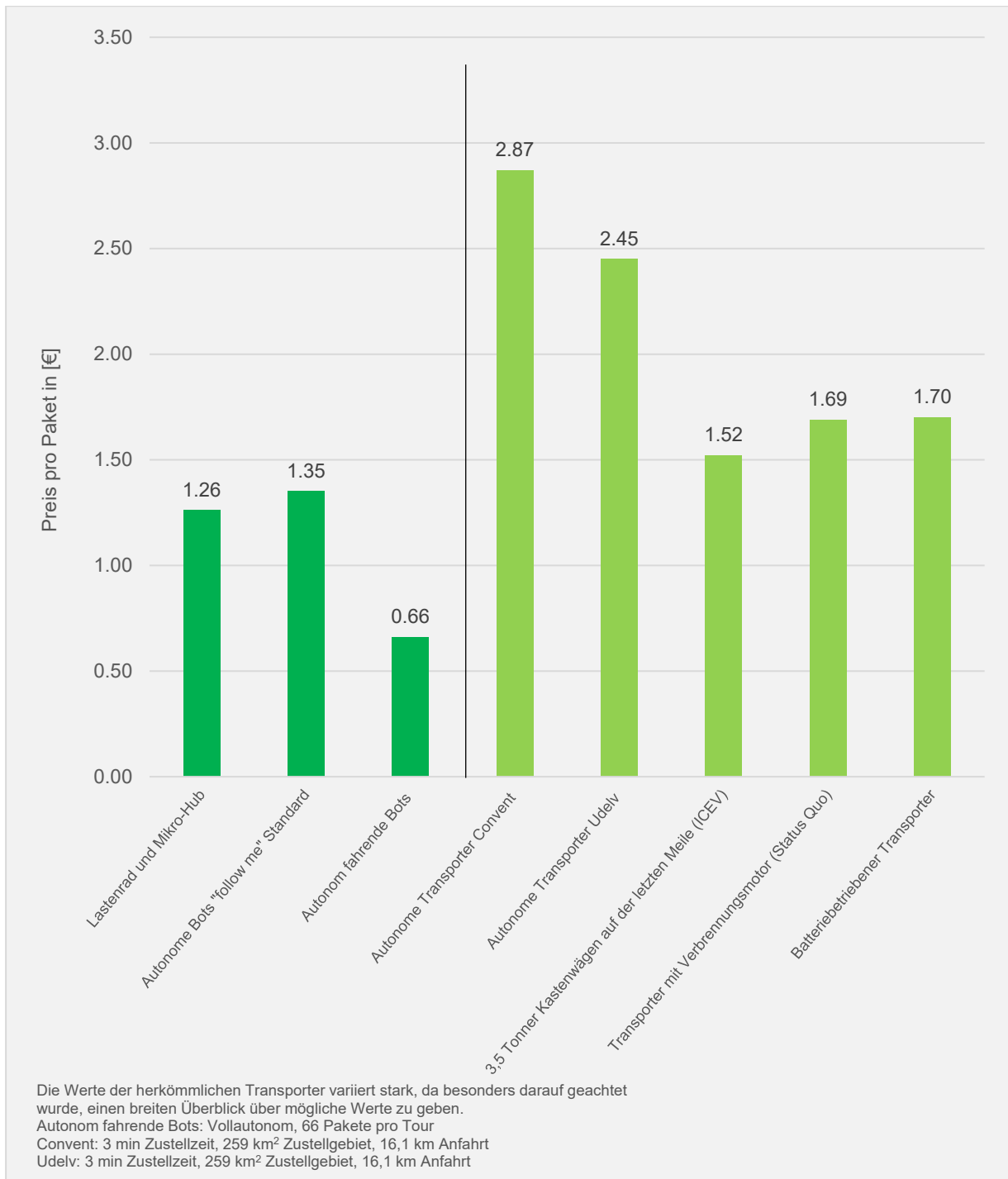
Für "follow me"-Bots beträgt das TRL derzeit 7, für 2030 wird ein TRL von 9 erwartet. Das Konzept eines anwesenden Menschen bei der Navigation ist ein großer Vorteil gegenüber vollautomatisierten Fahrzeugen. Eine zentrale Rolle für das TRL spielt hier die Künstliche Intelligenz (KI), insbesondere die Bildverarbeitung und Objekterkennung. Ähnlich wie bei den autonom fahrenden Bots, bedarf es Entwicklung bei der Navigation und dem allgemeinen System KI. Die KI und Sensorik für das autonome Fahren ist nach NHTSA Level<sup>7</sup> als "partial automation" und damit zwischen Level 2 und Level 3 einzuordnen.

<sup>7</sup> <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>

Autonom fahrende Bots werden derzeit mit TRL mit 2-3 eingeschätzt, für 2030 wird ein TRL von 7 erwartet. Diese Level unterscheiden sich mit den TRL für autonomes Fahren, in welcher autonom fahrende Fahrzeuge derzeit mit Level 5 (TRL 5 autonomes Fahren, entspricht TRL 2-3 der in dieser Studie verwendeten Skala) und für 2030 mit Level 9 eingeschätzt werden. Autonome Fahrzeuge werden bereits von verschiedenen Anbietern getestet und prototypisch eingesetzt (Brabänder 2020). Ankündigungen der Automobilindustrie (McGee et al. 2019) deuten darauf hin, dass bis 2030 TRL 9 erreicht werden kann. Da hierfür jedoch einige Herausforderungen überwunden werden müssen (Huang et al. 2020; Arena et al. 2018), wird TRL Level 7 für das Jahr 2030 als realistisch eingeschätzt. Für TRL relevante Technologien sind die Navigation (z.B.: Übertragung von Objekten und der eigenen Person von einem Ort zum anderen in verschiedenen Maßstäben, wie Räume, Gebäude, Städte usw. durch verschiedene Modalitäten und Ansätze wie Landmarking, Geolokalisierung usw.) und die naive Physik (z.B.: Identifizierung und Verfolgung von Fußgängern und anderen Fahrzeugen, Vorhersage von Objektbewegung, Hindernisvermeidung, Einhaltung von sicheren Trajektorien und Abständen zwischen Fahrzeugen usw., unter Verwendung verschiedener Ansätze wie beispielsweise Hidden-Markov-Modellen, Kalman-Filter, (neuralbasierter) heuristischer Ansätze (vgl. Martínez-Plumed et al. 2021)).

Für Anticipatory Shipping wird heute mit TRL 7 und 2030 TRL 9 erwartet. Die Bündelung durch Logistikplattformen wird derzeit mit TRL 8 eingeschätzt, in 2030 wird TRL 9 erwartet.

## 4.2 Ökonomisch



**Abbildung 35: Vergleich der Ergebnisse der ökonomischen Analyse mit ausgewählten Werten aus der Literatur. Quelle: Eigene Darstellung<sup>8</sup>**

<sup>8</sup> Lastenrad und Mikro-Hub: Eigene Berechnung nach Moll und Franz 2020; Autonome Bots „follow me“ Standard, Autonom fahrende Bots: Eigene Berechnung; Autonome Transporter Convent, Autonome Transporter Udelv: Jennings und Figliozzi 2020; 3,5 Tonner Kastenwagen auf der letzten Meile (ICEV): Brabänder 2020; Transporter mit Verbrennungsmotor (Status Quo), Batteriebetriebener Transporter: Moll und Franz 2020

Abbildung 35 zeigt den ökonomischen Vergleich der untersuchten Innovationen und vergleicht diese mit der Wirtschaftlichkeit aktueller Alternativen auf Basis beispielhafter Werte aus der Literatur. Abbildung 35 zeigt den Preis pro Paket für die Kombination aus Lastenrad und Mikro-Hub, "follow-me"-Bots und autonom fahrende Bots. Eine genaue Berechnung der Kosten pro Paket über eine TCO-Analyse macht für Anticipatory Shipping und Logistikplattformen wenig Sinn. Die Kosten hängen deutlich von den jeweiligen Anwendungsfällen ab. Ein berechneter Wert ist dementsprechend so situationspezifisch, dass er nicht als allgemeiner Vergleichswert verwendet werden kann.

Allgemein zeigt Abbildung 35, dass die Kosten pro Paket für die drei innovativen Logistiklösungen deutlich niedriger sein können als derzeitige Alternativen. Im besten Fall können mit 0,66€/Paket die autonom fahrenden Bots am günstigsten sein, gefolgt von der Kombination eines Lastenrades mit einem Mikro-Hub und "follow me"-Bots. Weitere Forschung ist nötig, um die derzeitigen Hürden für autonomes Fahren zu beseitigen und so das wirtschaftliche Potenzial nutzen zu können.

Bei Mikro-Hubs liegen die durchschnittlichen Kosten pro Paket im Bereich von 1,26€ bis zu 1,46€ (Oebel 2021). Davon fallen ca. 75% auf die Zustellung mit dem Lastenrad und 25% auf den Mikro-Hub. Beeinflussender Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Zustellung von Paketen über Mikro-Hubs ist der Stopp-Faktor im Zustellgebiet, d.h. die durchschnittliche Anzahl der pro Stopp zugestellten Pakete. Wirtschaftlich attraktiv wird die Technologie bei einer Zustellung von mindestens 3 kleineren Paketen (bis Größe M) pro Stopp (Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein 2019). Mikro-Hubs können durch mehrere Dienstleister genutzt werden, wodurch Skaleneffekte erzielt und Mikro-Hubs kosteneffizient betrieben werden können: Je größer der Mikro-Hub, desto geringer sind die Kosten pro Paket (Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein 2019). Mikro-Hubs können insbesondere in urbanen, dicht besiedelten Gebieten wirtschaftlich sein, in ländlichen, wenig besiedelten Gebieten ist der Mikro-Hub unwirtschaftlich und auch aufgrund der höheren Strecken keine gute Alternative zum Transporter. Bei Nutzung eines Mikro-Hubs in Verbindung mit einem Lastenrad können 12-14% an Gesamtkosten eingespart werden (Oebel 2021).

Durch „follow me“-Bots kann die Effizienz eines Boten mit Lastenrades gesteigert werden. Mit ca. 1,35€/Paket liegen die Kosten zwar über denen eines Lastenrades, die Lösung ist jedoch günstiger als gängige Alternativen. Die Kombination eines Boten mit 4-5 Bots stellt die kostengünstigste Lösung dar. Auch hier hat die Stoppdichte große Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der „follow me“-Bots. Sinkt die Stoppdichte, steigen die Kosten pro Paket stark an. So lange alle Pakete innerhalb einer Tour zugestellt werden können und nicht nachgeladen werden muss, sinken die Preise pro Paket mit der Zunahme an Bots. Ein "follow me"-Bot kann die Tourenlänge eines Lastenrades deutlich erhöhen. Es können statt der typischen 3-4 Kilometer (Experteninterviews) ein Umkreis von ca. 10-15 Kilometern um den Mikro-Hub oder City-Hub beliefert werden.

Autonom fahrende Bots können mit 0,66€/Paket die günstigste Lösung darstellen. Einsparungen entstehen hier gegenüber den Alternativen insbesondere bei den Personalkosten. Die zu Grunde liegende Annahme ist hier ein fehlerloser Betrieb der Systeme und eine autonome Zustellung und Auslieferung der Pakete<sup>9</sup>. Eine Lockerung dieser Annahme kann zu deutlich höheren Kosten pro Paket führen. Weitere Berechnungen zeigen, dass, wenn beispielsweise nur die Beladung des Bots und die Fahrt ins Zustellgebiet automatisiert ist und bei der Zustellung ähnlich wie beim „follow me“-Bot ein Bote anwesend ist, sich die Kosten auf 1,18€/Paket erhöhen—auf bis zu 3,01€/Paket, wenn nur die Beladung automatisiert erfolgt. Haupttreiber sind hierbei jeweils die Personalkosten.

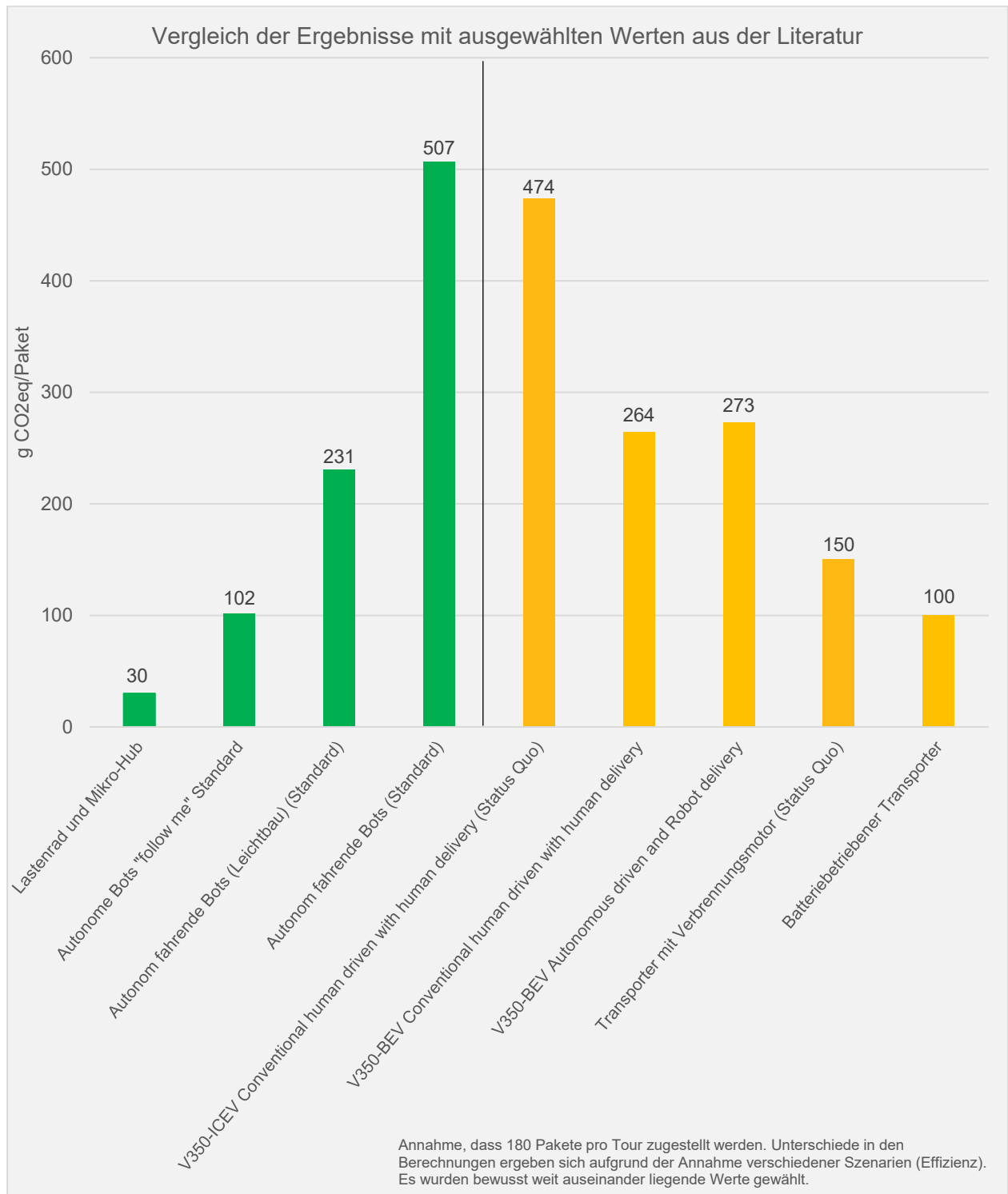
Aufgrund des hohen Einflusses situationspezifischer Parameter, werden in dieser Studie die Kosten pro Paket für Anticipatory Shipping nicht berechnet. Die Berechnung würde nur eine sehr konkrete Situation abdecken, allgemeingültigere Aussagen sind kaum möglich. Es

<sup>9</sup> Berücksichtigt wird 1h Wartung pro Tag.

besteht jedoch Einigkeit unter den Experten, dass Anticipatory Shipping zu einer deutlichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen kann. Auf Basis ausreichender Daten und vorhersagender Analyse können bei gleichbleibendem oder steigendem Umsatz Kosten reduziert werden.

Aus den gleichen Gründen wird auch für die Logistikplattformen (Bündelung von Hauptläufen bzw. Sortierung) von der Berechnung der Kosten pro Paket abgesehen. Durch Logistikplattformen können deutliche Vorteile in der Wirtschaftlichkeit gegenüber traditionellen Konzepten entstehen. Herausforderung hierbei ist eine konsequente Anwendung des TCO-Prinzips im Rahmen des Optimierungsprozesses für die Streckenplanung.

### 4.3 Ökologisch



**Abbildung 36: Vergleich der Ergebnisse der ökologischen Analyse mit ausgewählten Werten aus der Literatur. Quelle: Eigene Darstellung.<sup>10</sup>**

<sup>10</sup> Lastenrad und Mikro-Hub: Eigene Berechnung nach Moll und Franz 2020; Autonome Bots „follow me“ Standard, Autonom fahrende Bots (Leichtbau) (Standard), Autonom fahrende Bots (Standard): Eigene Berechnung; V350-ICEV Conventional human driven with human delivery (Status Quo), V350-BEV Conventional human driven with human delivery, V350-BEV



Abbildung 36 zeigt die Emissionen ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) der verschiedenen Innovationen, auch im Vergleich zu aktuell etablierten Lösungen. Wie bei der ökonomischen Bewertung liegt der Fokus auf der Kombination des Lastenrades mit einem Mikro-Hub, den "follow me"-Bots und den autonom fahrenden Bots – letztere werden in zwei Ausführungen, Standard und Leichtbau gezeigt. Eine detaillierte Berechnung der Emissionen von Anticipatory Shipping und Logistikplattformen ist auch hier von den konkreten Anwendungsmöglichkeiten abhängig; die Bewertung findet daher qualitativ statt.

Insgesamt zeigt Abbildung 36, dass die betrachteten Innovationen ökologischer sein können als derzeitige Alternativen. Das Lastenrad verursacht in Verbindung mit dem Mikro-Hub am wenigsten Emissionen, gefolgt von den "follow me"-Bots. Durch Mikro-Hubs und die mögliche Umverteilung auf Lastenräder können Kosten gespart und Pakete ökologisch nachhaltig zugestellt werden. Aus ökologischer Sicht schlagen sich die autonomen batteriebetriebenen Fahrzeuge ähnlich gut wie nicht autonome batteriebetriebene Fahrzeuge, wie beispielsweise Lastenräder oder e-Vans.

Für Mikro-Hubs in Verbindung mit dem Lastenrad fallen Emissionen von  $30 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$  an, angenommen der Mikro-Hub wird mit einem batteriebetriebenen Transporter beliefert (Moll et al. 2020; Ewert et al 2021). Der Hauptanteil der Emissionen entsteht hierbei durch den Mikro-Hub (77%); das Lastenrad erzeugt lediglich 23% (ca.  $7 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$ ).

Obwohl "follow me"-Bots als Technologie ähnlich hohe Emissionen verursachen wie Lastenräder, fallen die resultierenden  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  geringer aus als bei den Lastenrädern. "Follow me"-Bots können einen Transporter (3,5t) ohne den Zwischenschritt eines Mikro-Hubs ersetzen, weshalb die Emissionen pro Paket direkt mit den Emissionen eines Transporters verglichen werden können. Im Standard-Szenario – 5 Bots pro Zug, je Bot 36 Pakete – entstehen pro Paket insgesamt  $101,7 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$ . Damit liegen die Emissionen 32% unter den derzeitigen Emissionen von Transportern mit Verbrennungsmotor und etwa auf gleichem Niveau mit denen von BEV-Transportern. Die Emissionen der Bots liegen ca. 70% über denen des Mikro-Hubs mit Lastenrad. Wird angenommen, dass ein Bot pro Tour 180 Pakete zustellt, können die Emissionen auf  $20,3 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$  fallen. Allerdings kann dieser Wert nur durch Verlängerung der Tourdauer erreicht werden. Es müssen pro Tour mehrere Routen gefahren werden und ein Bot muss nachgeladen werden.

Die Emissionen pro Paket sind bei autonom fahrenden Bots mit 230 bzw.  $507 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$  deutlich höher als die der "follow me"-Bots. Pro Tour werden aufgrund der angenommenen höheren Servicezeit von mindestens 5 Minuten pro Paket weniger Pakete zugestellt und die Fahrzeuge sind massiver konstruiert als die Fahrzeuge im Konzept „follow me“-Bots. Damit liegen die autonom fahrenden Bots im günstigen Fall (Leichtbau), im niedrigen Emissionsbereich der aktuellen Alternativen. Im ungünstigen Fall liegen die Emissionen der autonom fahrenden Bots darüber. Selbst bei einer Zustellung von 180 Paketen pro Tour würde der autonom fahrende Bot mehr Emission pro Paket verursachen ( $33,1 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$  (Leichtbau) bis zu  $72,8 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$ ) als beispielsweise die Kombination aus Lastenrad und Mikro-Hub. Eine Möglichkeit die Emissionen zukünftig zu senken, wäre es, die autonom fahrenden Bots um einen humanoiden Roboter zu ergänzen – dieser würde die letzten 15 Meter bis zur Haustüre zurückzulegen. So würden pro Paket im Durchschnitt nur  $10\text{-}12 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{Paket}$  anfallen (Li et al. 2021). Hürden hierfür sind allerdings das geringe TRL des humanoiden Roboters. Zudem müssen die autonom fahrenden Bots in diesem Fall der Größe eines normalen Transporters (3,5 t), entsprechen.

Aufgrund der hohen Abhängigkeit der Emissionen pro Paket von Faktoren des spezifischen Anwendungsfalles ist eine Berechnung der Emissionen pro Paket als Vergleichswert für Anticipatory Shipping nicht sinnvoll. Insbesondere durch die Auswahl geeigneter Verkehrsmittel können durch Anticipatory Shipping Emissionen reduziert werden.

Ökologisch sind Logistikplattformen – insbesondere die Bündelung der Hauptläufe – vorteilhaft. Durch Mehrfachnutzung können Fahrzeuge effizienter eingesetzt werden und Emissionen, insbesondere durch einen vermehrten Einsatz von Elektrofahrzeugen, vermieden werden. Allgemein wird der zielgerichtete Einsatz neuer Mobilitätsformen als ein wesentlicher Treiber für eine Emissionsreduktion, bis hin zur Emissionselimination, innerhalb von Städten gesehen.

#### **4.4 Sozial, rechtlich und politisch**

##### **Sozial**

Für die Betrachtung sozialer Wirkungs- und Einflussfaktoren spielt insbesondere die Akzeptanz der jeweiligen Innovation in Teilen der Bevölkerung, die die Angebote nutzen oder die in gewisser Weise davon betroffen sind, eine große Rolle. Insbesondere sind hier Transformationen im Arbeitssektor (z.B. Entstehung neuer Schnittstellentätigkeiten und Integration neuer Kompetenzen in bestimmten Arbeitsfeldern, aber auch Reduktion von Arbeitsplätzen) und der Einfluss auf die Lebensqualität in den Städten relevant.

Einerseits kann die Kombination von Mikro-Hubs und Lastenrädern zur Entstehung neuer Arbeitsplätze beitragen, insbesondere auch für gering qualifizierte Arbeitnehmer oder Personen ohne Führerschein. Andererseits kann sich auch Arbeitsplatzreduktion ergeben, insbesondere durch autonome Transportmittel: Je autonomer die Transportmittel, desto mehr menschliche Arbeit kann ersetzt werden. Es werden so beispielsweise weniger ("follow me"-Bots) bis hin zu gar keine (autonome Bots) Zustellboten mehr benötigt. Durch diese Umstellung können aber auch neue Kompetenz- und Arbeitsfelder entstehen, für die Personen mit umfassenden Kenntnissen benötigt werden.

Auch die Lebensqualität in Städten kann durch die betrachteten Innovationen unterschiedlich beeinflusst werden: So können beispielsweise Mikro-Hubs in Kombination mit Lastenrädern, "follow me"-Bots und autonom fahrende Bots zu einer generellen Lärm-, Verkehrs- und Staureduktion sowie einer Emissionsreduktion vor Ort beitragen. Dies wirkt sich positiv auf die Lebensqualität und Gesundheit der Menschen vor Ort aus. Jedoch wird die Lärm- und Verkehrsbelastung im unmittelbaren Umfeld eines Mikro-Hubs erhöht (Be- und Entladen des Mikro-Hubs, Anlieferungen etc.). Eine Herausforderung besteht zudem darin, dass Fußgängerwege – insbesondere durch autonom fahrende Bots – teilweise blockiert werden können und es zu Sicherheitsproblemen sowie Raumnutzungskonkurrenzen kommen kann.

Weitere für die Akzeptanz der Innovationen relevante Aspekte sind die Befriedigung von Bedürfnissen der Kunden und der allgemein gesteigerte Einsatz von Elektrofahrzeugen durch die Innovationstechnologien. Anticipatory Shipping beispielsweise kann zu einer schnelleren und transparenteren Lieferung beitragen und somit wahrscheinlich zu einer gesteigerten Zufriedenheit der Kunden. Generell gilt der Einsatz von Elektrofahrzeugen aufgrund des Ersatzes von fossilen Brennstoffen und geringeren Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus als eine von der breiten Bevölkerung akzeptierte Entwicklung in der Transformation der Mobilität. Diese kann durch die Bündelung der Hauptläufe (d.h. Logistikplattformen) ermöglicht werden.

##### **Rechtlich**

Für die rechtliche Betrachtung der Innovationen sind insbesondere die für Mikro-Hubs benötigten Logistikflächen, die gesetzlichen Regelungen zum autonomen Fahren sowie zum Datenschutz relevant. Letztere stellen die wohl größte Hürde für das Anticipatory Shipping dar.

Für den Einsatz von Mikro-Hubs müssten Logistikflächen diskriminierungsfrei zugeteilt werden. Eine Möglichkeit wäre es, diese Logistikflächen zukünftig in Bebauungsplänen festzusetzen. Anforderungen in den Genehmigungs- und Antragsverfahren für die Logistikflächen könnten durch die Landesbauordnungen definiert werden. Hierbei müssen Regelungen für Lärm- und Brandschutz eingehalten werden.

Die Rechte und Pflichten des Fahrzeugführers eines autonomen Fahrzeuges werden im Gesetz zum automatisierten Fahren (in Kraft getreten im Juli 2017) festgehalten. Bis Juli 2021 musste auch im automatisierten Modus ein Fahrer anwesend sein, welcher sich aber vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden durfte. Seit Juli 2021 dürfen autonome Fahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr im Regelbetrieb fahren. Dies soll beispielsweise eine autonome Zustellung auf der letzten Meile ermöglichen. Für Kolonnenfahrten beispielsweise eines Ducktrains, autonome Mikromobilität (Bots, Leichtfahrzeuge) und (humanoide) Roboter existiert bisher noch kein rechtlicher Rahmen.

### **Politisch**

Für eine politische Betrachtung der Innovation werden insbesondere der Stellenwert der Innovation auf der politischen Agenda und die Notwendigkeit politischen Handelns als relevant angesehen. Hier unterscheiden sich die betrachteten Innovationen deutlich.

Während Lastenräder und Mikro-Hubs sowie die Bündelung von Hauptläufen von der Politik unterstützt werden – insbesondere Kommunen erfreuen sich an der Förderung von Mikro-Hubs – werden autonome Fahrzeuge noch diskutiert. Ein weit verbreiteter Einsatz autonomer Fahrzeuge ist bislang aufgrund der geltenden Regularien kaum möglich; es fehlen klare gesetzliche Vorgaben (siehe vorheriger Abschnitt).

Ein wichtiger weiterer Aspekt sind marktwirtschaftliche Abhängigkeiten und Monopole. Allgemein haben bei der datengetriebenen Logistik (Anticipatory Shipping, ggf. auch Bündelung der Hauptläufe) große Anbieter, wie beispielsweise Amazon, Vorteile. Kleine Händler, die oftmals über die Plattformen der großen Anbieter verkaufen, sind beispielsweise auf gute Konditionen für die Nutzung dieser Plattformen angewiesen (Warmbach et al. 2020). Zudem haben große Anbieter aufgrund des Vorhandenseins großer Datenmengen ein höheres Optimierungspotenzial und könnten ihre Wettbewerbsvorteile so weiter ausbauen.

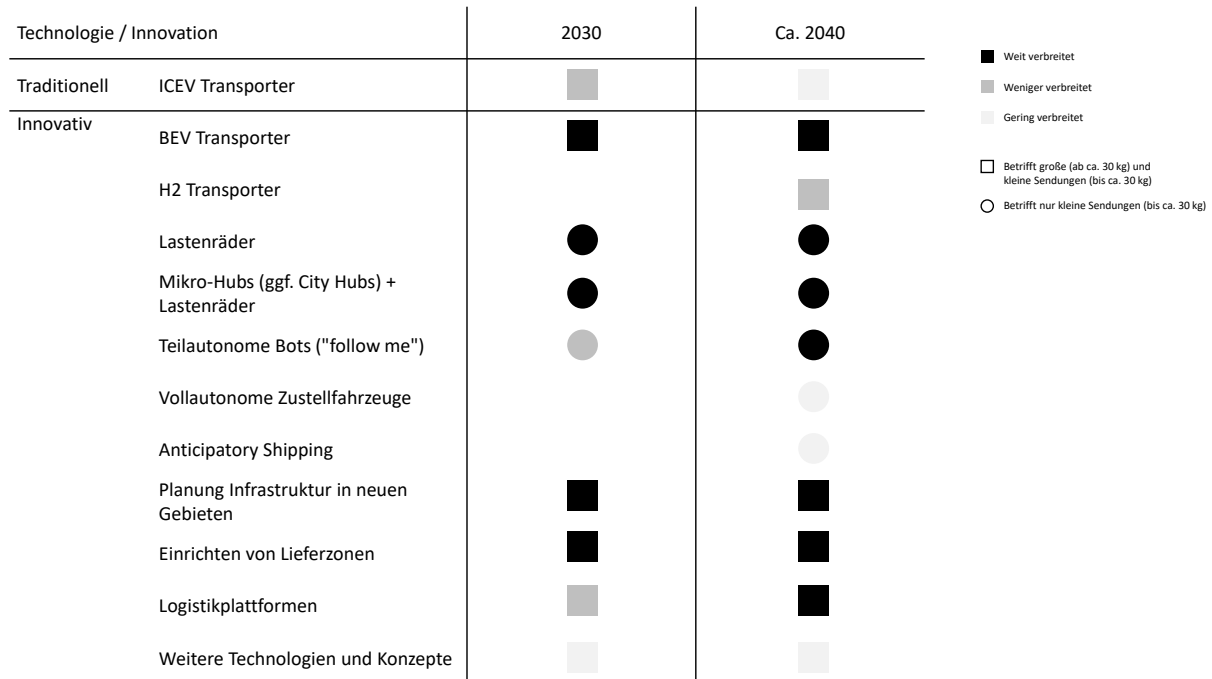
## 5 ZUKUNFTSBILD INNERSTÄDTISCHE LOGISTIK 2030 UND 2030+

---

Die innerstädtische Logistik wird 2030 und darüber hinaus von neuen Technologien und Konzepten geprägt sein. Batterieelektrische und gegebenenfalls auch H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen-Antriebe werden die Basis für die zukünftige Logistik darstellen. Die Zustellung wird durch eine diverse Zusammensetzung der betrachteten Technologien und Konzepte erreicht. Aufgrund der deutlich steigenden Nachfrage und auch situationspezifischen Anforderungen wird keine Innovation alleine die Logistik dominant bedienen können – auch eine Dominanz weniger Technologien schätzen die Autoren dieser Studie als relativ unwahrscheinlich ein. Insbesondere mögliche Synergieeffekte zwischen den Technologien und Konzepten erhöhen deren Effizienz und somit auch einen verstärkten gemeinsamen Einsatz.

Abbildung 36 zeigt ein mögliches Zukunftsbild der Zusammensetzung der Kerntechnologien für die innerstädtische Logistik 2030 und darüber hinaus. Die Erkenntnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Analyse deuten darauf hin, dass in 2030 die innerstädtische Logistik durch ein Zusammenspiel unterschiedlicher Technologien charakterisiert sein wird. Die traditionelle Zustellung durch ICEV Transporter wird wahrscheinlich schon 2030 deutlich durch neue Technologien und Konzepte ersetzt werden. Während große Sendungen weiterhin durch Transporter – weitestgehend batterieelektrisch – zugestellt werden, ergeben sich für kleine Sendungen vielfältige Möglichkeiten. Insbesondere können hier die Synergien zwischen Mikro-Hubs, Lastenrädern und teilweise auch schon den teilautonomen „follow me“-Bots genutzt werden. Innovative Konzepte wie die Planung von Infrastruktur, insbesondere in neuen Gebieten, das Einrichten von Lieferzonen und verschiedene Möglichkeiten der Logistikplattformen (inkl. der Bündelung von Hauptläufen), werden nach Einschätzung der Autoren unterstützend wirken.

Während 2030 eine vollautomatische und datengetriebene Zustellung noch unwahrscheinlich ist, weisen die Ergebnisse der Analysen darauf hin, dass diese ab ca. 2040 Teil der Kerntechnologien und -konzepte werden könnten. Die bis dahin fortgeschrittene technische Entwicklung von KI und Sensorik, sowie Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen für autonomes Fahren und Datenschutz spielen hier eine wesentliche Rolle. Zudem müssten die aktuellen Akzeptanzfragen für diese Technologien gelöst worden sein. ICEV basierte Zustellung wird 2040 in Deutschland keine oder nur eine geringe Relevanz haben, insbesondere, wenn bis 2045 das netto-Null-Ziel erreicht werden soll. Große Lieferungen werden hauptsächlich per BEV und gegebenenfalls H<sub>2</sub>-Transporter ausgeliefert. Allerdings ist die genaue Rolle der verschiedenen Technologien noch unsicher (wenngleich derzeit mehr Hersteller auf Batterie-Lkw setzen). Kleinere Sendungen könnten zunehmend auch (teil)autonom zugestellt werden. Die Synergieeffekte von Mikro-Hubs, Lastenrädern und der bis dahin wahrscheinlich weiter verbreiteten teilautonomen Zustellung könnten sich noch verstärken. Dadurch würden sich diese Technologien technisch einzeln und auch deren Zusammenspiel, beispielsweise durch Optimierung des Einsatzes, weiterentwickeln und es können mehr Erfahrungen in der Produktion und im Einsatz gesammelt werden. Diese führen typischerweise zu Kostensenkungen, wodurch eventuell Alternativen aus dem Markt gedrängt werden können.



**Abbildung 36: Mögliche Kerntechnologien/-innovationen für die zukünftige innerstädtische Logistik**

Neben den erwarteten Unterschieden im zukünftigen Einsatz der Technologien unterscheiden sich die Fokustechnologien auch in ihrer Eignung für unterschiedliche innerstädtische Gebiete sowie dem ländlichen Raum (Tabelle 4). Je dichter der Raum besiedelt ist, desto eher ist er für eine Belieferung durch Mikro-Hubs in Kombination mit Lastenrädern und auch durch „follow me“-Bots geeignet. Dahingegen sind eher weniger besiedelte Gebiete für eine Belieferung mit autonomen Zustellfahrzeugen geeignet. Dementsprechend wird erwartet, dass sich die zukünftige Zusammensetzung der Technologien und Konzepte zwischen einzelnen lokalen Gebieten je nach Besiedelung unterscheidet.

**Tabelle 4 Eignung ausgewählter Innovationen für unterschiedlich stark besiedelte Gebiete**

	Dicht besiedelte Städte	Mittel besiedelte Städte	dünn besiedelte Städte	Ländlicher Raum
Mikro-Hub und Lastenrad	++	+	○	-
Autonome Bots „follow me“	++	++	+	○
Autonom fahrende Bots	-	+	++	++

Zusammenfassend wird auf Basis der in dieser Studie durchgeführten Analysen ein diverses Bild der zukünftigen innerstädtischen Logistik erwartet. Unterschiedliche Technologien und Konzepte werden eine Rolle spielen. Diese können sich, insbesondere durch die erwartete Entwicklung im Bereich des autonomen Fahrens, über die Zeit verändern. Synergieeffekte können für die Marktverbreitung der Technologien eine wesentliche Rolle spielen; dies kann zu deutlichen Kostensenkungen der jeweiligen Technologien führen und damit deren Verbreitung noch weiter fördern. Zudem wird erwartet, dass sich die Zusammensetzung der Technologien und Konzepte zwischen Gebieten unterschiedlicher Charakteristika, insbesondere die Besiedelung, unterscheidet.

## 6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

---

Zusammenfassend zeigt diese Studie das große Potenzial unterschiedlicher Innovationen für die innerstädtische Logistik 2030 und darüber hinaus. Viele der betrachteten Innovationen besitzen bereits heute, oder bis 2030 (erwartet) eine hohe technologische Reife; einige der betrachteten Innovationen, insbesondere im Bereich des autonomen Fahrens, werden auch 2030 noch nicht entwickelt genug für den weitverbreiteten Einsatz sein. Jedoch zeigt insbesondere die umfassende Perspektive dieser Studie, dass nicht nur die technologische, sondern auch ökonomische, ökologische, soziale, rechtliche und politische Dimensionen für die Verbreitung von Innovationen für die innerstädtische Logistik essentiell sind. Aus der vorliegenden Studie lassen sich Handlungsempfehlungen für die Politik ableiten. Diese beziehen sich auf die Förderung der technologischen Entwicklung, den Abbau regulatorischer Hürden, die Unterstützung von Standardisierung, die Begleitung von Kommunen und die Erhöhung der Akzeptanz.

Generell bedarf es für einen weitreichenden Einsatz Unterstützung der technologischen Entwicklung bei denjenigen Technologien, welche ein hohes Potenzial für die Logistik, aber noch eine relativ geringe technologischer Reife aufweisen. Von den in dieser Studie detaillierter betrachteten vielversprechenden Innovationen betrifft dies insbesondere die (teil)autonome Transportmittel, d.h. "follow-me"-Bots und autonom fahrende Bots. Die anderen detaillierter betrachteten Innovationen (Anticipatory Shipping, Logistikplattformen für die Bündelung von Hauptläufen) sind wahrscheinlich bis 2030 so weit entwickelt, dass hier kaum zusätzliche Förderung notwendig ist. Sollte ein weitreichender Einsatz von (teil)autonomen Transportmitteln gewünscht sein, sollte zum einen die Entwicklung der eingesetzten Kerntechnologien und zum anderen der Einsatz im konkreten Anwendungsfall unterstützt werden. Insbesondere die Kerntechnologien KI und Sensorik müssten weiterentwickelt werden. Hier kann auch die Einbindung von Universitäten, welche aktiv in diesen Bereichen forschen, und eine bessere Vernetzung der Vorhaben der unterschiedlichen Forschungsförderprogramme (auch ministeriumsübergreifend) sinnvoll sein. Zudem kann eine Unterstützung von Pilotprojekten dazu führen, dass die Technologie im konkreten Anwendungsfall erprobt und insbesondere das Lernen der KI unterstützt wird. Auch können durch die Förderung technologischer Entwicklung Synergien zwischen den Technologien gesteigert werden. Autonomes Sortieren oder das Ermöglichen der Abholung bei den (teil)autonomen Transportmitteln können hier zu einem guten Zusammenspiel zwischen Mikro-Hubs und (teil)autonomen Fahrzeugen beitragen und sollten gegebenenfalls unterstützt werden

Für den weitreichenden Einsatz der betrachteten Innovationen bedarf es oft den Abbau derzeitiger regulatorischer Hürden sowie der Unterstützung von Standardisierung. Insbesondere für (teil)autonome Transportmittel hemmen Unsicherheit und fehlende rechtliche Rahmenbedingungen für spezielle Anwendungsfälle, wie beispielsweise für den Einsatz von Fahrzeugen in Kolonnen, deren Einsatz. Auch müssen beispielsweise für Anticipatory Shipping datenschutzrechtliche Aspekte geklärt werden. Standardisierung wird im Bereich des automatisierten Verladens (z.B. von einem Mikro-Hub auf einen autonomen Bot) und Zustellens benötigt; Transportbehälter und Prozesse müssen für einen weitreichenden Einsatz standardisiert werden.

Für die Planung der zukünftigen Logistik sollte die Politik Kommunen begleitend unterstützen. Dies betrifft die Integrationen der Kommune mit den Logistikdienstleistern; für eine erfolgreiche Umsetzung müssen Konzepte gemeinsam entwickelt werden. Konkrete Umsetzungsleitfäden würden Prozesse vereinfachen und eine Vernetzung auf nationaler Ebene zu Erfahrungsaustausch beitragen. Zusätzlich dazu bedürfen Bewusstsein und die Akzeptanz für die sich verändernde innerstädtische Logistik und die neuen Technologien mehr Aufmerksamkeit. Auch wenn die betrachteten Innovationen ein hohes Potenzial für positive Veränderungen in der zukünftigen innerstädtischen Logistik aufweisen (z.B.



kostengünstiger, emissionsärmer, leiser), geht insbesondere die zunehmende Automatisierung mit wichtigen Akzeptanzfragen (z.B. Arbeitsplatzreduktion, lokale erhöhtes Lärm- und Verkehrsaufkommen) einher. Auch 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. Wichtig sind insbesondere bei dem Einsatz von Innovationen, welche zu lokaler Verschlechterung der Lebensqualität führen kann (unmittelbare Nähe eines Mikro-Hubs), frühzeitige lokale Akzeptanzmaßnahmen durchzuführen und es gilt ein breites Bewusstsein über die Vorteile der Innovationen zu schaffen. Auch mögliche Raumnutzungskonkurrenz, beispielsweise durch autonome Fahrzeuge auf Fußwegen, muss frühzeitig erkannt und im Planungsprozess berücksichtigt werden. Zusätzlich kann die Akzeptanz für die Veränderungen in der innerstädtischen Logistik allgemein erhöht werden, beispielweise durch das Einführen von Labels für emissionsarme KEP-Sendungen oder Informationskampagnen. Neben den Handlungsempfehlungen für die Politik ergeben sich auch Handlungsempfehlungen für die Industrie.

Die Studie zeigt, dass es noch viele Möglichkeiten für die Gestaltung der zukünftigen innerstädtischen Logistik gibt. Akteure der Logistikbranche, aber auch darüber hinaus, können sich beispielsweise in der Standardisierung und in Feldversuchen engagieren. Die Studie zeigt auch, dass insbesondere autonome Transportmittel noch in ihrem weitreichenden Einsatz gehemmt sind und deren Einsatz in der innerstädtischen Logistik nicht vor 2040 erwartet werden kann. Neben der technologischen Weiterentwicklung – insbesondere in den Bereichen der KI und Sensorik – kann auch die Industrie z.B. durch Demonstrationsprojekte dazu beitragen, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen verbessert und die Akzeptanz erhöht wird. Insgesamt zeigt die Studie eine Vielzahl an Möglichkeiten auf, welche – wenn sie technisch ausgereift, rechtlich einsetzbar und in der Bevölkerung akzeptiert sind – die Logistik deutlich verändern können. Die Akteure der Logistikbranche und der beteiligten Industrien sollten demnach mit diesen Veränderungen rechnen und sich z.B. durch die Flexibilisierung von Prozessen, das Anpassen von Technologien, das Sammeln und Auswerten von Daten oder rechtzeitiger Vernetzung mit relevanten Kooperationspartnern vorbereiten.



## LITERATURVERZEICHNIS

---

- Arena, F.; Ticali, D. (2018): The development of autonomous driving vehicles in tomorrow's smart cities mobility. In: AIP Conference Proceedings, Band 2040, Ausgabe 1.
- Arthur D. Little (2014): The Future of Urban Mobility 2.0. URL: [https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/2014\\_ADL\\_UITP\\_Future\\_of\\_Urban\\_Mobility\\_2\\_0\\_Full\\_study.pdf](https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/2014_ADL_UITP_Future_of_Urban_Mobility_2_0_Full_study.pdf)
- Bogdanski, R.; Bayer, M.; Seidenkranz, M. (2018): Pilotprojekt zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste mit dem Mikro-Depot-Konzept auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg.
- Bogner, A.; Menz, W. (2009): The Theory-Generating Expert Interview: Epistemological Interest, Forms of Knowledge, Interaction. In: Interviewing Experts. London: Palgrave Macmillan UK.
- Brabänder, C. (2020): Die Letzte Meile. Definition, Prozess, Kostenrechnung und Gestaltungsfelder. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2021): Den städtischen Lieferverkehr nachhaltig gestalten: ein Instrumentenkasten für Kommunen. Berlin. URL: [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/mobilitaet/mobilitaet\\_nachhaltiger\\_lieferverkehr\\_instrumentenkasten.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/mobilitaet/mobilitaet_nachhaltiger_lieferverkehr_instrumentenkasten.pdf)
- Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK), KE-CONSULT Kurte&Esser GbR (2021): KEP-Studie 2021 – Analyse des Marktes in Deutschland. Köln.
- Deshmukh Towery, N.; Machek, E.; Thomas, A. (2017): Technology Readiness Level Guidebook. Ausgabe FHWA-HRT-17-047, 1.9.2017, URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/34280>
- Ellram, L. M. (2002): Total Cost of Ownership. In: Hahn, Dietger; Kaufmann, Lutz (Hrsg.): Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 659–671, URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-663-01582-6\\_34](http://link.springer.com/10.1007/978-3-663-01582-6_34)
- Ewert, A.; Schmid, S.; Brost, M.; Davies, H.; Vinckx, L. (Hrsg.) (2021): Small Electric Vehicles: An International View on Light Three- and Four-Wheelers. Cham: Springer International Publishing, URL: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-65843-4>
- Gartner (2014): Hype Cycle for Emerging Technologies, 2014.
- Gevaers, R.; Van de Voorde, E.; Vanellander, T. (2014): Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, Band 125, 3.2014, S. 398–411
- Handelsblatt (2021): E-Commerce: Corona-Boom: Amazon wickelt jetzt mehr als die Hälfte des deutschen Onlinehandels ab. 2.7.2021, URL: <https://www.handelsblatt.com/technik/internet/e-commerce-corona-boom-amazon-wickelt-jetzt-mehr-als-die-haelfte-des-deutschen-onlinehandels-ab/27382008.html>

Hollingsworth, J.; Copeland, B.; Johnson, J. X. (2019): Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters, *Environmental Research Letters*, 14, 084031.

Hanseatic Transport Consultancy; THERON Advisory (2019): Micro-Hub-Standorte in Hamburg - Machbarkeitsstudie und Standortresearch. Hanseatic Transport Consultancy. URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/13525242/d8bf7f79793e16766dfc55ff8ed1ffae/data/pr%C3%A4sentation-micro-hubs-final-komprimiert.pdf>

Huang, Y.; Chen, Y. (2020): Survey of State-of-Art Autonomous Driving Technologies with Deep Learning. Macau, China: IEEE, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9282663>

Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein (2019): HANDBUCH: Mikro-Depots im interkommunalen Verbund am Beispiel der Kommunen Krefeld, Mönchengladbach und Neuss.

Jennings, D.; Figliozzi, M. (2020): A Study of Road Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel. In: Civil and Environmental Engineering Faculty Publications and Presentations.

Kazmaier, M. (2021): Logistik 2030 – Potenzialanalyse innovativer Technologien und Konzepte in der urbanen Logistik. Masterarbeit, Hochschule Reutlingen (Hrsg.), Reutlingen.

Keiser, A. (2019): Standortanforderungen und räumliche Auswirkungen von Micro-Hubs. HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

KoMoDo Berlin (2021): KoMoDo. 21.7.2021, URL: <https://www.komodo.berlin/>

Krieger, W. (2018): Definition: Stückgut. 15.2.2018, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/stueckgut-45373/version-268667>

Li, L.; He, X.; Keoleian, G. A.; Kim, H. C.; De Kleine, R.; Wallington, T. J.; Kemp, N. J. (2021): Life Cycle Greenhouse Gas Emissions for Last-Mile Parcel Delivery by Automated Vehicles and Robots. In: *Environmental Science & Technology*, Band 55, Ausgabe 16.

LNC und Fraunhofer IML (2020): Die Veränderungen des gewerblichen Lieferverkehrs und dessen Auswirkungen auf die städtische Logistik. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). URL: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/staedtische-logistik-bericht-veraenderungen-lieferverkehr.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/staedtische-logistik-bericht-veraenderungen-lieferverkehr.pdf?__blob=publicationFile)

Logistik KNOWHOW (2013): Transportlogistik - Distributionsnetze. URL: <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/transportlogistik-distributionsnetze/>.

Logistik KNOWHOW (2021): Glossar - Total Cost of Ownership. URL: <https://logistikknowhow.com/logipedia/total-cost-of-ownership>

Martínez-Plumed, F.; Gómez, E.; Hernández-Orallo, J. (2021): Futures of artificial intelligence through technology readiness levels. In: *Telematics and Informatics*, Band 58.

- McGee, P.; Bond, S. (2019): Daimler speeds up self-driving trucking technology. In: Financial Times, 7.1.2019, URL: <https://www.ft.com/content/d6446e8e-1295-11e9-a581-4ff78404524e>
- Moll, C.; Franz, S. (2020): Potentials of electric vehicles in innovative city-logistics: A case study from Karlsruhe, Germany, 33rd Electric Vehicle Symposium (EVS33), Portland, Oregon.
- Mankins, J. C. (1995): TECHNOLOGY READINESS LEVELS. In: White Paper, 6.4.1995.
- micro-hub (2021): micro-hub.eu. 26.4.2021, URL: <https://micro-hub.eu/HOME/> [Zugriff: 26.4.2021]
- Oebel, J. (2021): Passfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Micro-Hubs, Lastenrädern und Nano-Hubs in verschiedenen Städten. Bachelorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Schäfer, P. K.; Hagen, T.; Schocke, K.-O.; Wendt, D. H.; Bergold, F.; Hofmann, D.; Scheel-Kopeinig, S.; Stolte, D.; Steinpitz, S. (2020): DeinDepot. Potenzialanalyse zur Umsetzung eines zentralen Depots mit dem Ziel einer umweltfreundlichen und gebündelten Auslieferung von Paketen auf der letzten Meile. Frankfurt: Frankfurt University of Applied Sciences
- Schröder, M.; Wegner, K. (2019): Logistik Im Wandel der Zeit - Von der Produktionssteuerung Zu Vernetzten Supply Chains: Festschrift Für Wolfgang Kersten Zum 60. Geburtstag. Wiesbaden: Gabler, URL: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5739682>
- Taefi, T. T. (2016): Viability of electric vehicles in combined day and night delivery: a total cost of ownership example in Germany. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research, Band 16, Ausgabe 4, 1.9.2016, URL: <https://journals.open.tudelft.nl/ejtir/article/view/3160>
- Tzinis, I. (2015): Technology Readiness Level. 6.5.2015, URL: [http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)
- United Nations (2017): World population prospects – Key findings & advance tables, 2017 revision, URL: [https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017\\_keyfindings.pdf](https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf)
- van Cappelle, L. E.; Chen, L.; Negenborn, R. R. (2018): Survey on Short-Term Technology Developments and Readiness Levels for Autonomous Shipping. In: Cerulli, R.; Raiconi, A.; Voß, S. (Hrsg.): Computational Logistics. Cham: Springer International Publishing, S. 106–123.
- Wambach, A.; Müller, H. C. (2020): Digitaler Wohlstand für alle: ein Update für die Soziale Marktwirtschaft ist möglich. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung
- Wendt, D. H. (2021): Wendt/Tamm: Nachhaltiger Gütertransport in Straßenbahnen – Rechtsfragen zur „LastMileTram“. In: Recht der Transportwirtschaft, Ausgabe 3, 2021, S. 92–97
- Wiese, J. (2018): Slow Logistics: DAS Konzept für eine nachhaltige Distributionslogistik. 2018, URL: <https://fis.uni-bamberg.de/handle/uniba/43487>



## DANKSAGUNG

---

Im Rahmen der Studie wurden Gespräche mit Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung und Verbänden geführt. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Gespräche sind in den vorliegenden Bericht eingeflossen. Wir möchten uns bei allen Gesprächspartnern für Ihre Unterstützung sowie bei Josephine Tröger (Fraunhofer ISI) und Christian Mayer (Noerr LLP) für das Bereitstellen ihrer fachlichen Expertise bedanken. Die Verantwortung für die Ergebnisse liegt ausschließlich bei den Autoren.

## IMPRESSUM

---

### Logistik 2030 - elektrisch, autonom, bot- und flugdrohnenbasiert?

#### Herausgeber

##### Begleitforschung (BF)

**Prognos AG**  
Michael Astor  
Gesamtprojektleitung

Dr. Thomas Stehnen  
Operative Projektleitung

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**  
Dr. Annegret Stephan  
Stellvertretende Projektleitung

PD Dr. Patrick Plötz  
Wissenschaftliche Leitung

**Zum goldenen Hirschen Berlin**  
Freya Grundmann  
Leitung Pressebüro

**Noerr Partnerschaftsgesellschaft mbB**  
Christian Alexander Mayer  
Fachgruppe Regulierung

#### Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Annegret Stephan, [annegret.stephan@isi.fraunhofer.de](mailto:annegret.stephan@isi.fraunhofer.de); Cornelius Moll; Markus Kazmaier; Patrick Plötz, [patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de](mailto:patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de)

#### Verfasst im Auftrag von

##### Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

11019 Berlin

#### Bildnachweis

Deckblatt: Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

#### Zitierempfehlung

Kazmaier, M.; Stephan, A.; Moll, C.; Plötz, P (2022): Logistik 2030 - elektrisch, autonom, bot- und flugdrohnenbasiert? Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

#### Veröffentlicht

April 2022

#### Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.