

LastMileTram
Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn
am Beispiel Frankfurt am Main

Bericht zum Forschungsvorhaben „LastMileTram - Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main“



Autorinnen und Autoren:

Prof. Dr. Kai-Oliver Schocke
Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer
Silke Höhl M. Sc.
Andreas Gilbert M. Eng.

in Zusammenarbeit mit

Felix Kwast B. Sc.
Simon Lacoste B. A.
Simon Marhan B. A.
Klaus-Peter Wenz B. Eng.

Kontakt:

Research Lab for Urban Transport
Frankfurt University of Applied Sciences
Nibelungenplatz 1, 60381 Frankfurt am Main

Homepage: www.relut.de
E-Mail: relut@fra-uas.de

Projektlaufzeit:

Oktober 2018 bis Dezember 2019

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Landes Hessen des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung gefördert.



Frankfurt am Main, März 2020

Abbildung Deckblatt: eigene Aufnahme

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Darstellung des Forschungsprojekts „LastMileTram“	3
2.1	Forschungsansatz	3
2.2	Ziele und Forschungsfragen	4
2.3	Untersuchungsgebiet	4
2.4	Projektpartner	6
3	Stand der Technik	9
3.1	Anwendungsbeispiele	9
3.2	Machbarkeitsanalysen	22
3.3	Übersicht Anwendungsbeispiele und Machbarkeitsanalysen	34
4	Methodik	36
4.1	Experteninterviews	36
4.2	Pilotversuch	36
4.3	Standortanalyse und Streckenkonzept	37
4.4	Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit	38
4.5	Vergleichsberechnungen	38
4.6	Workshop	39
5	Anforderungsanalyse	40
5.1	Analyse des Belieferungsprozesses	40
5.2	Transportvarianten	42
5.3	Chancen und Herausforderungen	44
5.4	Pilotversuch	45
6	Standortanalyse und Streckenkonzepte	56
6.1	Das Frankfurter Straßenbahnnetz	56
6.2	Bemessungsfahrzeug	57
6.3	Bewertungskriterien für die Standortanalyse	58
6.4	Analyse geeigneter Beladestationen	60
6.5	Analyse geeigneter Entladestationen	63
6.6	Transport von Paketen als Fallbeispiel	66
6.7	Fazit der Standortanalyse	71
7	Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit	72
7.1	Bestehende Transportboxensysteme	72
7.2	Anforderungskriterien	73
7.3	Entwickelter Prototyp	75
7.4	Befestigungssystem	77
7.5	Fazit von Transporteinheiten	77
8	Vergleichsberechnungen	78

8.1	LastMileTram-Szenario	78
8.2	Transporter-Szenario	87
8.3	LastMileTram-Szenario vs. Transporter-Szenario	91
9	Fazit und Ausblick.....	93
9.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	93
9.2	Weiterer Forschungsbedarf	93
10	Anlagen.....	95
	Anlage 1: RMV-Liniennetzplan und Tabelle der Straßenbahnlinien Frankfurt am Main	96
	Anlage 2: Aktuelle Straßenbahnen der VGF im Vergleich	98
	Anlage 3: Bewertung von Straßenbahnhaltestellen für die Beladung	99
	Anlage 4: Bewertung von Straßenbahnhaltestellen für die Entladung	100
	Anlage 5: Interviewleitfaden	108
11	Literaturverzeichnis.....	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung verschiedener Belieferungsmethoden.....	2
Abbildung 2:	Zustellprozess mit der Straßenbahn.....	3
Abbildung 3:	Stadtgebiet von Frankfurt am Main mit Straßenbahnnetz	5
Abbildung 4:	CarGo Tram Dresden	13
Abbildung 5:	Cargo Tram Zürich.....	17
Abbildung 6:	Eine Randen-Straßenbahn.....	19
Abbildung 7:	Container-Dollies (Containerwagen) in der Tram.....	19
Abbildung 8:	Konzeptionelles Abbild des neuen in der U-Bahn integrierten Logistiksystems.....	20
Abbildung 9:	City Logistik 4 Konzept.....	24
Abbildung 10:	Kosten-Nutzen Analyse.....	29
Abbildung 11:	Nea Smirni: Derzeitige Praxis und alternatives Szenario des Transports von Abfällen zur Deponie von Fili	31
Abbildung 12:	Ausschnitt aus Ablaufplan des 08.04.2019.....	37
Abbildung 13:	Hermes - Hub-and-Spoke System	40
Abbildung 14:	Zuständigkeiten der Prozessschritte.....	41
Abbildung 15:	Teststrecke des Pilotversuchs.....	46
Abbildung 16:	Be- und Entladungsrampen	47
Abbildung 17:	Einlegeblech für Spalt zwischen Bahnsteig/Rampe und Tram	48
Abbildung 18:	Riemann-Transportbox links, Armadillo-Transportbox rechts	48
Abbildung 19:	Lastenradsystem Armadillo von Velove	49
Abbildung 20:	Lastenradsystem Riemann.....	50
Abbildung 21:	Prozess Pilotversuch LastMileTram	50
Abbildung 22:	Beladung der Tram über integrierte Behindertenrampe	51

Abbildung 23: Beladung des Armadillos ohne Rampe	52
Abbildung 24: Bemaßung der Straßenbahn (Typ S-Wagen) mit Transportboxen	55
Abbildung 25: Straßenbahnnetz Frankfurt mit Haltestellen	56
Abbildung 26: Der S-Wagen der VGF (links) mit Mehrzweckabteil	57
Abbildung 27: Frankfurter Straßenbahnnetz mit Betriebshöfen, Wendeschleifen und Endhaltestellen.....	61
Abbildung 28: Frankfurt Straßenbahnnetz mit identifizierten Beladestationen	62
Abbildung 29: Haltestelle Neu-Isenburg Stadtgrenze (links) und Hugo-Junker-Straße/Schleife (rechts)	63
Abbildung 30: Beispiel für ungeeignete Haltestelle „Nibelungenplatz (UAS)“ (links) und „Rennbahn“ (rechts) .	64
Abbildung 31: Beispiel für geeignete Haltestelle „Buchrainplatz“ (links) und „Walter-Kolb-Siedlung“ Rechts) ..	64
Abbildung 32: Beispiel für bedingt geeignete Haltestelle „Alt-Fechenheim“ und „Heister-/ Seehofstraße“	65
Abbildung 33: Frankfurter Straßenbahnnetz mit „geeigneten“ (grün) und „bedingt geeigneten“ (gelb) Haltestellen für die Entladung	66
Abbildung 34: Stadtgebiet Frankfurt am Main mit Gebäudenutzungen	67
Abbildung 35: Identifizierte Stationen und Mischgebiete	68
Abbildung 36: Sendungsdichte der täglichen Hermespakete pro km ² und Stadtteil und Straßenbahnnetz	69
Abbildung 37: Kreuzung Saalburg-/ Wittelsbacherallee (links) Wendeschleife „Nied Kirche Wendeschleife“ (rechts)	70
Abbildung 38: Streckenkonzept für die Innenstadtbelieferung.....	70
Abbildung 39: Beispiele für bestehende Lastenradcontainer.....	72
Abbildung 40: Vergleich der Abmessungen bestehender Transportboxensysteme	73
Abbildung 41: Beispiel für den modularen Aufbau bei drei unterschiedlichen Lastenfahrern.....	74
Abbildung 42: Animierte Darstellungen der entwickelten Transporteinheit	75
Abbildung 43: Beispiel für das Branding ¹³⁸	76
Abbildung 44: Hergestellte Prototypen im Funktionstest	76
Abbildung 45: Schematische Darstellung von zwei möglichen Befestigungslösungen der Transportboxen	77
Abbildung 46: LMT-Szenario: Transportabschnitte 1-3	78
Abbildung 47: LMT-Szenario: Parameter der Berechnungstour.....	81
Abbildung 48: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 1 per Lkw	82
Abbildung 49: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per LastMileTram.....	83
Abbildung 50: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 3 per eLastenrad.....	85
Abbildung 51: LMT-Szenario: Gesamtkosten.....	86
Abbildung 52: T-Szenario: Transportabschnitte 1-2	88
Abbildung 53: T-Szenario: Parameter der Berechnungstour.....	88
Abbildung 54: T-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 1 per Lkw.....	89
Abbildung 55: T-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per Transporter.....	90
Abbildung 56: T-Szenario: Gesamtkosten.....	91
Abbildung 57: Gesamtvergleich: LastMileTram-Szenario vs. Transporter-Szenario.....	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten der CarGo Tram Desden.....	12
Tabelle 2: Technische Daten Güterbim Wien	15
Tabelle 3: Technische Daten der Cargo Tram Zürich	17
Tabelle 4: Übersicht Stand der Technik	35
Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Transportvarianten	43
Tabelle 6: Transportvolumen je Lastenrad-System	46
Tabelle 7: Transportvolumen, Stoppanzahl und Dauer der Lastenradtour	54
Tabelle 8: Tracking Daten der Lastenradtouren	54
Tabelle 9: LMT-Szenario: Stammdaten	80
Tabelle 10: CO ₂ -Emissionen Straßenbahn, Lkw, eLastenrad.....	86
Tabelle 11: LMT-Szenario: CO ₂ Berechnungen	87
Tabelle 12: CO ₂ -Emissionen: Lkw, Fiat Scudo	91
Tabelle 13: T-Szenario: CO ₂ Berechnungen.....	91

Abkürzungsverzeichnis

AT	<i>Arbeitstag</i>
B2B	<i>Business to Business</i>
B2C	<i>Business to Customer</i>
BOStrab	<i>Bau und Betrieb von Straßenbahnen</i>
CLT	<i>City Logistics Terminal</i>
DMRC	<i>Delhi Metro Rail Corp</i>
DPD	<i>Direct Parcel Distribution</i>
DVB	<i>Dresdner Verkehrsbetriebe</i>
ERZ	<i>Entsorgung und Recycling Zürich</i>
Frankfurt UAS	<i>Frankfurt University of Applied Sciences</i>
GIS	<i>Geoinformationssystem</i>
GU	<i>Generalunternehmer</i>
HOLM	<i>House of Logistics and Mobility</i>
HOLM GmbH	<i>House of Logistics and Mobility GmbH</i>
HUB	<i>Hauptumschlagsbasis</i>
IT	<i>Intermodales Terminal</i>
KEP	<i>Kurier, Express und Paket</i>
LC	<i>Logistikcenter</i>
Lkw	<i>Lastkraftwagen</i>
LMT-Szenario	<i>LastMileTram-Szenario</i>
ÖDA	<i>öffentlicher Dienstleistungsauftrag</i>
ÖPNV	<i>öffentlicher Personennahverkehr</i>
PBefG	<i>Personenbeförderungsgesetz</i>
ReLUT	<i>Research Lab for Urban Transport</i>
SPNV	<i>schienengebundener Personennahverkehr</i>
T-Szenario	<i>Transporter-Szenario</i>
VBZ	<i>Verkehrsbetriebe Zürich</i>
VGf	<i>Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main</i>
VW	<i>Volkswagen</i>
ZGW	<i>zentrale Werkstätten Infrastruktur</i>
ZLMN	<i>Zentrum für Logistik, Mobilität und Nachhaltigkeit</i>

Genderhinweis:

Allein aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten für alle Geschlechter.

1 Einführung

In Deutschland verteilt sich der Güterverkehr zu 68,3% auf die Straße, zu 20,7% auf das Wasser und zu 10,9% auf die Schiene.¹ Laut Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur soll die Transportleistung des Straßengüterverkehrs bis 2030 um 38% steigen.² 19% der Gesamtemissionen in Deutschland entstehen im Verkehrssektor.³ Steigende Umweltbelastungen durch Emissionen und ein zunehmender Flächenverbrauch sind die Folgen. Damit einhergehend sind, besonders in urbanen Räumen, eine sinkende Aufenthaltsqualität und Konfliktsituationen mit anderen Verkehrsteilnehmern zu beobachten. Grenzwerte für den Ausstoß von Stickoxiden werden in mehreren deutschen Städten überschritten, weshalb diese bereits von der EU-Kommission angeklagt wurden.⁴ Drohende Fahrverbote sind die Konsequenz.

Der steigende Onlinehandel ist ein Grund für den steigenden Güterverkehr. Bereits heute werden deutlich mehr als 10% des gesamten europäischen Handelsvolumens über den Onlinehandel abgewickelt, der Prozentsatz im „non-food“ Bereich liegt bereits jetzt bei mehr als dem Doppelten (von 10%) und soll bis 2025 einen Wert von ca. 40% erreichen.⁵ Mit diesem Anstieg geht ein Wachstum von Sendungszustellungen einher. Der Markt der Kurier-, Express- und Paket (KEP) Dienstleister ist in Deutschland in den vergangenen Jahren sehr stark gewachsen. Im Vergleich zum Jahr 2000 wurden 2018 3,5 Milliarden Sendungen zugestellt (+108%).⁶ Bis 2023 ist mit 4,43 Milliarden Sendungen zu rechnen (+262% im Vergleich zum Jahr 2000).⁷ Durch den damit einhergehenden gestiegenen Verkehr entstehen immer mehr Nutzungskonflikte in den Innenstädten. Parallel dazu hat die EU das Ziel vorgegeben, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 90% im Vergleich zum Jahr 1990 zu senken.⁸ Nicht nur Unternehmen wie z.B. Zustelldienste, sondern auch Kommunen müssen daher diesen zunehmenden Verkehr umwelt- und umfeldverträglich gestalten. Begründet durch das Wachstum der KEP-Dienstleister-Branche und die damit verbundenen verkehrlichen Auswirkungen sind innovative Konzepte gefragt, die auf die Bedürfnisse der verschiedenen städtischen Gegebenheiten sowie aller Betroffenen eingehen.

Es gibt bereits alternative Zustellkonzepte wie der Einsatz von Mikrodepots und Lastenrädern sowie Paketstationen (Abbildung 1). Darüber hinaus ist es jedoch wichtig, alle Verkehrsträger einer Stadt optimal auszulasten. Straßenbahnen können nicht nur im Personenverkehr eingesetzt werden, das innerstädtische Schienennetz kann auch zum Transport von Gütern genutzt werden. Hierfür gibt es vielfältige Beispiele in der Vergangenheit und in der Gegenwart (z.B. Dresden und Zürich; Details sind in Kapitel 3 zu finden). Güterstraßenbahnen können auch in Zukunft einen wichtigen Beitrag leisten, wenn sie beispielweise den Lieferverkehr in den Innenstädten und die damit verbundenen Emissionen reduzieren. Allerdings müssen die

¹ Allianz pro Schiene 2018 - Treibhausgasemissionen.

² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2014

³ Allianz pro Schiene 2018 - Treibhausgasemissionen.

⁴ Europäische Kommission 2018, S.3

⁵ Heinemann 2017.

⁶ KE-CONSULT Kurte & Esser GbR 2019.

⁷ KE-CONSULT Kurte & Esser GbR 2019.

⁸ Hessisches Ministerium für Umwelt et al. 2017.

Konzepte hierfür sehr gut auf die örtliche Situation zugeschnitten sein, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Die vorhandene Infrastruktur bietet das Potenzial, die Anzahl an Lieferfahrzeugen, besonders in der Innenstadt, zu reduzieren. Für Verkehrsgesellschaften bietet sich die Chance, durch die Beförderung von Gütern und Waren ein neues Geschäftsfeld aufzubauen und die eigene Infrastruktur auch in den verkehrsschwachen Nebenzeiten höher auszunutzen.

Am Beispiel von Frankfurt am Main hat das Research Lab for Urban Transport (ReLUT) der Frankfurt University of Applied Sciences (Frankfurt UAS) das Schienennetz hinsichtlich einer Integration in die Sendungszustellung untersucht.

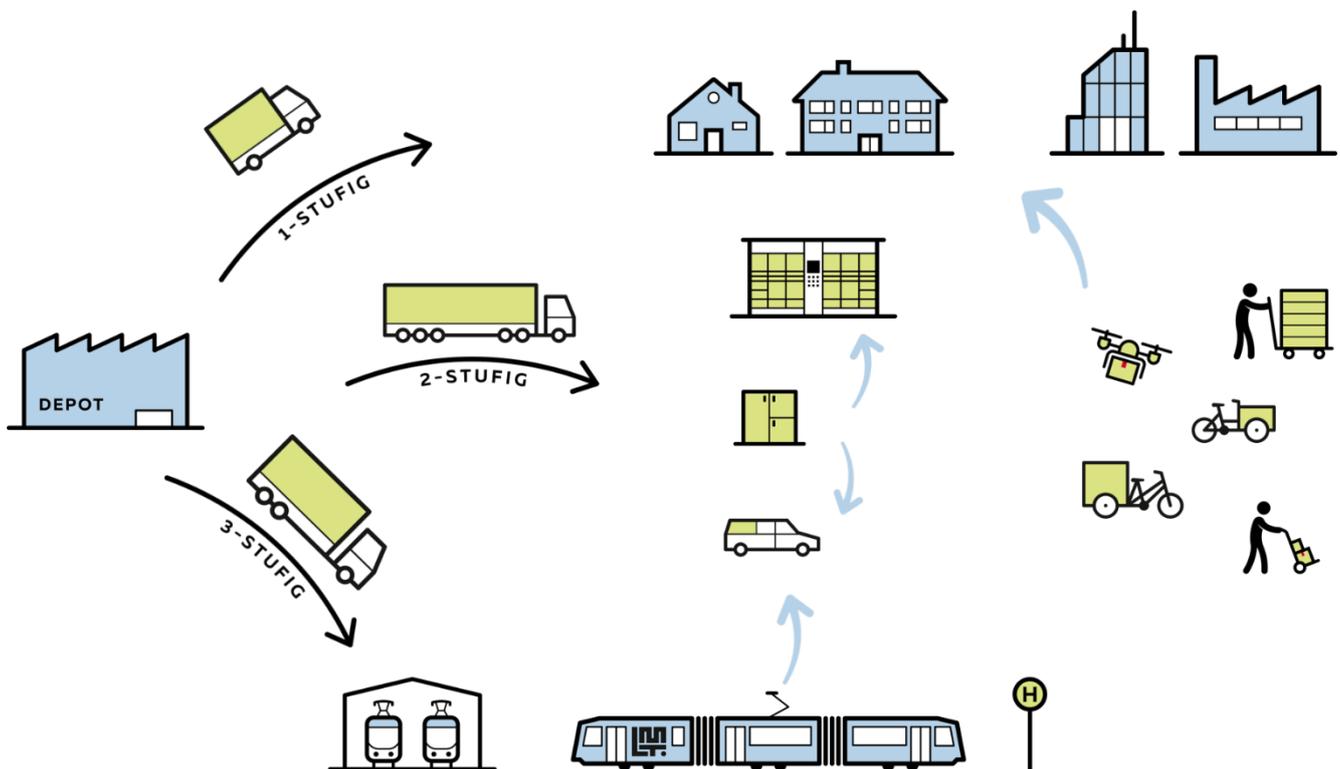


Abbildung 1: Schematische Darstellung verschiedener Belieferungsmethoden⁹

In dem vorliegenden Bericht wird in Kapitel 2 das Projekt vorgestellt. Der aktuelle Stand der Technik wird in Kapitel 3 beschrieben. Die angewendeten Methoden sind in Kapitel 4 und eine Anforderungsanalyse in Kapitel 5 zu finden. Im Kapitel 6 wird eine Standortanalyse durchgeführt und Streckenkonzepte vorgestellt. Eine standardisierte Transportbox für die Sendungszustellung mit der Tram wurde entwickelt und in Kapitel 7 vorgestellt. Kapitel 8 zeigt Kosten- sowie CO₂-Emissionsberechnungen von zwei Szenarien. Der Forschungsbericht schließt mit einem Fazit und dem Ausblick in Kapitel 9.

⁹ Eigene Darstellung

2 Darstellung des Forschungsprojekts „LastMileTram“

In diesem Kapitel wird das Forschungsprojekt „LastMileTram - Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main“ vorgestellt. Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung gefördert, mit einer Laufzeit von 14 Monaten (01.10.2018 bis 31.12.2019). Nachfolgend werden der Forschungsansatz, die Projektziele und die Forschungsfragen erläutert. Anschließend erfolgen die Definition des Untersuchungsgebiets sowie eine Vorstellung der beteiligten Akteure und deren Rolle im Projekt.

2.1 Forschungsansatz

Wie bereits in der Einleitung erläutert, wird der Ruf nach alternativen Belieferungsmethoden in der Stadt, besonders durch die aktuellen Probleme mit der Einhaltung von Emissionsgrenzwerten, zunehmend lauter. Der Stand der Technik zeigt einige umgesetzte Projekte, u.a. auch Konzepte von Güterstraßenbahnen. Dabei wird deutlich, dass die Einsatzmöglichkeiten nicht nur vielfältig, sondern auch immer abhängig von den örtlichen Gegebenheiten sind.

Das Forschungsprojekt „LastMileTram“ untersuchte den Einsatz einer Straßenbahn, speziell für den Transport von Paketen, am Beispiel Frankfurt am Main. Der Zustellprozess sieht vor, dass Pakete mit Lastkraftwagen (Lkw) zu einer Haltestelle in Stadtrandlage transportiert werden (vgl. Abbildung 2). Dort wird die Straßenbahn mit Sendungen beladen. Sie fährt dann zu einer innerstädtischen Haltestelle, an der Lastenradfahrer oder Zusteller mit Handkarren die Sendungen übernehmen und den Empfängern zustellen.

Dazu wurden Analysen der vorhandenen Infrastruktur, der Kosten und der CO₂-Emissionen, sowie Experteninterviews und ein Workshop mit regionalen Akteuren durchgeführt. Darüber hinaus gab es erste Feldversuche, wobei nicht nur der Transport von Paketen in einer Straßenbahn wissenschaftlich untersucht wurde, sondern auch die Zustellung auf der „letzten Meile“ per Lastenradfahrer, sowie der Einsatz möglicher Transportmedien.

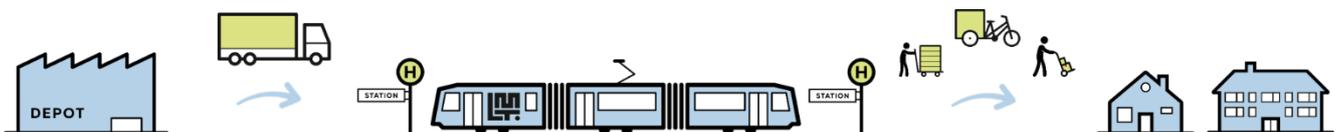


Abbildung 2: Zustellprozess mit der Straßenbahn¹⁰

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden ausschließlich das Straßenbahnnetz und die Straßenbahn für den Transport von Gütern untersucht. Als Begründung ist aufzuzählen, dass das Straßenbahnnetz über deutlich mehr Haltestellen verfügt und keine Tunnel-Abschnitte vorhanden sind. Der Stand der Technik zeigt jedoch, dass auch der Einsatz auf unterirdischer, öffentlicher Schieneninfrastruktur möglich ist. Hier besteht somit weiterer Forschungsbedarf.

¹⁰ Eigene Darstellung

2.2 Ziele und Forschungsfragen

Durch den Transport von Gütern mithilfe des öffentlichen Schienennahverkehrs sollen Fahrten mit Kraftfahrzeugen im urbanen Raum eingespart werden. Durch die Nutzung des vorhandenen Schienennetzes und Schienenfahrzeugen, anstelle der konventionellen Auslieferung mittels Lieferfahrzeugen oder Lkw, werden lokal keine Emissionen emittiert. Zwar könnte dieses Problem durch den fortschreitenden Einsatz von elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen ebenfalls erzielt werden, diese benötigen jedoch weiterhin Abstellmöglichkeiten und führen zu Konfliktsituationen mit anderen Verkehrsteilnehmern. Zudem ist bislang nur ein Bruchteil der gewerblich genutzten Flottenfahrzeuge elektrifiziert. Zusammenfassend lassen sich damit folgende verkehrliche und umwelttechnische Ziele definieren:

- Verkehrsreduzierung durch weniger Fahrten von Zustellfahrzeugen in der Stadt
- daraus resultiert die Reduzierung von Emissionen (Luft und Lärm)

Ziel des Forschungsprojekts war es, durch eine empirische Forschung den Einsatz einer Güterstraßenbahn in Frankfurt am Main zu untersuchen. Dabei standen die folgenden Forschungsfragen im Fokus: Welche Kriterien werden an die vorhandene Infrastruktur für den Einsatz gestellt? Wie können die logistischen Ablaufprozesse mit der Schieneninfrastruktur praxistauglich zusammengefügt werden? Welche Transportmedien sind geeignet und wie lassen sich diese leicht umschlagen und zum Zustellort liefern? Wie kann auf Grundlage einer Kostenanalyse ein wirtschaftlicher Betrieb sichergestellt werden?

Die gesammelten Grundlagen, definierten Kriterien und entwickelten Konzepte sollen nicht nur auf das Untersuchungsgebiet im Projekt anwendbar sein, sondern eine Übertragbarkeit auf andere Fallbeispiele ermöglichen.

2.3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf das Stadtgebiet Frankfurt am Main. Die größte Stadt Hessens hat circa 750.000 Einwohner und ist Zentrum des Wirtschaftsraum RheinMain mit 2,4 Millionen Einwohnern¹¹. Laut Prognosen soll die Bevölkerung bis 2030 um circa 9% steigen.¹² Die Kaufkraft der Einwohner ist als gut zu bewerten, sie liegt 14% über dem Bundesdurchschnitt.¹³

Bekannte Unternehmen der Finanzbranche, die Deutsche Börse und die Europäische Zentralbank haben ihren Sitz in der Stadt. Die verkehrsgeographisch günstige Lage in Europa ist zudem attraktiv für die Logistik- und Mobilitätsbranche. Zahlreiche Logistikdienstleister sind in Frankfurt vertreten oder haben hier ihren Stammsitz.¹⁴ Frankfurt am Main wird als Verkehrsknotenpunkt bezeichnet. Mit einem der größten Flughäfen Europas, dem verkehrsreichsten Autobahnkreuz der Republik und einem der wichtigsten Schienenknoten Deutschlands ist Frankfurt regional und national von der Mobilität geprägt.¹⁵ Das große Angebot an

¹¹ Regionalverband FrankfurtRheinMain o.J..

¹² Stadtplanungsamt Frankfurt am Main o.J..

¹³ IHK 2019.

¹⁴ Wirtschaftsförderung Frankfurt o.J..

¹⁵ Stadt Frankfurt am Main o.J..

Arbeitsplätzen schlägt sich in den hohen Pendlerzahlen wieder, Frankfurt ist laut Pendleratlas die Pendlerhauptstadt Deutschlands.¹⁶

Die Stadt Frankfurt am Main gliedert sich in 43 Stadtteile, welche sich teilweise stark in der Nutzung unterscheiden. Ein Ausschnitt des Stadtgebiets ist auf der Abbildung 3 dargestellt, mit den wichtigsten Point-of-Interest.

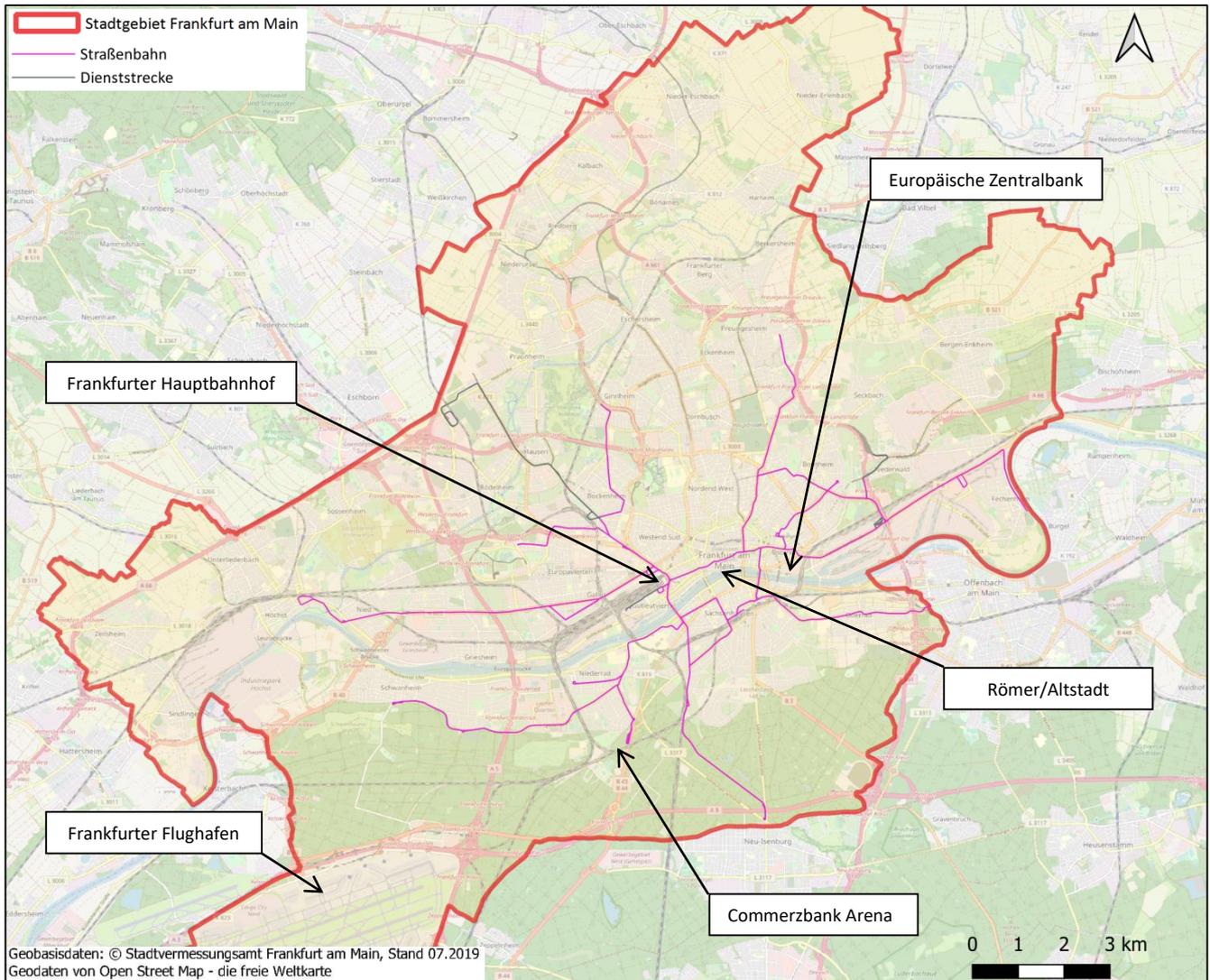


Abbildung 3: Stadtgebiet von Frankfurt am Main mit Straßenbahnnetz¹⁷

Die peripheren Stadtteile sind suburban geprägt mit niedrig-geschossiger Wohnbebauung. Der Osten der Stadt hat einen gewerblichen Schwerpunkt und bietet attraktive Standorte für Logistikdienstleister aufgrund der Nähe zur Autobahn A661 und der Main-Kinzig-Bahn. Das Zentrum bildet die Altstadt und das Bankenviertel mit Hochhäusern entlang der Taunusstraße. Die umliegenden Viertel sind geprägt von dichter gründerzeitlicher Bebauung und engen Straßenquerschnitten. Solche urbanen Stadtteile sind eine Herausforderung für den

¹⁶ Bundesagentur für Arbeit 2019.

¹⁷ Eigene Darstellung

Wirtschaftsverkehr, da der Straßenraum zu Nutzungskonflikten führt. Diese treten beim Be- und Entladen auf; oft bedingt durch Parken in der zweiten Reihe oder an anderen nicht vorgesehen Stellen.¹⁸

Das Stadtgebiet wird mit dem schienengebundenen Personennahverkehr (SPNV) und durch 18 Buslinien erschlossen. Der SPNV unterteilt sich in neun S-Bahn-Linien, neun U-Bahn-Linien und zehn Straßenbahnlinien. Vor allem im Innenstadtbereich ist eine ausgeprägte Erschließung vorhanden. In Abbildung 3 ist das Straßenbahnnetz dargestellt. Eine detaillierte Betrachtung ist im Kapitel 6 zu finden.

In Anbetracht der gesellschaftlichen Trends, wie die Wiederaufwertung der Innenstadt als Wohnraum, die wachsende Ansiedlung von Geschäften im citynahen Bereich, der Nutzungskonflikte im Straßenraum¹⁹ und den kontinuierlichen Überschreitungen der Stickstoffdioxid-Grenzwerte²⁰, besteht akuter Handlungsbedarf in der urbanen Mobilität, die auch die KEP-Dienstleister mit einschließt.

2.4 Projektpartner

Das Projektkonsortium bestand aus der Frankfurt University of Applied Sciences, der Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main, Hermes Germany, dem House of Logistics and Mobility und dem Klima-Bündnis. Als assoziierte Partner ist das Familienunternehmen DACHSER zu nennen. Nachfolgend werden die einzelnen Partner vorgestellt, sowie deren Rolle im Projekt „LastMileTram“.

Frankfurt University of Applied Sciences

Die Frankfurt UAS bietet ein wissenschaftlich hochqualifiziertes und gleichzeitig praxisorientiertes Studienangebot für aktuell rund 15.000 Studierende. Die vier Fachbereiche mit über 40 Studiengängen spiegeln das wissenschaftliche Profil der Hochschule wider. Das breite Studienangebot wird stetig weiterentwickelt und um zukunftsorientierte Studiengänge ergänzt. Die anwendungsbezogene Forschung verzahnt die Lehre mit der Arbeitswirklichkeit.

Seit 2010 gibt es das Zentrum für Logistik, Mobilität und Nachhaltigkeit (ZLMN) an der Frankfurt UAS. Das ZLMN bündelt Kompetenzen aus drei Fachbereichen und dient als Plattform für interdisziplinäre, fachübergreifende Kooperationen in den Gebieten Logistik, Mobilität und Nachhaltigkeit. Durch das 2018 initiierte Forschungslabor ReLUT rückt das Themenfeld Wirtschaftsverkehr noch stärker in den Fokus. Hierbei werden die bestehenden Kompetenzen um die Bereiche Big Data und quantitativen Methoden erweitert.

Die Frankfurt UAS hatte in dem Forschungsprojekt die Projektleitung. Neben der Projektkoordination führte sie Experteninterviews und einen Workshop durch. Zudem wurden erste Feldversuche vorbereitet und dokumentiert. Die Aufbereitung der Projektergebnisse und die Verstetigung war ebenfalls Bestandteil der Aufgaben im Projekt.

¹⁸ Schäfer et al 2017.

¹⁹ IHK 2012.

²⁰ Umweltbundesamt 2018.

Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main

Die Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main (VGF) ist das städtische Nahverkehrsunternehmen und Betreiber der Straßen- und Stadtbahnen. Auf neun U-Bahn- und zehn Straßenbahnlinien sorgen über 400 Schienenfahrzeuge für die Beförderung von Personen in Frankfurt. Die VGF ist verantwortlich für die rollende und ortsfeste Infrastruktur, für Sicherheit, Sauberkeit, Service und Kundendienst.²¹ Im Projekt stellte die VGF Straßenbahnen und Personal und weitere Infrastruktur für Feldversuche bereit. Darüber hinaus unterstützte sie mit ihrer Expertise im Bereich des ÖPNV.

Hermes Germany GmbH

Der Consumer-Logistiker Hermes Germany GmbH, mit Sitz in Hamburg, hat sich in Deutschland zum größten postunabhängigen Zusteller an Privatkunden in den Bereichen B2C und C2C entwickelt. Mit über rund 16.000 Hermes PaketShops in Deutschland verfügt das Unternehmen im europäischen Vergleich über das größte flächendeckende Netz von Annahmestellen für den privaten Paketversand, die vom Versandhandel auch als alternative Zustelladresse genutzt werden können. Im Projekt nahm Hermes aktiv an Feldversuchen mit einer Güterstraßenbahn teil. Dafür wurden reale Sendungsmengen bereitgestellt und mit Lastenfahrrädern ausgeliefert. Darüber hinaus unterstützte Hermes mit seiner Expertise für Logistikprozesse und Kontakten zu Unternehmen.

House of Logistics and Mobility GmbH

Das House of Logistics and Mobility (HOLM) ist die unabhängige Kompetenz-, Entwicklungs- und Vernetzungsplattform der Logistik und Mobilität in Hessen. Es bietet auf 20.000 m² Raum für wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen und Start-ups, für Konferenzen und Netzwerkaktivitäten. Gleichzeitig ist es eine Innovations- und Vernetzungsplattform und fördert aktiv den gemeinsamen Austausch von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Im HOLM teilen Experten ihr Wissen, treiben Entwicklungen gemeinsam voran und machen sie für die Öffentlichkeit zugänglich.

Im Projekt agiert die House of Logistics and Mobility GmbH (HOLM GmbH) zur Unterstützung in der Vernetzung zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. Die Inhalte sowie Ergebnisse des Projektes LastMileTram leisten einen Beitrag zur HOLM-Forschungsagenda mit dem Handlungsfeld „Urbane Logistik und Mobilität“ sowie der Initiative Wirtschaftsverkehre FrankfurtRheinMain, welche durch die HOLM GmbH koordiniert wird.

Klima-Bündnis

Im Klima-Bündnis arbeiten 1.700 Mitgliedskommunen in 26 europäischen Staaten, Bundesländer, Provinzen, Nichtregierungsorganisationen und andere Organisationen gemeinsam aktiv daran, den Klimawandel zu bekämpfen. Das Klima-Bündnis ist das größte europäische Städtenetzwerk, das sich dem Klimaschutz verschrieben hat.²²

²¹ VGF o.J..

²² Klima-Bündnis o.J..

Im Projekt nahm das Klima-Bündnis an Projektsitzungen und dem Workshop teil und unterstützte das Konsortium durch Expertise im Bereich des kommunalen Klimaschutzes.

DACHSER

Das Familienunternehmen DACHSER mit Hauptsitz in Kempten wurde 1930 gegründet und bietet Transportlogistik, Warehousing und kundenindividuelle Services an. Übergreifende Kontraktlogistik-Services sowie branchenspezifische Lösungen ergänzen das Angebot. Ein flächendeckendes europäisches sowie interkontinentales Transportnetzwerk und komplett integrierte Informationssysteme sorgen weltweit für intelligente Logistiklösungen.

Im Projekt unterstützte DACHSER das Projektkonsortium durch Expertise im Bereich der Transportlogistik.

3 Stand der Technik

In der Literatur sind bereits verschiedene Projekte zu finden, die den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) in die Innenstadtbelieferung integrieren. Dabei handelt es sich um tatsächliche Anwendungen, die getestet wurden, oder sich im Regelbetrieb befinden. Auch Machbarkeitsanalysen sind zu finden, die die Integration des ÖPNV qualitativ prüfen und beschreiben.

Die folgenden Darstellungen wurden teilweise im Rahmen von Bachelor- sowie Master- und Projektarbeiten erstellt.

3.1 Anwendungsbeispiele

Im Folgenden werden Anwendungsbeispiele aus Europa und Asien beschrieben. Hierbei kam es mindestens zu einem Pilotversuch.

3.1.1 Amsterdam - Niederlande

Projektname:

In Amsterdam fand das Projekt „City Cargo“ statt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es zu Pilottests kam.

Ort/Problem:

Amsterdam stand vor den logistischen und ökologischen Herausforderungen, steigende urbane Warenströme abzuwickeln. Die Merkmale Amsterdams, eine mittelalterliche Stadt, die aus vielen engen und kurzen Straßen, Brücken und Kanälen im Stadtzentrum besteht, macht die Zufahrt für konventionelle Lieferfahrzeuge uneffektiv. Um infrastrukturelle Schäden zu vermeiden, wurde die Einfahrt für schwere Nutzfahrzeuge auf die Zeit zwischen 7.00 und 11.00 Uhr beschränkt. Resultierend daraus stieg die Nachfrage nach neuen Logistikkösungen.²³ Da die Nachfrage nach Zustelldiensten konstant bleibt, muss das Warenvolumen durch eine größere Menge kleinerer Fahrzeuge in die Innenstadt transportiert werden. Dadurch steigt die Verkehrsdichte, es entstehen vermehrt Staus und Lärm, die Umweltverschmutzung wächst.²⁴

Lösungsansatz:

Als Lösungsansatz, um die Güterverteilung vom Straßenverkehr auf den Straßenbahnverkehr zu verlagern, wurde 2007 das von der City Cargo initiierte Pilotprojekt gestartet.²⁵ Das Konzept von City Cargo sieht vor, dass das bestehende Straßenbahnnetz nicht nur von Fahrgästen, sondern auch für den Güterverkehr genutzt werden soll. Die Güterstraßenbahn wird getrennt von der regulären Personenstraßenbahn betrieben. Für das Projekt wurden zwei angepasste Straßenbahnen von der öffentlichen Verkehrsgesellschaft von Amsterdam (GVB) bereitgestellt. Der Test wurde in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase fuhren die leeren Straßenbahnen zwischen 7 und 23 Uhr zwei Wochen in der Innenstadt, um die allgemeine Verkehrssituation zu untersuchen. Da

²³ Arvidsson 2010.

²⁴ Arvidsson 2010.

²⁵ Chiffi 2015.

die Güterstraßenbahnen die Straßenbahnhaltestellen nicht nutzten, wurde der Personenverkehr der Straßenbahnlinien nicht gestört.²⁶

In der zweiten Phase wurden die Güterstraßenbahnen an den Endhaltestellen am Stadtrand mit Waren beladen. Die Waren stammten von Kooperationspartnern wie Mexx und McGregor für Bekleidungsgeschäfte und Heineken für Pubs.²⁷ Die Ware wurde in der Pilotphase mit Hilfe der Straßenbahn in die Innenstadt gefahren. Für das eigentliche Projekt war vorgesehen, kleinere Distributionszentren in der Innenstadt zu errichten und die Ware dorthin zu transportiert. Dort sollte die Ware dann mit Hilfe von elektrischen Lieferfahrzeugen zu den Endkunden gebracht werden. Auf dem Rückweg der Straßenbahn Richtung äußerem Stadtzentrum wurde in der letzten Pilotwoche auch Altpapier aus der Stadt hinaus transportiert.²⁸

Ergebnisse:

Nach Angaben des Unternehmens „City Cargo“ erhielt dieses nach den erfolgreichen Versuchen die Erlaubnis, in vollem Umfang zu operieren. Eine maßgebliche Vorgabe war, den Betrieb auf eigene Kosten und ohne öffentliche Mittel weiterzuführen. Das Unternehmen City Cargo als Betreiber der Güterstraßenbahnen wäre für die Lieferung von Gütern an verschiedene Unternehmen unter Berücksichtigung bestimmter Beschränkungen der Streckenkapazität und des Zeitrahmens verantwortlich. Die Einführung der Güterstraßenbahn mit zehn Fahrzeugen könnte zu einer Reduktion von 2.500 Lkw und einer Reduktion von Emissionen um 15 % jährlich führen. Eine Expansion von zehn auf 50 Straßenbahnen würde sogar zu einer Halbierung der Lkw innerhalb Amsterdams führen. Für eine optimale Bereitstellung und Distribution der Waren würden in der Nähe des Flughafens Schiphol Distributionszentren eingerichtet werden.²⁹

Trotz der anfänglich vielversprechenden Aussichten bestanden finanzielle und politische Schwierigkeiten. Dazu gehörte auch, dass die stillgelegten Schienen nicht als Umschlagsplatz genutzt werden durften. Grund dafür war, dass diese für Notfälle freigehalten werden müssen. Es hätten neue Schienen für das Umschlagen der Güter errichtet werden müssen. Die Kosten für den Umbau hätten sich auf etwa eine Millionen Euro pro Kilometer belaufen. Zusätzlich hätte die neu errichtete Infrastruktur per Gesetzeslage der Stadt gehört. Eine Finanzierung war daher problematisch. Der Business Plan umfasste Investitionen in Straßenbahnen, neue Infrastruktur, neue Schienen, eine Hauptumschlagsbasis (HUB) und elektrisch angetriebene Fahrzeuge. In Summe ergab dies 70 Millionen Euro. Die Finanzkrise erschwerte die finanzielle Situation zusätzlich. Die Stadt Amsterdam war dem Projekt sehr zugewandt und verlängerte die Konzession von sechs auf zehn Jahre, um dem Unternehmen Zeit zu geben, profitabel zu werden. Darüber hinaus gab die Stadt ein Angebot ab, in dem es sich finanziell beteiligen würde. Dazu kam es nicht, da City Cargo in der Zwischenzeit Konkurs anmelden musste.³⁰

²⁶ Chiffi 2015.

²⁷ SUGAR 2011.

²⁸ Arvidsson 2010.

²⁹ Arvidsson 2010.

³⁰ Arvidsson 2010.

Erkenntnisse:

Das Projekt in Amsterdam hat gezeigt, dass politische Unterstützung unabdingbar ist. Da auch politische Ziele, wie eine Senkung von Emissionen und Verkehr erreicht werden, sind Subventionen angebracht. Sie ermöglichen den Betrieb und unterstützen den Betreiber gerade in der Anfangsphase. Zusätzliche Infrastruktur in Form von zusätzlichen Gleisabschnitten und HUB muss errichtet werden. Gerade dieses Projekt hat gezeigt, dass passende Gesamtrahmenbedingungen herrschen müssen. Dies bedeutet, dass in Zeiten einer Finanzkrise, wie es 2007/2008 der Fall war, diese Art von Projekten nicht ausreichend unterstützt wurden und damit nicht erfolgreich agieren konnten.

3.1.2 Dresden - Deutschland**Projektname:**

In Dresden findet das Projekt „CarGo Tram“ statt. Seit 2001 kommt es zu einem serienmäßigen Einsatz.

Ort/Problem:

Ende der 90er Jahre suchte die Volkswagen AG (VW) einen Standort für die Produktionsstätte des Phaetons. Die Entscheidung fiel auf ein Gelände in der Nähe der Altstadt von Dresden und des Botanischen Gartens.³¹ Nach Protesten der Bürger von Dresden, die Umweltprobleme durch erhöhten Schwerlastverkehr zur Belieferung des Werkes befürchteten, erhielt VW eine Zustimmung zum Bau des Werkes unter bestimmten Bedingungen.

Lösungsansatz:

Das Logistikzentrum von VW wurde fünf km vom VW-Werk entfernt gebaut. Aufgrund des gut ausgebauten Straßenbahnnetzes, wurde entschieden, die Komponenten vom Logistikzentrum zum VW-Werk mit einer Güterstraßenbahn zu transportieren. VW arbeitete gemeinsam mit den Dresdner Verkehrsbetrieben (DVB), dem Freistaat Sachsen und der Stadt Dresden eine bestmögliche Lösung für den Transport von Gütern per Straßenbahn aus.

Ein Verkehrsvertrag zwischen der VW AG und der DVB war die Basis für das im November 2000 begonnene Projekt. Nach dem Testlauf im Januar begann der reguläre Transportbetrieb am 1. März 2001.³² Die Anzahl der Straßenbahnfahrten ist abhängig von der Produktionsgeschwindigkeit im VW-Werk. Das VW-Werk meldet daher seinen Bedarf bei der DVB an. Die Produktion von maximal 150 Fahrzeugen pro Tag bei einer Produktionszeit von 21 Stunden pro Tag an sechs Tagen in der Woche ist möglich. Für die CarGo Tram wurden Richtlinien und Anforderungen erarbeitet. Diese sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt. Pro Güterstraßenbahn können drei Lkw Fahrten eingespart werden.³³

Es werden zwei Triebwagen eingesetzt, um Wendeschleifen am Anfang und am Ende zu vermeiden. Eine schnelle Be- und Entladung ist möglich, da die Ladefläche containerförmig ist. Zum Be- und Entladen werden Gabelstapler eingesetzt.³⁴

³¹ TU Harburg.

³² Arvidsson 2010; Drewitz 2012.

³³ Drewitz 2012.

³⁴ Drewitz 2012.

Tabelle 1: Technische Daten der CarGo Tram Desden ³⁵

Hersteller	Schalken Eisenhütten Maschinenfabrik
Gesamtlänge der Straßenbahn	59.400 mm
Länge des Triebfahrzeugs	11.700 mm
Länge des Mittelwagens	12.000 mm
Transportvolumen des Triebfahrzeugs	26,80 m ³
Transportvolumen des Mittelwagens	53,50 m ³
Ladehöhe	2.200 mm
Maximales Ladungsgewicht	60 t
Leergewicht	90 t
Gesamtgewicht	150 t
Höchstgeschwindigkeit	50 km/h
Zusammensetzung (der Wagen)	2 Triebwagen + 3 Mittelwagen
Ladevolumen	214 m ³

Ergebnisse:

Nach 15-jährigem Betrieb der CarGo Tram wurden die Fahrten der Güterstraßenbahn in der Zeit zwischen April 2016 und März 2017 für fast ein Jahr unterbrochen. Grund dafür war die auslaufende Produktion des VW Phaeton. Seit April 2017 beliefert die CarGo Tram das Werk wieder und versorgt das Werk mit Komponenten für den VW E-Golf. Aufgrund der gesunkenen Produktionszahlen wurden die täglichen Fahrten der CarGo Tram deutlich reduziert. Im Jahr der Einführung wurden 30 Fahrten pro Tag erwartet, aber bereits zwei Jahre nach der Einführung fuhr die CarGo Tram maximal zehn Mal pro Tag.³⁶ Angaben über die aktuell täglich durchgeführten Fahrten der CarGo Tram liegen nicht vor. Das Logistikkonzept führt laut VW zu einer Einsparung von 60 Lkw pro Tag oder 200.000 Straßenkilometer pro Jahr. Diese Transportmöglichkeit ist ein wichtiges Element für die umweltfreundliche Produktionsanlage in der Nähe der Dresdner Altstadt.³⁷

Erkenntnisse:

Das Projekt zeigt, dass eine Belieferung auf öffentlicher Infrastruktur erfolgreich sein kann. Dabei kommt eine Direktbelieferung zum Einsatz, d.h. der Standort eines Unternehmens beliefert einen anderen Standort des gleichen Unternehmens. Die Rahmenbedingungen waren günstig und eine Alternative zur Belieferung der Produktionsstätte in der Nähe der Altstadt von Dresden musste gefunden werden. Eine Einbindung und Konzeptentwicklung aller Stakeholder (VW, DVB und Stadt Dresden) erwies sich als zielführend und Verkehrsverträge dokumentierten alle Regularien.

³⁵ Drewitz 2012.

³⁶ Vollmer 2017.

³⁷ Dresdner Verkehrsbetriebe AG 2010.



Abbildung 4: CarGo Tram Dresden ³⁸

3.1.3 Saint-Étienne - Frankreich

Projektname:

In Saint-Étienne fand das Projekt „TramFret“ statt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2017 zu Pilottests kam.

Ort/Problem:

Das Ziel war es, einen besseren Transport von Gütern mit ehemals ausrangierten Straßenbahnen auf der bestehenden Straßenbahninfrastruktur zu ermöglichen.³⁹

Lösungsansatz:

Laut Efficacy (Forschungs- und Entwicklungsinstitut für den städtischen Energieumbau) entstand die Idee zu diesem Konzept von TramFret, weil es einen großen Straßenbahnbestand gab. Gleichzeitig werden damit die Herausforderungen wachsender Logistik-, Energie- und Umweltambitionen adressiert. Die Belastungen durch die konventionelle Anlieferung auf der Straße können somit angegangen werden. Durch die Wiederverwendung alter Straßenbahnen unter Nutzung des bestehenden Straßenbahnnetzes könnten innovative und nachhaltige Lösungen realisiert werden.⁴⁰

Ergebnisse:

Zwei erfolgreiche Tests wurden bereits im Juni und Juli 2017 in Zusammenarbeit mit Efficacy, Metropole Saint-Etienne (SEM), dem Straßenbahnbetreiber Société Transports Publics de l'Agglomération Stéphanoise (STAS) und der Supermarktkette Casino durchgeführt. Während des ersten Versuchs im Juni 2017 lieferte TramFret auf dem bestehenden Straßenbahnnetz einmal täglich Waren an die Supermarktkette Casino. Über die transportierte Warenmenge sind keine Informationen bekannt. Der Personenverkehr wurde nicht

³⁸ Vollmer 2017.

³⁹ Efficacy 2017.

⁴⁰ Efficacy 2017.

beeinträchtigt. Laut Casino und anderen Beteiligten bietet diese Lieferlösung einen wirtschaftlichen und logistischen Vorteil. Die Lieferung wird als sehr effektiv beschrieben. Die Waren konnten leicht von der Haltestelle der Straßenbahn in die Geschäfte gebracht werden. Für die Betreiber ist der Gebrauch älterer Fahrzeuge vorteilhaft, da sie sonst keinen Nutzen mehr hätten.⁴¹

TramFret stand kurz davor, seine Wirtschaftlichkeit unter Beweis zu stellen. Anfang 2018 war ein drittes und letztes Pilotprojekt mit erhöhter Komplexität und mehr fahrenden Straßenbahnen, mehr Gütern und mehr Zielen geplant. Verschiedene Unternehmen wie Relais Colis hatten bereits ihr Interesse an einer möglichen Zusammenarbeit bekundet. Aufgrund finanzieller Schwierigkeiten konnte TramFret jedoch nicht weiterverfolgt werden.⁴²

Erkenntnisse:

Ein Beweggrund für das Projekt war, ältere ausrangierte Schienenfahrzeuge wieder zu nutzen. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz für einen erfolgreichen Betrieb des Konzepts nicht ausgereicht hat.

3.1.4 Wien - Österreich

Projektname:

In Wien fand das Projekt „GüterBim“ statt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2005-2007 zu Pilottests kam.

Ort/Problem:

Wien hatte mit einem deutlichen Anstieg des Verkehrsaufkommens zu kämpfen. Die Entscheidung, den Straßengüterverkehr zu reduzieren, sollte durch die Nutzung des Straßen- und U-Bahnnetzes für den Gütertransport erreicht werden.

Lösungsansatz:

Die Schieneninfrastruktur in Wien sollte hinsichtlich einer Nutzung für den Gütertransport überprüft werden. Zusätzlich sollte das Anwendungspotenzial im Bereich der Logistik ermittelt werden. Eine Machbarkeitsstudie in Form einer Situationsanalyse und einer Systemspezifikation wurde durchgeführt. Dazu wurden die Gleisanlagen, Oberleitungen, das Leitsystem, die Steuerung, die Züge und der Fahrplan überprüft. Der Fahrplan wurde im Hinblick auf die Integration einer Güterstraßenbahn kontrolliert. Die Maßnahmen waren von großer Bedeutung, um notwendige Systemeingriffe frühzeitig zu erkennen.

Ergebnisse:

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie zeigt, dass Güterarten wie Abfälle, Bauschutt, Lebensmittel und innerbetriebliche Güter für den Transport in Frage kommen. Diese sollten in Zeiten schwachen Betriebs transportiert werden.⁴³ Die ersten Testfahrten wurden im Mai 2005 durchgeführt.⁴⁴ Mit der GüterBim wurden

⁴¹ Forrest 2017.

⁴² Forrest 2017.

⁴³ Drewitz 2012.

⁴⁴ Drewitz 2012.

Güter wie Fahrersitze, Radreifen und Batterien von einem Depot zum nächsten transportiert. Alle zwei Tage wurden sechs der zwölf Stationen bedient. Die Fahrten wurden in den Nebenverkehrszeiten durchgeführt. Es wurde eine Zügeinheit eingesetzt, die aus einem Zugfahrzeug und einem Anhänger bestand.⁴⁵ Der Umschlag der Ware erfolgte mit Hilfe von Gabelstaplern. Diese hoben die auf Europaletten abgestellte Ware in die Güterwagen. Über die transportierte Warenmenge liegen keine Informationen vor.

Tabelle 2: Technische Daten Güterbim Wien ⁴⁶

Länge des Zugfahrzeugs	19 m
Beladungszone	15,4 m x 1,5 m
Nutzlast	13 t
Maximales Gesamtgewicht	26,55 t

Ein weiterer Teil der Testphase war das Projekt am zweiten Weihnachtssamstag 2006. In Zusammenarbeit mit dem Logistikdienstleister Direct Parcel Distribution (DPD) wurde beschlossen, die GüterBim in eine PackerBim zur Zwischenlagerung von Geschenken umzubauen. DPD übernahm auf Wunsch die kostenlose Zustellung an der Haustür am folgenden Tag. So testete DPD das neu entwickelte Telematiksystem.⁴⁷ Das Projekt „GüterBim-Telematik“ wurde Anfang 2006 gestartet. Themen des Projektes waren die betriebliche Vernetzung von Logistik-, Bestell- und Betriebsleitsystemen.⁴⁸ In einem weiteren Teil des zweijährigen Testlaufs fand ein Austausch mit den verschiedenen Interessenten aus unterschiedlichen Branchen statt. Ihre logistischen und wirtschaftlichen Anforderungen sollten ermittelt und in das Projekt integriert werden.⁴⁹ Über Einsparungen ist nichts bekannt.

Die Herausforderungen lagen in den Entladestationen. Nicht an allen Haltestellen konnten Ladekräne installiert werden. Das Entladen mit Gabelstaplern fand neben den Fahrgästen statt und dauerte eine gewisse Zeit. Zu berücksichtigen ist auch, dass der Umschlag auf die Straßenbahn in der multimodalen Transportkette mit zusätzlichem Aufwand verbunden ist.⁵⁰ TINA Vienna, Wiener Linien und Wiener Lokalbahn arbeiteten an diesem Projekt. Der Betrieb der GüterBim war unter den damaligen Bedingungen nicht wettbewerbsfähig.⁵¹ Die GüterBim war somit nicht erfolgreich. Weitere Gründe für das Scheitern des Projekts sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Das Projekt hat gezeigt, dass die operativen Prozesse optimal abgestimmt sein müssen, sodass der Aufwand einer multimodalen Transportkette so gering wie möglich gehalten wird.

⁴⁵ Gerstl 2019.

⁴⁶ Drewitz 2012.

⁴⁷ Fochler 2006.

⁴⁸ Gerstl 2019.

⁴⁹ Drewitz 2012.

⁵⁰ Gerstl 2019.

⁵¹ Gerstl 2019.

3.1.5 Zürich - Schweiz

Projektname:

In Zürich findet das Projekt „Cargo-Tram“ und „E-Tram“ statt. Dabei kommt es seit 2003 zu einem serienmäßigen Einsatz.

Ort/Problem:

2002 hatten die Dienststellen Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ) und der Verkehrsbetrieb Zürich (VBZ) die Idee, eine Tram zur Entsorgung von Sperrgut (Cargo-Tram) und Elektrogeräten (E-Tram) zu verwenden. Das Konzept sollte vor allem Bewohner ohne Auto ansprechen. Die Abfälle durften nur mit dem Fahrrad oder den öffentlichen Verkehrsmitteln angeliefert werden.⁵²

Lösungsansatz:

Nach einem festgelegten Fahrplan kommt die Cargo-Tram an einer der 22 (Stand März 2020) vorgesehenen Haltestellen an, an denen der Müll von den Bürgern abgegeben werden kann. Im Jahr 2006 wurde die E-Tram eingeführt, um den Elektroschrott von Bürgern zu entsorgen. E-Tram und Cargo-Tram wechseln sich täglich ab und fahren 22 Stationen pro Monat an verschiedenen Tagen an.⁵³ In Zusammenarbeit mit verschiedenen Recyclingunternehmen wird im Recyclinghof in Weiderhölzli das Material weiter verarbeitet.

Ergebnisse:

Im Frühjahr 2003 wurde eine erste Testphase gestartet. Bestehende Trams wurden umgebaut. Für das Pilotprojekt waren anfangs nur die Haltestellen Wollishofen, Tiefenbrunnen, Letzigrund und Laubegg vorgesehen.⁵⁴ Während der acht Testmonate wurden an den vier Haltestellen 252 Tonnen Sperrgut und Schrott gesammelt. Der Probelauf war somit sehr erfolgreich. ERZ und VBZ nahmen den Dauerbetrieb auf und erweiterten die Strecke 2004 um weitere vier Haltestellen. Im Jahr 2005 wurde eine neunte Haltestelle hinzugefügt. Damit war es in Zürich möglich, den Müll auf diese alternative Weise in der ganzen Stadt zu entsorgen.⁵⁵ Das Züricher Schienennetz, die Fahrzeuge und das Personal für die Fahrzeuge werden von den VBZ zur Verfügung gestellt. Die ERZ stellt die Container und das erforderliche Entladepersonal zur Verfügung.

Die Anfangskosten für die VBZ und ERZ betragen 32.000 Euro. Diese Kosten beinhalten z.B. Renovierungskosten der Werkstattgleise oder neue Container mit einer Presse für sperrige Güter. Jeder Haushalt erhält jährlich den "ERZ-Entsorgungskalender". Mit diesem Kalender kann der Fahrplan der Tram zur Abholung des Mülls eingesehen werden.⁵⁶ Seit der Einführung der Cargo-Tram hat sich die jährlich illegal entladene Gesamtmüllmenge deutlich verringert. Von anfänglich 3.000 Tonnen pro Jahr sank die Menge auf etwa 1.200 Tonnen pro Jahr. Im ersten Betriebsjahr wurden rund 785 Tonnen zur Entsorgung geschickt.⁵⁷

⁵² Stadt Zürich Tiefbau- und Entsorgungsdepartement.

⁵³ Stadt Zürich 2020b.

⁵⁴ Drewitz 2012.

⁵⁵ Drewitz 2012.

⁵⁶ SUGAR 2011.

⁵⁷ Arvidsson 2010.

Abbildung 5: Cargo Tram Zürich ⁵⁸

Für die Cargo-Tram Zürich wurden Richtlinien und Anforderungen erarbeitet. Diese sind in Tabelle 3 aufgeführt. Zusätzlich hat die Cargo-Tram eine umweltfreundliche Auswirkung. Es werden weniger Lastwagen benötigt und der Transport ist umweltfreundlich. So können 37.500 Liter Diesel pro Jahr eingespart werden. ⁵⁹

Tabelle 3: Technische Daten der Cargo Tram Zürich ⁶⁰

Hersteller	Rekonstruktion der VBZ Trams
Gesamtlänge der Straßenbahn	29.250 mm
Länge des Triebfahrzeugs	11.920 mm
Länge des Containers	7.800 mm
Länge des Presscontainers	9.530 mm
Transportvolumen des Containers	24,00 m ³
Wagenkastenbreite	2,200 mm
Ladehöhe	2.500 mm
Maximales Ladungsgewicht	55,12 t
Leergewicht	38,37 t
Maximales Ladegewicht	16,75 t
Höchstgeschwindigkeit	30 km/h
Zusammensetzung (der Wagen)	1 Triebwagen + 1 Container + 1 Presscontainer

Erkenntnisse:

Das Projekt hat gezeigt, dass eine Straßenbahn zum (Ab-)Transport von Gütern (Abfall) funktioniert. Hohe Investitionen waren nicht nötig. Die Nutzung von Wendeschleifen und Endhaltestellen zum Abstellen der Straßenbahn hat sich als geeignet erwiesen. Der Fahrgastbetrieb wird davon nicht eingeschränkt.

⁵⁸ Stadt Zürich 2020a.

⁵⁹ Neuhold 2005.

⁶⁰ Drewitz 2012.

3.1.6 Delhi - Indien

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2016 zu Pilottest kam.

Ort/Problem:

Es sind keine Beweggründe bekannt, die zur Initiierung geführt haben.

Lösungsansatz:

Im März 2016 wurde von der Delhi Metro Rail Corp (DMRC) ein experimenteller Frachtdienst auf der Airport Express Line gestartet. Nicht verderbliche und E-Commerce-Artikel wurden mit Kofferwagen der Linien zwischen den Metrostationen Neu-Delhi und IGI Airport Metro befördert.⁶¹ Da der Gepäckwagen vom Passagierwagen getrennt ist, wären die Passagiere im Regelfall nicht betroffen. Der Service soll durchgängig von 5.15 Uhr bis 23.30 Uhr zur Verfügung stehen. Das Experiment ist probeweise auf drei Monate angelegt, um das potenzielle Frachtvolumen vor der Erteilung eines langfristigen Auftrags abzuschätzen zu können.

Ergebnisse:

Während dieser Zeit sollte die DMRC mit einem ausgewählten Frachtdienstleister zusammenarbeiten. Dieses Konzept ist praktisch, da es den ganzen Tag über verfügbar ist. Es ist nicht nur zeitsparend, da die Fahrt nur 24 Minuten dauert, sondern trägt auch zu einer besseren Luftqualität bei, da der Einsatz von Lkw reduziert wird.⁶² Detaillierte Ergebnisse sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Es können keine Aussagen über konkrete Erkenntnisse getroffen werden.

3.1.7 Kyoto - Japan

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2011 zu Pilottests kam.

Ort/Problem:

Ziel ist es, die Emissionen im Gebiet Arashiyama der Stadt Kyoto durch den Ersatz des bisherigen Straßentransports zu reduzieren.⁶³

Lösungsansatz:

Im Mai 2011 haben die beiden Unternehmen Yamato Transport Co. und Keifuku Electric Railroad Co. in Kyoto City die Anwendung der Straßenbahn für den Pakettransport angekündigt. Yamato Transport Co. ist Japans größter Paketzusteller, während Keifuku Electric Railroad Co. Kyoto, die Randen-Straßenbahn betreibt (Abbildung 6).

⁶¹ Railway Gazette 01.03.2016.

⁶² Delhi Metro Rail Corporation Ltd.

⁶³ Japan for Sustainability 2011.



Abbildung 6: Eine Randens-Straßenbahn ⁶⁴

Das Paketverteilzentrum von Yamato Transport befindet sich 25 km entfernt im touristisch geprägten Gebiet Arashiyama. Vor der Bekanntmachung wurden die Pakete mit Lkw (zwei Tonnen zulässiges Gesamtgewicht) und anderen kleineren Fahrzeugen ausgeliefert. Der neue Prozess zur Integration der Straßenbahn wird wie folgt beschrieben: "Yamato Transport chartert eine Straßenbahn von der Keifuku Electric Railroad in ihrer Station Saiin, belädt die Straßenbahn mit Container-Dollies (Containerwagen), auf denen die Pakete transportiert werden (Abbildung 7), und liefert sie an den Stationen Arashiyama und Randens-Saga aus. In Arashiyama, werden die Containerwagen auf von Elektrofahrrädern gezogene Träger umgeladen. Anschließend werden die Pakete an die Kunden ausgeliefert". ⁶⁵



Abbildung 7: Container-Dollies (Containerwagen) in der Tram ⁶⁵

⁶⁴ Japan Visitor.

⁶⁵ Japan for Sustainability 2011.

Ergebnisse:

Es sind keine Ergebnisse bekannt.

Erkenntnisse:

Es konnten keine Erkenntnisse gewonnen werden.

3.1.8 Sapporo - Japan**Projektname:**

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2012 zu Pilottest(s) kam.

Ort/Problem:

Sapporo City liegt im Norden Japans und ist aufgrund seiner geographischen Lage in den Wintermonaten von starken Schneefällen betroffen. Der angesammelte Schnee häuft sich auf eine Höhe von bis zu fünf Meter an. Dies führt zu Staus und/oder blockierten Straßen. Die Aufrechterhaltung eines reibungslosen Verkehrs- und Logistikflusses in der Stadt ist äußerst schwierig. Dadurch bedingte Verspätungen führen zum Sinken der Qualität des Lieferservice. Die Lieferfahrzeuge entladen auf der Straße und behindern dadurch den öffentlichen Verkehr. Dies führt zu Interessenskonflikten. Umweltaspekte wie steigende Emissionen und Lärm, die durch Staus und/oder blockierte Straßen entstehen, sind nicht zu vernachlässigen.⁶⁶

Lösungsansatz:

Zur Lösung der wirtschaftlichen und ökologischen Probleme wurde von Kikuta et. Al.⁶⁷ ein Konzept entwickelt, welches die Integration der öffentlichen U-Bahn in die traditionellen Lkw-Lieferdienste für das Stadtzentrum vorsieht. Dieses Konzept wurde in einem Pilotprojekt umgesetzt. Während des Projekts wurden Waren mit der U-Bahn aus dem Vorort über eine Distanz von 12 km in 19 Minuten in das Stadtzentrum geliefert (siehe Abbildung 8). Dies ist besonders hilfreich für Geschäftsinhaber, die früher mit Lieferverzögerungen zu kämpfen hatten.

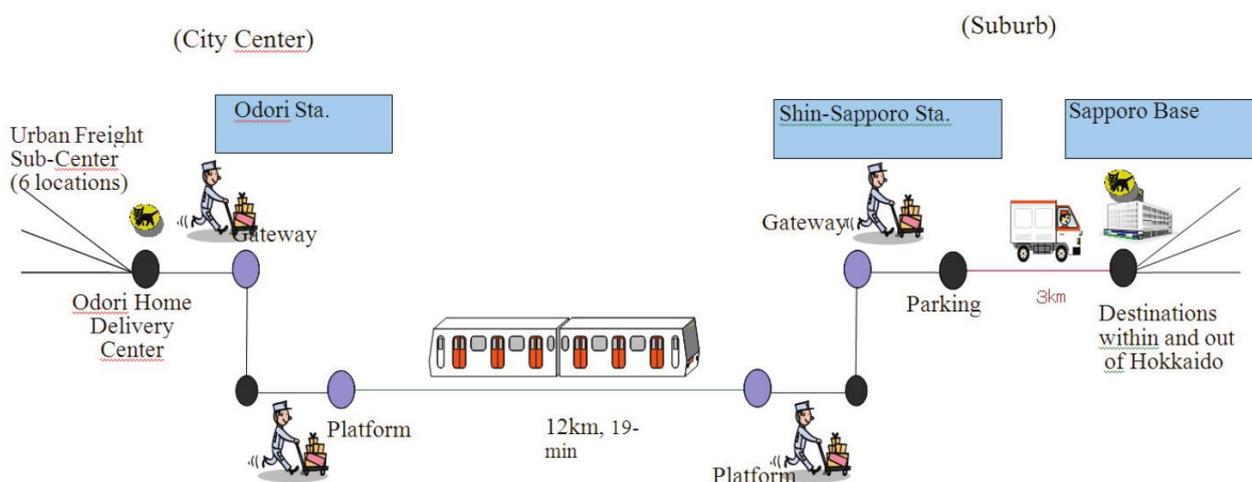


Abbildung 8: Konzeptionelles Abbild des neuen in der U-Bahn integrierten Logistiksystems⁶⁷

⁶⁶ Kikuta et al. 2012.

Ergebnisse:

Das Ergebnis zeigt, dass die Nutzung der U-Bahn als Teil des Zustellungssystems im Vergleich zu konventionellen Zustellfahrzeugen gleichermaßen effektiv ist. Die Umsetzung eines solchen Systems würde soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen: Die Verkehrsüberlastung kann durch die abnehmende Anzahl an Fahrzeugen, welche auf der Straße entladen werden, reduziert werden. Das bestehende U-Bahn-Netz würde effektiver genutzt werden, was mehr Einnahmen für den ÖPNV generiert und die Anzahl möglicher Geschäftskooperationen erhöhen würde.

Laut durchgeführten Umfragen wird die Einführung der U-Bahn als alternative Lieferlösung von der Mehrheit der Einwohner Sapporos befürwortet. Einige wenige äußern Bedenken über die Rentabilität, sowie die gemeinsame Nutzung durch Fahrgäste und Güter, was zu Sicherheitsbedenken führen könnte.

Für die Zukunft sind weitere Tests und Simulationen notwendig, um einen sicheren und praktischen Betrieb zu gewährleisten. Da die Umsetzung des Konzepts rentabel sein muss, muss mehr Forschung über mögliche unterirdische Logistiksysteme und über die Wirtschaftlichkeit der Geschäftstätigkeit betrieben werden. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen können den Behörden neue Regelungen zur Verringerung der Umweltauswirkungen vorgeschlagen werden.

Erkenntnisse:

Das Projekt hat gezeigt, dass die Einwohner der Stadt Sapporo den Einsatz der U-Bahn zum Transport von Gütern und Waren befürworten. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass dieses Zustellkonzept im Vergleich zum konventionellen Zustellkonzept gleichermaßen effektiv ist.

3.1.9 Tokio - Japan

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um ein Konzept, bei dem es 2016 zu Pilottests kam.

Ort/Problem:

Die Motivation bei diesem Projekt sind der wahrgenommene Mangel an Lkw-Fahrern, das Bestreben die Emission von CO₂ und anderen schädlichen Gasen zu reduzieren, sowie generell und speziell für die Olympischen Spiele 2020 die Straßen stärker zu entlasten.

Lösungsansatz:

Im Herbst 2016 haben Tokyo Metro Co., in Zusammenarbeit mit Sagawa Express Co. und Japan Post Co., die Machbarkeit der Nutzung ihres Metro Netzes für die Paketzustellung getestet. Die Pakete werden im Osten Tokios an der Shin-Kiba Station oder an der Wakoshi Station in der Saitama Präfektur eingeladen und anschließend in die Innenstadt Tokios (Stadtteil Ginza) transportiert. Von dort sollen die Pakete in Lkw umgeladen um zum finalen Ziel gebracht werden. Die Metro würde von der Station Shin-Kiba etwa sechs Kilometer und von der Station Wakoshi etwa 20 Kilometer weit fahren.⁶⁷ Es sind keine konkreten Informationen über die Einsparungen des Konzepts bekannt.

⁶⁷ The Japan Times 2016.

Ergebnisse:

Es sind keine Ergebnisse bekannt. Weiterhin liegen keine Informationen darüber vor, ob dieses Konzept noch im Einsatz ist.

Erkenntnisse:

Es können keine Aussagen über konkrete Erkenntnisse getroffen werden.

3.2 Machbarkeitsanalysen

Im Folgenden werden Machbarkeitsanalysen und qualitative Untersuchungen potenzieller Konzepte vorgestellt. Sie sind in Europa und Asien zu finden.

3.2.1 Barcelona - Spanien

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Machbarkeitsanalyse eines potenziellen Konzepts aus 2013.

Ort/Problem:

Barcelona ist wie viele andere Städte ebenso von steigendem Verkehr und den damit verbundenen Auswirkungen betroffen. Luftreinhaltungsziele können nicht eingehalten werden. Täglich sind 72.000 Lkw (Tendenz steigend) in Barcelona unterwegs, um Güter auszuliefern.

Lösungsansatz:

Um das Potenzial einer Zustellung mit der Straßenbahn zu untersuchen, analysieren Regue und Bristow⁶⁸ den Einsatz einer Güterstraßenbahn im Zentrum Barcelonas. Auf Basis der Infrastruktur, potenziell zu beliefernden Kunden und Hauptumschlagsbasen (HUB) wurden zwei Szenarien identifiziert. Die untersuchte Strecke war eine geplante, jedoch zu diesem Zeitpunkt noch nicht gebaute Straßenbahnstrecke von elf Kilometern. Potenziell zu beliefernde Kunden befanden sich in vier Einkaufszentren. Es wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt.

Ergebnisse:

Die beiden Szenarien sind folgende:

1. Der Einsatz einer Güterstraßenbahn zur Belieferung von vier Einkaufszentren. Die großen Einzelhandelsketten wurden ausgeschlossen, da diese über eigene Belieferungswege verfügen.
2. Der Einsatz einer Güterstraßenbahn für die Abfallsammlung. Hierbei wurde der Abfall bei Bürgern eingesammelt und zu einem großen Entsorgungspark transportiert.

Darüber hinaus wurde die Errichtung von zwei Konsolidierungszentren in Betracht gezogen. Beide Zentren befanden sich in Stadtrandlage und hatte einen guten Autobahnanschluss.

⁶⁸ Regué und Bristow 2013.

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse konnten zwei Hauptgründe für die fehlende Wirtschaftlichkeit des ersten Szenarios festgestellt werden. Der erste Grund war, dass die kalkulierten jährlichen Kosten des Betriebs einer Güterstraßenbahn die jährlichen Betriebseinsparungen der sich zu diesem Zeitpunkt nicht mehr im Einsatz befindlichen Nutzfahrzeuge übersteigen. Die jährlichen Mieten sowie die Betriebskosten der Konsolidierungszentren übersteigen den Nutzen der Zentren, was den zweiten Grund darstellte. Außerdem würde ein solches Vorhaben laut Umfragen keine Unterstützung bei den Einzelhändlern finden. Um das Konzept realisierbar zu machen, muss eine Mindestnachfrage erfüllt werden. Es wird erwartet, dass Skaleneffekte zu einer positiven Kosten-Nutzen-Analyse führen, wenn Gebührenregelungen für alle Verkehrsträger eingeführt werden.

Ein höheres Potential schien das zweite Szenario der Abfallsammlung zu haben. Wenn bestehende Infrastruktur genutzt wird, führt dieses Konzept zu wirtschaftlichen Vorteilen und sei mit geringeren organisatorischen Herausforderungen verbunden. Der Müllabfuhrbetrieb kann dadurch Kosten senken.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in umfassenden Befragungen potenzieller Kunden und der Untersuchung von Schwellenwerten für die Machbarkeit. Dabei stellt sich die Frage, welche Mindestmenge transportiert werden muss, damit das Konzept wirtschaftlich arbeitet. Darüber hinaus sollten Alternativen untersucht werden, die fortschrittliche Technologien integrieren.

Emissionseinsparungen seien in beiden Szenarien gering, da verhältnismäßig wenige Kilometer von Lkw eingespart werden könnten.⁶⁹ Detailliertere Informationen über die Einsparung von Emissionen sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Die Analyse hat gezeigt, dass hohe Investitionskosten notwendig sind. Die Betriebskosten einer Güterstraßenbahn übersteigen die jährlichen Betriebseinsparungen, die aus den nicht mehr im Einsatz befindlichen Nutzfahrzeugen entstehen. Zusätzlich übersteigen Mieten und Betriebskosten von Konsolidierungszentren deren Nutzen.

Es ist wichtig, Skaleneffekte auszunutzen. Dazu muss ein Minimum an Waren transportiert werden. Diese Schwelle gilt es zu identifizieren. Eine fehlende Menge an potenziellen Kunden lässt es nicht zu, diese Schwelle zu erreichen.

3.2.2 Belgrad - Serbien

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Machbarkeitsanalyse eines potenziellen Konzepts aus 2013.

⁶⁹ Regué und Bristow 2013.

Ort/Problem:

Der Stadt Belgrad fehlt es an detaillierten Informationen über die bestehenden urbanen logistischen Herausforderungen. Eine systematische Herangehensweise gemeinsam mit Forschungsansätzen soll Lösungen bieten.⁷⁰

Lösungsansatz:

In dem Beitrag von Tadić, Zečević und Krstić⁷⁰ werden vier Logistikkonzepte für die Belieferung der Stadt Belgrad aufgestellt. Mittels des „fuzzy Analytic Hierarchy Process“ werden die Konzepte bewertet.

Ergebnisse:

Drei der vier Logistikkonzepte beinhalten den Einsatz einer Güterstraßenbahn als Teil der Lösung. Dabei sollen Güterverteilzentren (Freight Village = FV) am Stadtrand städtische Logistikterminals (City Logistics Terminal = CLT) mit Gütern versorgen. Die CLT versorgen dann die Endkunden mit Gütern.

In Abbildung 9 ist das Konzept vier zu sehen. Es betrachtet die Entwicklung eines Netzwerks von Logistikzentren verschiedener Kategorien. Die Schieneninfrastruktur soll dabei maßgeblich eingebunden werden. Ein intermodales Terminal (IT) verbindet die beiden Schienensysteme miteinander (Zug und Straßenbahn). Die Güterverteilzentren im Vorstadtbereich versorgen das CLT und das IT mit Gütern. Von dort beginnt der Transport per Straßenbahn zu den anderen CLT. Umweltfreundliche Fahrzeuge übernehmen die Zustellung der Waren und Güter.

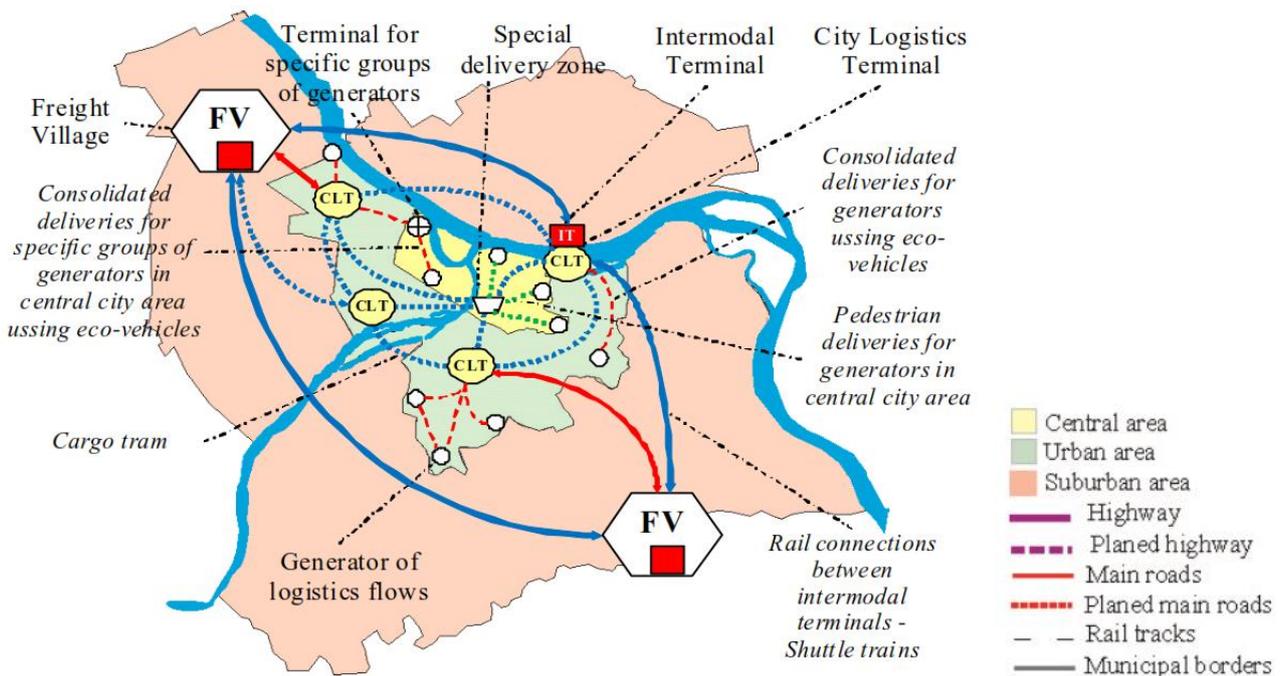


Abbildung 9: City Logistik 4 Konzept⁷⁰

⁷⁰ Tadic et al. 2013.

Um die Anwendbarkeit der einzelnen Konzepte zu bewerten und in eine Rangfolge zu bringen, wurden die folgenden zehn Kriterien herangezogen:

1. Investitionen für die Konzeptentwicklung
2. Möglichkeit der Implementierung
3. Qualität der logistischen Dienstleistung
4. Kosten der Warenanlieferung
5. Umverteilung der verkehrsträgerübergreifenden Arbeit im Transportbereich
6. Ökologische Aspekte
7. Sicherheitsaspekt
8. Landnutzung
9. Umwandlungsgrad der Warenströme
10. Auswirkungen auf die Attraktivität und Entwicklung der Stadt

Das vierte Konzept gilt als das geeignetste, um die Herausforderungen in Belgrad zu bewältigen. Es beinhaltet „das höchste Maß an Konzentration und Integration“⁷¹. Zudem bietet es die meisten Vorteile in Bezug auf die Qualität der Logistikdienstleistungen, die Auswirkungen auf die Umwelt und die wirtschaftliche Entwicklung der Stadt und der Region. Dennoch sind intensive Zeit- und Finanzinvestitionen erforderlich. Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von unterstützenden Aktivitäten zwar herausfordernd, aber wichtig für eine erfolgreiche Umsetzung sind.⁷¹ Über die erzielten Einsparungen sind keine Informationen bekannt.

Erkenntnisse:

Es sind hohe Zeit- und Finanzinvestitionen für einen Einsatz der Straßenbahn zum Transport von Waren und Gütern nötig.

3.2.3 Berlin - Deutschland

Projektname:

In Berlin fand das Projekt „Berlin City Hub“ statt. Es handelt sich um die Beschreibung eines potenziellen Konzepts aus 2018.

Ort/Problem:

In Berlin wird die Zustellung auf der letzten Meile mit der stetig wachsenden Bevölkerungszahl immer schwieriger.

⁷¹ Tadic et al. 2013.

Lösungsansatz:

Die Senatsverwaltung von Berlin hat daher im neuen "City-Hub-Konzept" die Einbindung des bestehenden Straßenbahnsystems in das aktuelle Verteilungskonzept diskutiert. Teilnehmer an dieser Diskussion sind verschiedene Logistikunternehmen und die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG). Der Schwerpunkt liegt auf der Nutzung des Straßenbahnnetzes für den Transport von Gütern aus den HUB vom Stadtrand in den Innenstadtbereich. Details über das Konzept sind nicht bekannt.

Ergebnisse:

Auch wenn dies effektiv zu sein scheint, müssen noch viele andere Faktoren berücksichtigt werden, da es sich um ein relativ unerschlossenes Feld handelt. Jeder Stakeholder hätte unterschiedliche Bedenken hinsichtlich des Betriebs, der Infrastrukturbedingungen, der finanziellen und rechtlichen Situation sowie der öffentlichen Meinung.⁷² Ergebnisse sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Stakeholder haben differenzierte Meinungen und Ansichten.

3.2.4 Brüssel - Belgien

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Beschreibung eines potenziellen Konzepts aus 2014.

Ort/Problem:

Strale⁷³ beschreibt den Einsatz von Güterstraßenbahnen in Brüssel. Das Brüsseler Straßenbahnnetz wird als historisch und dicht beschrieben. Es gibt eine sogenannte "Pre-Metro", die wie Straßenbahnen funktionieren, jedoch unterirdisch fahren.

Lösungsansatz:

Einkaufs- und Einzelhandelszonen sind gut an das Straßenbahnsystem angeschlossen. Es besteht Interesse an einer Erweiterung des Netzes, da der öffentliche Verkehr bereits eine hohe Auslastung aufweist. Das Straßenbahnnetz könnte somit für die Güterdistribution genutzt werden.

Ergebnisse:

Es bestehen mehr Hindernisse als Vorteile. Die Einführung der Güterstraßenbahn in Brüssel wäre sehr kompliziert. Die Umschlagkapazität der Güter wäre aufgrund des Platzmangels begrenzt. Das Straßenbahnnetz ist nur teilweise vorhanden und verschiedene Straßenbahnlinien verlaufen entlang enger Straßen des dicht besiedelten Stadtgebietes. Auch der bestehende Personenverkehr ist bereits voll ausgelastet. Aufgrund der Verkehrsüberlastung leiden Straßenbahndienst und Fahrgäste unter Qualitätseinbußen. Der Zustelldienst mit der Straßenbahn würde unter Zuverlässigkeitsproblemen leiden, da Verspätungen garantiert wären und der Personenverkehr dem Güterverkehr stets vorgezogen wird. Eine weitere Herausforderung ist, dass der

⁷² Novak 2018.

⁷³ Strale Mathieu 2014.

Zustellungsprozess aus vielen Kurzstrecken besteht. Für jede Fahrt müssen Güter ein- und ausgeladen werden. Dies wäre ineffizient und kostenintensiv.

Im suburbanen Bereich sei die Anbindung für den Lkw besser. Die Lagerhäuser der Einzelhändler und anderer Unternehmen sind besser an die Autobahnen und weniger an das Straßenbahnnetz angebunden. Eine Erweiterung des Straßenbahnnetzes in diesem Umfang wäre sehr kostspielig. Daher ist die Bereitschaft, Ergebnisse zu erzielen, nicht ausreichend.⁷⁴ Informationen über Einsparungen sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Eine Überlastung des Schienennetzes führt zu Qualitätseinbußen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Schnittstellen im Prozess erhöhen die Komplexität und die Kosten, parallel senken sie die Effizienz.

3.2.5 Cosenza - Italien

Projektname:

In Cosenza fand das Projekt „TADIRAM“ statt. Es handelt sich um die Beschreibung eines potenziellen Konzepts aus 2006.

Ort/Problem:

Cosenza steht vor der Herausforderung, den Verkehr nachhaltiger abwickeln zu wollen, um die Luftqualität zu erhöhen. Die Qualität und Effizienz von Logistik Services sollen durch die Optimierung von Belieferungsprozessen verbessert werden.⁷⁵

Lösungsansatz:

Das Projekt TADIRAM ("Advanced Technologies and Innovative Tools for Freight Distribution in the Sustainable City") wurde in Italien durchgeführt. Ziel dieses Projektes war es "neue organisatorische und technologische Lösungen zur Optimierung des Frachtverteilungsprozesses zu identifizieren, um die Qualität und Effizienz der logistischen Dienstleistungen in städtischen Gebieten zu verbessern und zur Nachhaltigkeit in Bezug auf Verkehr und Luftverschmutzung beizutragen".⁷⁵ Zu den Teilnehmern gehören AnsaldoBreda, Bertolotti, D'Appolonia, ENEA (Abteilung ENETEC und BIOTEC) und Uniontrasporti.

Ergebnisse:

Es wurde ein Logistikkonzept für die Stadt entwickelt. Es befasste sich mit dem Transport und Management von Fracht vom Stadtrand in den innerstädtischen Bereich. Güter sollten mit umweltfreundlichen Verkehrsmitteln, wie der Bahn, ins Stadtzentrum transportiert werden. Gleichzeitig sollten zwei neue Arten von Ladeeinheiten für Paletten und kleinere Lasten entworfen und umgesetzt werden. Mit dem Einsatz moderner Technik wurde ein effizienter Verladeprozess erprobt. Die neue Version der Straßenbahn „SIRIO Cargo Tram“ wurde untersucht. Die Besonderheit dieser Straßenbahn ist, dass sie sowohl auf Straßenbahn- als auch auf Eisenbahnschienen fahren kann. Darüber hinaus lassen sich die Module bedarfsgerecht anpassen und mit der Personenstraßenbahn

⁷⁴ Strale Mathieu 2014.

⁷⁵ Genta et al. 2006.

verknüpfen. Zur Erleichterung der Umschlagsarbeiten wurde die Straßenbahn auch als Flachwagen konzipiert. Die schwedische Stadt Göteborg hat den gleichen Straßenbahntyp in Auftrag gegeben. Sie führten auch Untersuchungen durch.⁷⁶ Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Frachtstraßenbahn für den Transport von Obst und Gemüse vom Großmarkt zu lokalen Märkten oder für den Transport von Krankenhausbedarf bei Nacht eignet. Am Ende wurde eine mögliche Anwendung in Cosenza analysiert.⁷⁷ Informationen über den Einsatz sowie Einsparungen sind nicht bekannt.

Erkenntnisse:

Bedarfsgerechte Module als Ausstattung der Güterstraßenbahn erleichtern das Handling von Gütern. Der Transport von Obst und Gemüse sowie von Krankenhausbedarfsmitteln ist möglich.

3.2.6 Istanbul - Türkei

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Machbarkeitsanalyse eines potenziellen Konzepts aus 2014.

Ort/Problem:

Istanbul hat eine hohe Bevölkerungsdichte, wodurch der Straßenverkehr sehr hoch ist und die Bewohner der Stadt einer schlechten Luftqualität ausgesetzt sind.

Lösungsansatz:

Für die Untersuchung eines urbanen Schienengüterverkehrssystems zur Reduzierung des hohen Verkehrsaufkommens und der damit verbundenen Verbesserung der Luftqualität in der Innenstadt von Istanbul wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellt.

Es wurden vier Distributionszonen identifiziert, die unterschiedlich viele Einkaufszentren besitzen. Sie sollen beliefert werden:

Zone 1: 18 Einkaufszentren

Zone 2: 30 Einkaufszentren

Zone 3: 21 Einkaufszentren

Zone 4: 5 Einkaufszentren

Auf Basis des Schienennetzes von Istanbul wurden geeignete Stationen zur Belieferung jeder Distributionszone identifiziert.

Ergebnisse:

Die Analyse zeigte, dass der Straßenverkehr etwa die Hälfte der Kosten des Schienenverkehrs verursacht. Allerdings ist der Schienenverkehr wesentlich umweltfreundlicher als der Straßenverkehr. Der zusätzliche Güterverkehr wird die Auslastung des Schienennetzes in Istanbul verbessern. In Istanbul wurden noch keine

⁷⁶ Arvidsson 2010.

⁷⁷ Genta et al. 2006.

Praxistests durchgeführt. In Abbildung 10 ist der Kostenvergleich der anfallenden Kosten aufgeführt. Es werden die Kosten für den Straßengüterverkehr und die Kosten für den Schienengüterverkehr in den verschiedenen Zonen und in der Gesamtbetrachtung verglichen. Zu sehen ist, dass sowohl in jeder Zone (Z1-Z4) als auch in Summe die Investitionskosten (Cost of Investment) für den Schienengüterverkehr wesentlich höher sind als für den Straßengüterverkehr. Die Energiekosten (Cost of Energy Consumption) hingegen sind, bis auf Zone Z2, für den Schienenverkehr niedriger als für den Straßengüterverkehr. Bei den Emissionskosten (Cost of Emission) ist der Schienengüterverkehr sogar in allen Zonen wesentlich günstiger als der Straßengüterverkehr. In der letzten Zeile der beiden Tabellen werden die summierten Kosten pro Zone verglichen. Dort ist zu erkennen, dass der Schienengüterverkehr in Zone Z1, Z3 und Z4 sowie in Summe besser abschneidet als der Straßengüterverkehr, welcher nur in Zone Z2 kostengünstiger ist. Insgesamt entstehen 40% geringere Gesamtkosten für den Gütertransport per Schiene als per Straße. Es können 48% Emissionen eingespart werden.⁷⁸

Table 3 Road freight transportation costs

	Z1	Z2	Z3	Z4	Total
Cost of Investment (€)	0,00165	0,00237	0,00163	0,00125	0,00690
Cost of Energy Consumption (€)	0,12857	0,00378	0,12857	0,12857	0,38950
Cost of Emission (€)	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378	0,01513
Total Costs (€)	0,13401	0,00993	0,13398	0,13361	0,41153

Table 5 Urban Rail freight transportation costs

	Z1	Z2	Z3	Z4	Total
Cost of Investment (€)	0,02506	0,12954	0,02361	0,02154	0,19975
Cost of Energy Consumption (€)	0,00400	0,03800	0,00400	0,00400	0,05000
Cost of Emission (€)	0,00001	0,00004	0,00001	0,00001	0,00008
Total Costs (€)	0,02907	0,16758	0,02764	0,02557	0,24986

Abbildung 10: Kosten-Nutzen Analyse⁷⁹

Erkenntnisse:

Der urbane Gütertransport auf der Schiene verursacht 40% geringere Gesamtkosten als der Gütertransport auf der Straße.

⁷⁸ Gorcun 2014.

⁷⁹ Gorcun 2014.

3.2.7 München - Deutschland

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Beschreibung eines potenziellen Konzepts aus 2018.

Ort/Problem:

Der Straßenverkehr in München ist aufgrund der ständig steigenden Zahl der Pkw-Zulassungen permanent überlastet.⁸⁰

Lösungsansatz:

Viele Politiker unterstützen aus Umweltgründen einen Güterverkehr mit der Straßenbahn. Untersucht werden soll, ob München für die Güterstraßenbahn, die auf der bestehenden Infrastruktur fahren soll, geeignet ist. Die Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) steht der Idee offen gegenüber, weist aber dennoch darauf hin, dass ein solches Konzept Zeit braucht, da Machbarkeitsstudien und die Realisierung eines Logistikzentrums am Stadtrand unabdingbar sind.⁸¹ Es liegt ein offizieller, förmlicher Antrag der FDP-Stadtratsfraktion vor, der sich an die Münchner Stadtverwaltung wendet, diese Möglichkeit zu nutzen.⁸²

Ergebnisse:

Es liegen keine Ergebnisse sowie Erkenntnisse über mögliche Einsparungen vor.

Erkenntnisse:

Es konnten keine Erkenntnisse gewonnen werden.

3.2.8 Nea Smirni - Griechenland

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Machbarkeitsanalyse eines potenziellen Konzepts aus 2011.

Ort/Problem:

Es sollen die Vorteile der Nutzung von Straßenbahnen zur städtischen Müllentsorgung identifiziert werden.⁸³ Weitere Informationen über die Initiierung dieser Untersuchung sind nicht bekannt.

Lösungsansatz:

Malindretos und Abeliotis⁸⁴ schlugen eine Lösung für die städtische Abfallentsorgung (von Feststoffen) vor, indem Fahrzeuge auf der Schieneninfrastruktur eingesetzt werden. Das vorgeschlagene Konzept ist eine alternative, nachhaltige Option zum eingesetzten Straßentransport. Das Volumen des städtischen Abfalls

⁸⁰ Karowski 2018.

⁸¹ Zick 2018.

⁸² Landeshauptstadt München 2018.

⁸³ Malindretos und Abeliotis 2011.

⁸⁴ Malindretos und Abeliotis 2011.

(Municipal Solid Waste - MSW) in Nea Smirni wird auf 40.000 Tonnen pro Jahr geschätzt. Die Abfälle werden in der Umladestation unverdichtet in Container verladen. Danach wird die Entsorgung von drei Sattelzügen durchgeführt, von denen jeder dreimal täglich von Nea Smirni zur Deponie Fili fährt. Die Entfernung zwischen Nea Smirni und der Deponie beträgt 35 km. Jede Strecke umfasst somit insgesamt 70 km. Nach der Entsorgung auf der Deponie kehren alle Lkw leer zurück. Diese Transportvariante führt zu insgesamt 630 täglich gefahrenen Kilometern, wobei 315 km leer und somit ohne Mehrwert gefahren werden. Dies führt zu Treibstoffverschwendung, Staus und Luftverschmutzung. Das Alternativszenario würde sich in vier Sequenzen gliedern, die in Abbildung 11 dargestellt sind.

1. Die Lkw bringen die Abfallcontainer von der Umladestation zur nächsten Straßenbahnhaltestelle "Evangelist School Tram Station" (Strecke = 1km). Nach der Ankunft werden die Behälter mit einem Gabelstapler auf die dafür angepassten Straßenbahnen umgeladen.
2. Die Straßenbahn fährt weiter zum Straßenbahnterminal „Piraeus Tram Terminal“, das sich beim Terminal "Piräus Proastiakos" befindet (Strecke = 10km). Hier werden die Container mit Kranen oder Gabelstaplern vom Bahnsteig der Straßenbahn auf den Bahnsteig des Zuges umgeladen.
3. Nach dem Umladen auf den Zug werden die Container zum 20 km entfernten Bahnhof "Ano Liossia Proastiakos Station" transportiert.
4. In der Station "Ano Liossia" werden die Abfallcontainer auf Lkw verladen und zur Deponie transportiert (Strecke = 7,5 km).

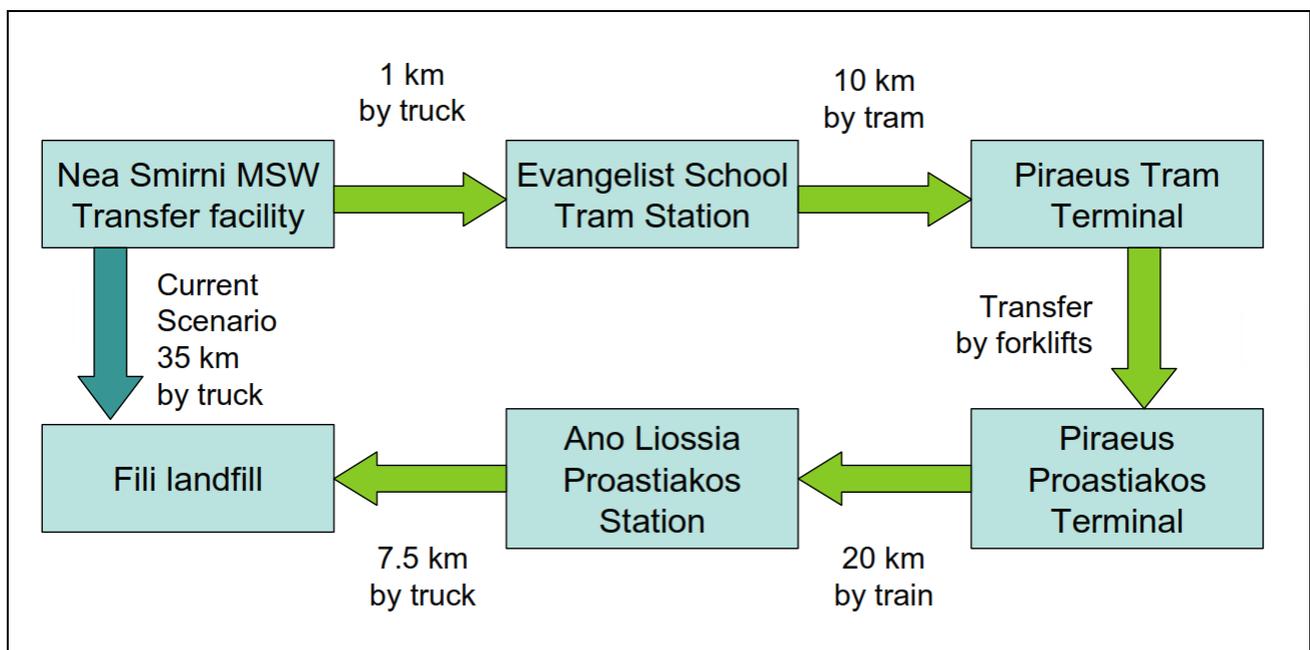


Abbildung 11: Nea Smirni: Derzeitige Praxis und alternatives Szenario des Transports von Abfällen zur Deponie von Fili ⁸⁵

⁸⁵ Malindretos und Abeliotis 2011.

Sowohl das bestehende als auch das geplante Konzept werden durch eine Software simuliert. Damit wird die Höhe der Umweltauswirkungen verglichen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Stromverbrauch und den für die Stromerzeugung benötigten Brennstoffen.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das vorgeschlagene Szenario zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen führen würde und damit 57% Emissionen im Vergleich zum aktuellen Zustellprozess senken kann. Die Nutzung von Zug und Straßenbahn wird erhöht, was zu höheren Einnahmen für die Betreiber führen könnte. Bei einer Projektumsetzung müssten verschiedene Interessengruppen (Straßenbahnbetreiber, Eisenbahnverkehrsunternehmen und Deponiebetreiber) zusammenarbeiten. Die Zustimmung der Bevölkerung ist erforderlich, um mögliche Beschwerden der Anwohner zu vermeiden. Ein Zugriff auf die bestehende Infrastruktur muss gewährleistet sein. Weitere Machbarkeitsanalysen sind erforderlich.⁸⁶

Erkenntnisse:

Der Abtransport von Abfällen eignet sich zum Transport per Straßenbahn und führt zur Senkung von Emissionen um 57% im Vergleich zum Straßentransport. Es kann eine Herausforderung sein, verschiedene Interessensgruppen zu vereinen.

3.2.9 New Castle Upon Tyne - England

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Machbarkeitsanalyse eines potenziellen Konzepts aus 2015.

Ort/Problem:

Dampier und Marinov⁸⁷ forschten an dem Konzept der Integration des städtischen Schienennetzes, um Güter in das Stadtzentrum zu transportieren. Newcastle upon Tyne und sein U-Bahnsystem, die Tyne and Wear Metro, wurden ausgewählt, um die Umsetzbarkeit des Konzepts zu untersuchen. Newcastle upon Tyne eignet sich für ein solches Konzept, da die oberirdischen Bahnsteige viel Platz bieten. Darüber hinaus existieren im bestehenden Fahrplan von Tyne and Wear Metro noch größere zeitliche Abstände zwischen den Zügen.

Lösungsansatz:

Der Einsatz von Güterzügen würde die Auslastung des Netzes erhöhen, ohne den Personenverkehr zu beeinträchtigen. Mit der vom Verkehrsministerium zur Verfügung gestellten Software COBALT wurde ein mögliches Schema entwickelt, modelliert und analysiert.

Das Schema umfasste die folgenden Schritte:

1. Ausgewählte teilnehmende Unternehmen bringen ihre Güter zu einem Mikro-Konsolidierungszentrum, welches an der nächstgelegenen Metrostation von Killingworth im Norden von Newcastle gelegen sein

⁸⁶ Malindretos und Abeliotis 2011.

⁸⁷ Dampier und Marinov 2015.

soll. Die Waren sollen im Innenstadtbereich ausgeliefert werden. Die Entfernung der einzelnen Unternehmen ist nicht größer als drei Meilen.

2. Die Waren werden in standardisierten Transporteinheiten auf einen speziell angepassten Metro-Zug umgeladen.
3. Der Zug fährt bis zu einem Gleis zwischen der Metrostation Jesmond und der Metrostation Manors. Dies ist ein Gleis, welches nur während der Nachtzeit zur Wartung des Zuges in Betrieb ist.
4. Fahrradkurriere und elektrische Lieferwagen übernehmen die Feinverteilung.

Ergebnisse:

Die Analyse zeigt, dass das Konzept viele Vorteile bringen würde. Wenn viele Unternehmen den Lieferservice mit der U-Bahn der herkömmlichen Lkw-Anlieferung vorziehen würden, wären weniger Fahrzeuge auf der Straße unterwegs. Dadurch wird eine Reduktion sowohl von Emissionen als auch des Verkehrsaufkommens erzielt. Dazu gehört die Verringerung von Unfällen, Unfallopfer auf der Straße. Die daraus resultierenden Kosten können ebenfalls gesenkt werden. Vor der Umsetzung sind weitere Untersuchungen und Studien erforderlich. Um die Umsetzbarkeit richtig zu bewerten, müssen noch Faktoren wie z.B. die Eignung der U-Bahn-Wagen für den Güterverkehr, der U-Bahn-Fahrplan, die mögliche Nutzung des städtischen Konsolidierungszentrums und vor allem die Nachfrage der Unternehmen untersucht werden. ⁸⁸

Erkenntnisse:

Der Einsatz von Schienenfahrzeugen kann Unfälle sowie Unfallopfer im Straßenverkehr reduzieren. Wichtige Faktoren für eine Umsetzung sind geeignete U-Bahn-Wagen, die Nutzung von städtischen Konsolidierungszentren und Nutzergruppen zu identifizieren.

3.2.10 Warschau - Polen

Projektname:

Es ist kein Projektname bekannt. Es handelt sich um die Beschreibung eines potenziellen Konzepts aus 2014.

Ort/Problem:

Das Straßenbahnnetz in Warschau ist durch kontinuierliche Wartung im Vergleich zu anderen polnischen Städten sehr gut ausgebaut. Es verbindet die wichtigsten Ziele wie z.B. den Flughafen, Bahnhöfe und Einkaufszentren miteinander. Zych⁸⁹ schlug daher den Einsatz von Güterstraßenbahnen vor, um den Herausforderungen zu begegnen, die durch die Zustelldienste in städtischen Gebieten verursacht werden. Darunter fallen Probleme wie z.B. Umweltschäden, Gesundheits- und Infrastrukturprobleme.

Lösungsansatz:

Das teilweise Verlagern von Straßengüterverkehr auf Güterstraßenbahn kann die negativen Auswirkungen reduzieren. Es wird davon ausgegangen, dass es möglich ist Wendeschleifen, Abstellgleise und urbane

⁸⁸ Dampier und Marinov 2015.

⁸⁹ Zych 2014.

Konsolidierungszentren für das Handling von Gütern zu errichten. In der Innenstadt von Warschau gibt es bereits Sperrzonen für den Schwerlastverkehr. Diese können durch die Nutzung des Straßenbahnnetzes für den Gütertransport erweitert werden.

Ergebnisse:

Die Umsetzung dieser Lösung trägt positiv zur Umwelt- und Infrastrukturqualität bei. Diese Ziele stehen im Einklang mit den Richtlinien der Europäischen Union. So können Staus und Umweltverschmutzung in der Innenstadt von Warschau weiter reduziert werden. Neben diesen positiven Effekten, wird angegeben, dass das Güterstraßenbahnsystem einen wirtschaftlichen Vorteil bringt, da die Gesamttransportkosten voraussichtlich ebenfalls sinken würden.

Dieses Konzept wurde in Polen noch nicht angewendet. Als Ursachen werden fehlende Investitionen in die Entwicklung und mangelnde Flexibilität der Schienenfahrzeuge vermutet. Es liegen keine Informationen über die möglichen Einsparungen vor.⁹⁰

Erkenntnisse:

Es konnten keine Erkenntnisse gewonnen werden.

3.3 Übersicht Anwendungsbeispiele und Machbarkeitsanalysen

In Tabelle 4 sind alle zuvor beschriebenen Anwendungsbeispiele und Machbarkeitsanalysen in einer Übersicht zu finden. Zur Anwendung kommen nach aktuellem Stand die Konzepte in Dresden, Zürich und Kyoto. Pilotversuche wurden in Delhi, Sapporo, Tokio, Amsterdam, Saint Étienne und Wien durchgeführt. Ein Regelbetrieb ist daraus nicht entstanden. Machbarkeitsanalysen wurden in Nea Smirni, Belgrad, Barcelona, Istanbul und Newcastle Upon Tyne durchgeführt. Dabei wurde herausgefunden, dass nicht nur Emissionen und Fahrzeuge eingespart werden können, sondern auch Unfälle reduziert und die daraus entstehenden Kosten gesenkt werden können.⁹¹ Deskriptive Untersuchungen in Form von möglichen Szenarien wurden in Cosenza, Brüssel, Warschau, München und Berlin durchgeführt.

Bei allen untersuchten Beispielen ist auffällig, dass die Konzepte, die heute noch in der Anwendung sind, bereits in den frühen 2000er Jahren begonnen wurden. Seit 2011 wurden vermehrt Pilotprojekte, Machbarkeitsanalysen und Überlegungen getätigt, um Güter im urbanen Raum auf die Schiene zu verlagern. Dies zeigt die Aktualität des Themas und rückt es aufgrund der europäischen Klimaziele zudem in den Fokus.⁹²

⁹⁰ Zych 2014.

⁹¹ Dampier und Marinov 2015.

⁹² Hessisches Ministerium für Umwelt et al. 2017.

Tabelle 4: Übersicht Stand der Technik

Stadt	Projektname	Transportierte Güter	Transportmenge	Transportfrequenz	Transportdistanz (km)	Einsparungen (CO2, LKW, etc)	Kategorie	Jahr
Dresden	CarGo Tram	Autoteile	Am Anfang des Projekts wurden max. 150 Autos pro Tag transportiert; aktuell Transport von etwa 35 Autos pro Schicht	30 Mal pro Tag in den ersten zwei Jahren; bis 2016 etwa 10 Mal täglich; ab 2017 fehlen genaue Angaben	5 km	60 Lkw pro Tag oder 200.000 km über die Straße pro Jahr (Laut VW)	Anwendung	2001 - heute
Zürich	Cargo Tram und E-Tram	Sperrmüll und Elektroabfall	Etwa 785 Tonnen im ersten Jahr in den folgenden Jahren bis 2008 etwa 500 Tonnen pro Jahr	E-Tram (für Elektrogeräte) und Cargo Tram (Sperrmüll) wechseln sich ab und fahren seit 2006 insgesamt 22 Stationen pro Monat an.	n.a. (11 Tramhaltestellen werden bedient)	Ca. 37.500 Liter Diesel pro Jahr	Anwendung	2003 - heute
Kyoto	n.a.	E-Commerce Sendungen	n.a.	n.a.	Transport vom Distributionszentrum in Arashiyama (ca. 25km entfernt von Kyoto) zur Sajin Station	weniger Lkw und weniger Emissionen	Anwendung	2011
Cosenza	Tadiram	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Beschreibung	2006
Brüssel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Beschreibung	2014
Warschau	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Beschreibung	2014
München	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Beschreibung	2018
Berlin	Berlin City Hub	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Beschreibung	2018
Nea Smirni	n.a.	städtischer Abfall	Geschätzter angefallener Abfall: 40.000 Tonnen/Jahr	Drei Lkw welche je 3 mal täglich hin- und zurückfahren	30km	könnte 57 % weniger Emissionen führen	Machbarkeitsanalyse	2011
Belgrad	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Machbarkeitsanalyse	2013
Barcelona	n.a.	Abfalltransport, Retail	n.a.	n.a.	11 km	geringe Einsparung von Lkw-Kilometern	Machbarkeitsanalyse	2013
Istanbul	n.a.	Retail	n.a.	4 Distributionszonen mit 18, 30, 21 und 5 Einkaufszentren	n.a.	48% Emissionseinsparungen von Straße zu Tram 20 fach höhere Investitionskosten bei Tram als bei Straße	Machbarkeitsanalyse	2014
Newcastle Upon Tyne	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Verringerung der Zahl der Unfälle, die Verringerung der Zahl der Unfallopfer auf der Straße und die daraus resultierenden finanziellen Einsparungen	Machbarkeitsanalyse	2015
Amsterdam	City Cargo	Warenzustellung, Retail	n.a.	Zwischen 07.00 - 23.00 Uhr	Während des Tests von De Aker in die Stadt von Osdorp bis in die Innenstadt Amsterdams	Mit 10 Cargo Trams wäre es zu einer Emissionsreduktion von 15% sowie eine Reduktion von 2.500 Lkw Fahrten in der Innenstadt pro Jahr gekommen. Zusätzlich geringere Operationskosten von 15%. Mit den geplanten 50 Cargo Trams hätten die Hälfte aller Lkw Fahrten in die Innenstadt ersetzt werden können	Pilot	2007
Sapporo	n.a.	Retail	n.a.	n.a.	Vom Stadtrand in die Innenstadt 12 km	Weniger Verkehr auf den Straßen, weniger verspätete Zustellungen	Pilot	2012
Delhi	n.a.	nicht verderbliche Artikel und E-Commerce Sendungen	n.a.	Konstant zwischen 5.15 und 13.30 Uhr	Metrostation "Neu-Dheli" zum Metrostation "IGI Flughafen"; Dauer der Fahrt = 24 Minuten	weniger Lkw und weniger Emissionen	Pilot	2016
Tokio	n.a.	Pakete	n.a.	n.a.	Von der Station Shin-Kiba etwa 6 Kilometer und von der Station Wakoshi etwa 20 Kilometer und ab dann per Lkw zum Endziel	weniger Lkw und weniger Emissionen	Pilot	2016
Wien	GüterBim	schwere Güter auf Europaletten	n.a.	Jeden zweiten Tag außerhalb der Stoßzeiten	6 aus 12 Haltestellen	n.a.	Pilot/Projekt	2004/2005-2007
Saint-Étienne	TramFret	Warenzustellung an Supermarkt	n.a.	Einmal täglich	n.a.	n.a.	Pilot/Projekt	2017-2018

4 Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden verschiedene Methoden angewandt. Sowohl die Auswahl der Methoden als auch die Methoden selbst, werden im Folgenden erläutert.

4.1 Experteninterviews

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Experteninterviews mit Hermes (12.03.2019), der VGF (15.03.2019), sowie einer Bäckerei (11.07.2019) durchgeführt. Ziel der Interviews bestand in der Erörterung von

- Chancen und Risiken für die Unternehmen,
- betrieblichen Abläufen,
- rechtlichen Rahmenbedingungen und
- Kriterien für die Umsetzung einer LastMileTram.

Die Interviews wurden mit einem leitfadengestützten Fragebogen durchgeführt. Der Interviewleitfaden ist in Anlage 5 zu finden. Die Experteninterviews wurden aufgezeichnet und in Ergebnisprotokollen zusammengefasst. Die Ergebnisse flossen in die Konzepterstellung ein und dienten als wichtige Basis für die Durchführung der Pilotversuche.

4.2 Pilotversuch

Um die technische Machbarkeit des Gütertransports per Straßenbahn zu prüfen, wurde ein Pilotversuch durchgeführt. Dieser Test dauerte vier Tage (08.04.2019-11.04.2019) und fand gemeinsam mit der VGF und Hermes in Frankfurt am Main statt. Ziel des Pilotversuchs war es, Prozesse und Abläufe zu gestalten, sie zu testen, und im Nachhinein Anpassungen vorzunehmen.

Zu Dokumentationszwecken wurden alle Umladevorgänge mit einer Kamera aufgezeichnet. Zusätzlich wurden Notizen zu Herausforderungen, kritischen Aspekten, sowie Optimierungspotentialen gemacht. Die Zustelltouren per Lastenrad wurden von Studierendengruppen per Fahrrad begleitet. Sie waren mit Helm- oder Fahrradkameras ausgestattet und filmten die kompletten Zustelltouren. So konnten neben den Abläufen, die direkt mit der Tram zu tun hatten, auch die beiden eingesetzten Lastenradssysteme verglichen werden.

Der Zeitplan des Pilotversuchs wurde im Vorfeld mit einem Ablaufplan dargestellt (Abbildung 12).

Ausgangssituation für 08.04.2019	
	Herr Riemann stellt am Sonntag den 7.4.2019 zwei seiner Boxen und ein Fahrrad im VGF Straßenbahndepot Gutleut ab
	Herr Seibert stellt das Armadillo Fahrrad inklusive einer Box im Depot von Herrn Gelmez in Griesheim ab (Griesheimer Stadtweg 3, 65933 Frankfurt)
	Ein weiteres Fahrrad mit Hermes-Fahrrad befindet sich im Depot von Herrn Gelmez.
08.04.2019	Montag
	Herr Gelmez kommissioniert die Armadillo-Box mit entsprechenden Paketen in seinem Depot in Griesheim.
	Herr Gelmez bereitet ebenfalls Pakete für die Box(en) von Herrn Riemann vor.
	Die Armadillo-Box und die Pakete, die für die Riemann-Box vorgesehen sind, werden mit einem Transporter von Herrn Gelmez ins VGF Depot Gutleut gefahren.
	Das Armadillo-Fahrrad fährt ohne Box vom Depot Gelmez zur Messeschleife.
	Ein weiterer Hermes Fahrer fährt mit einem Fahrrad zur Messeschleife
	Die Riemann-Box wird im VGF Depot Gutleut mit den Paketen befüllt.
	Die Tram wird mit den Boxen beladen.
	Herr Riemann fährt mit dem Fahrrad zur Messeschleife.
10:00	Abfahrt der Straßenbahn im VGF Depot Gutleut.
10:15	Ankunft der Lastenfahrräder (Armadillo & Riemann & Hermes-Fahrer) an der Messeschleife.
10:30	Ankunft der Straßenbahn an der Messeschleife.
10:45	Boxen befinden sich auf den entsprechenden Fahrrädern. Beginn der Auslieferungstouren
	Info: es werden 2 unterschiedliche Touren gefahren, die Fahrer tauschen die Touren nach 2 Tagen.
15:00	Beide Boxen werden von der Tram wieder eingesammelt und zurück zum VGF Depot Gutleut gebracht.
	Das Armadillo-Fahrrad und das weitere Fahrrad fahren ohne Box wieder zurück zum Depot von Herrn Gelmez.
	Das Riemann-Fahrrad fährt ohne Box wieder zurück zum VGF Depot Gutleut.
	Herr Gelmez/Herr Seibert holen sowohl die Riemann-Box als auch die Armadillo-Box im Laufe des restlichen Tages ab und bringen sie ins Depot von Herrn Gelmez.
	Besprechen, ob für Dienstag 2 Riemann-Boxen befüllt werden sollen.

Abbildung 12: Ausschnitt aus Ablaufplan des 08.04.2019⁹³

4.3 Standortanalyse und Streckenkonzept

Um die vorhandene Schieneninfrastruktur, speziell das Straßenbahnnetz, für den Einsatz einer Güterstraßenbahn zu prüfen, wurde zunächst eine Standortanalyse durchgeführt. Dazu wurden Kriterien festgelegt, um geeignete Straßenbahnhaltestellen für den Umschlag von Gütern auf und von einer Straßenbahn zu identifizieren. Die Kriterien ergaben sich aus verschiedenen Quellen. Zum einen aus der Notwendigkeit, Emissionen einzusparen und die vorhandene Schieneninfrastruktur optimal auszunutzen. Zum anderen wurden

⁹³ Eigene Darstellung

Kriterien ergänzt, die aus eigenen Erkenntnissen zum Wirtschaftsverkehr⁹⁴ aus Vorgängerprojekten stammen und aus Experteninterviews, die speziell für dieses Projekt durchgeführt wurden. Es wurde zwischen Standortkriterien für die

- Beladung der Güterstraßenbahn und der
- Entladung der Güterstraßenbahn

unterschieden. Die definierten Kriterien sind auch auf andere Städte und Straßenbahnnetze übertragbar. Auf Basis dieser Kriterien, wurden im Rahmen dieses Projekts das Schienennetz der Stadt Frankfurt analysiert und Standorte für die Be- und Entladung identifiziert.

Zusätzlich wurden in dem Projekt vorhandene Datensätze von Hermes und Dachser zu Sendungsmengen und Zustellgebieten analysiert. Auf Grundlage dieser Daten wurden Streckenkonzepte für eine Güterstraßenbahn erstellt, um diese Gebiete emissionsarm zu beliefern. Die Ergebnisse wurden mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) visualisiert.

4.4 Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit

In Kooperation mit der Hochschule für Gestaltung in Offenbach am Main, wurden im Rahmen eines studentischen Projekts Prototypen einer standardisierten Transporteinheit für den Transport von Gütern in der Straßenbahn, speziell Paketen, entwickelt und hergestellt. Dabei wurden, auf Grundlage der Experteninterviews und des Pilotversuchs, Anforderungskriterien von der Frankfurt UAS definiert und vorgegeben. Während der sechsmonatigen Entwicklungsphase fanden mehrere Zwischenpräsentationen statt. Nach der zweimonatigen Herstellungsphase wurden die zwei Prototypen in einem Funktionstest auf dem Betriebsgelände der VGF im Gutleutviertel begutachtet und getestet.

4.5 Vergleichsberechnungen

Ziel der Vergleichsberechnungen war es, Aussagen über die Kosten und CO₂-Emissionen eines Zustellprozesses mithilfe einer Tram treffen zu können.

Dazu wurde eine Berechnungstour identifiziert. Die Identifikation der Tour basiert auf der Standortanalyse, die in den Kapiteln 6.4 und 6.5 durchgeführt wurde.

Es wurden zwei Szenarien entwickelt: das LastMileTram-Szenario und das Transporter-Szenario. Die Abläufe beider Szenarien wurden beschrieben. Darüber hinaus wurden Parameter recherchiert und festgelegt, die den Kostenberechnungen zugrunde liegen. Mithilfe von recherchierten Werten konnten die CO₂-Emissionen je Szenario berechnet werden. Abschließend wurden die Szenarien verglichen.

Für den Vergleich zwischen den entwickelten Szenarien, wurde am 02.04.2019 eine konventionelle Zustelltour begleitet. Die Tour wurde im Bereich Gutleutviertel, Europaviertel und Messe durchgeführt. Start- und Endpunkt

⁹⁴ Wirtschaftsverkehr 2.0 (2017): Analyse und Empfehlungen für Belieferungsstrategien der KEP-Branche im innerstädtischen Bereich

war die Lagerhalle des Generalunternehmers (GU) von Hermes in Griesheim. Sie dauerte von Beginn bis zum Ende 8:14 Stunden. Dabei wurden 125 Kunden mit 153 Paketen beliefert. Dies ergibt eine Zustellzeit von 3:14 Minuten pro Paket. Zum Einsatz kam ein Transporter des Typs Fiat Scudo Multijet 130. Die Tourlänge betrug 47 km. Dabei wurde das Fahrzeug 68 Mal abgestellt, um Sendungen zuzustellen.

4.6 Workshop

Um die im Projekt entstandenen Ergebnisse zu diskutieren, als auch weitere Forschungsfragen im Zusammenhang mit der Umsetzung einer Güterstraßenbahn zu erörtern, wurde im September 2019 ein Expertenworkshop durchgeführt. Dieser wurde von der Projektleitung konzipiert und moderiert. Die zwölf Experten stammten aus den Bereichen

- Stadt- und Verkehrsplanung,
- Betreiber einer Güterstraßenbahn,
- nutzende Unternehmen einer Güterstraßenbahn.

Der Ablauf des Workshops gliederte sich in vier Phasen:

1. Begrüßung
2. Logistikkette
3. Folgeprojekt
4. Schlussphase

Es wurden verschiedene Workshopmethoden eingesetzt. In der ersten Phase fand eine Erläuterung der Workshopagenda mit einer anschließenden Vorstellungsrunde der Teilnehmenden statt. In der zweiten Phase wurden zunächst die Projektergebnisse zu den Arbeitspaketen „Standortanalyse“ und „Kostenanalyse“ präsentiert. Anschließend fand eine Begehung von Pinnwänden im Seminarraum statt. In Anlehnung an die Workshopmethode „Sprechende Wand“ wurde hier die komplette Logistikkette, bei der Nutzung einer Güterstraßenbahn, auf einzelnen Wänden aufgezeigt. Unter Moderation wurden Hinweise, Anregungen, Wünsche und offene Fragestellungen gesammelt. Auf Grundlage dieser gesammelten Punkte, wurden in der dritten Phase mögliche Anknüpfungsmöglichkeiten im Plenum ausgearbeitet, um daraus Folgeprojekte zu generieren. In der Schlussphase wurden die Ergebnisse des Workshops zusammengefasst und die Teilnehmer verabschiedet.

5 Anforderungsanalyse

Im Folgenden wird der aktuelle Belieferungsprozess dargestellt. Danach folgt die Beschreibung verschiedener Transportvarianten. Chancen und Herausforderungen beenden das Kapitel.

5.1 Analyse des Belieferungsprozesses

Um eine strukturierte Paketzustellung zu ermöglichen, teilt Hermes Deutschland in sog. „Areas“ (Gebiete) ein. Fast jede Area hat ein Logistikcenter (LC) (Abbildung 13). Dort gehen die versandten Sendungen ein und werden entsprechend ihrer Zieldestination sortiert. Von dort werden die Sendungen entweder gebündelt in das LC der jeweiligen „Zielarea“, oder direkt an das Depot transportiert.

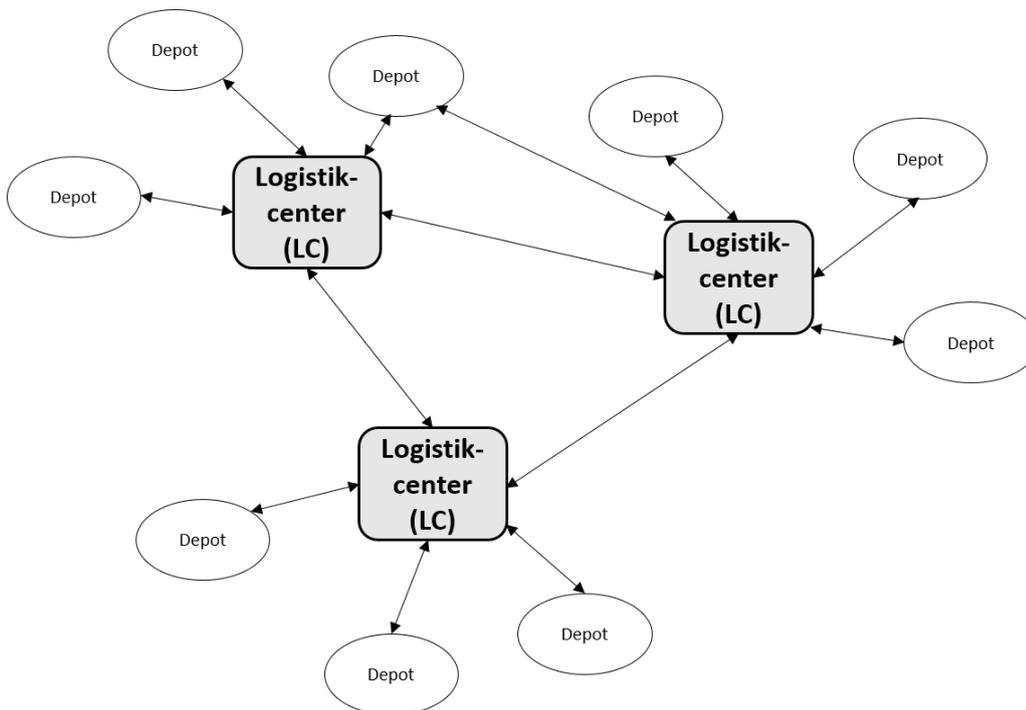


Abbildung 13: Hermes - Hub-and-Spoke System⁹⁵

Im Depot werden die Sendungen nach sog. Tourenelementen sortiert. Nach dieser Sortierung holt der GU die Sendungen, für die er zuständig ist, am Depot ab und bringt sie in seine Lagerhalle (Abbildung 14). Da kostengünstige Logistikflächen im Stadtkern von Frankfurt weniger zu finden sind, sind die GU auf Flächen am Stadtrand angewiesen und sind im peripheren Bereich angesiedelt. Dabei ist die Anbindung nicht immer optimal und es kommt zu teilweise langen Fahrten in das Zustellgebiet. Der GU ist für den Transport zwischen Depot und seiner Lagerhalle verantwortlich. In der Lagerhalle sortiert der GU die Sendungen erneut. Hier werden sie nach Zellen und Unterzellen sortiert, wobei die Zellen für bestimmte Straßenzüge stehen und die Unterzellen die Straßenseite angeben. Die Sendungen werden so einer bestimmten Tour zugeordnet und in mehreren Behältern aufbewahrt. Die Zusteller führen die Tourenplanung mithilfe einer Adressliste durch und beladen das Fahrzeug manuell entsprechend der selbst zusammengestellten Tour.

⁹⁵ Eigene Darstellung

Im Depot in Hanau beginnen ausschließlich Paketshop-Fahrer unmittelbar mit der Zustelltour. Anders als normale Fahrer, die direkt die Empfänger anfahren, fahren Paketshop-Fahrer ausschließlich die Paketshops der verschiedenen Depotgebiete an und beliefern diese mit Sendungen bzw. holen Sendungen ab.

Die Areas bestehen aus einer vierstelligen Zahl. Die ersten zwei Stellen dienen der Identifikation des Orts, während die dritte Zahl den Ortsteil abgrenzt und die letzte Zahl der weiteren Separierung dient. Das zahlenbasierte Wabensystem besteht an jedem Depot und kann durch einen GU angepasst werden. Generell wird mit 50-80 Sendungen pro Unterzelle gerechnet. Die bisher verwendeten 16-stelligen Identifikationsnummern reichten nicht mehr aus und wurden deshalb durch 20-stellige Nummern ersetzt. Das ist problematisch, da die verwendeten Lesegeräte diese Nummern noch nicht erfassen können. Eine Sortierung per Hand ist deshalb nötig.

Eine Änderung im Sortierungsprozess im Depot ist nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Während eine Änderung innerhalb der Area immer möglich ist, ist die Verschiebung eines Tourenelements außerhalb dieser Area nur vierteljährlich während der Systemupdates möglich. Eine tourenelementreine Sortierung ist möglich.

In dem dargestellten Prozess kommt es zu zwei Schnittstellen (Übergabe der Sendungen vom Depot an den GU und Übergabe der Sendungen vom GU an den Zusteller). Dadurch steigt das Risiko für Informationsverlust und redundante Arbeitsschritte.⁹⁶ Zu sehen ist, dass die Sendungen im Verlauf des Prozesses nach dem Eintreffen im Depot zwei Mal sortiert bzw. kommissioniert werden (Abbildung 14 gelb markierte Transportboxen). Dies verursacht doppelten Zeitaufwand und erhöht die Prozesskosten.

Prozessschritte und deren Zuständigkeiten

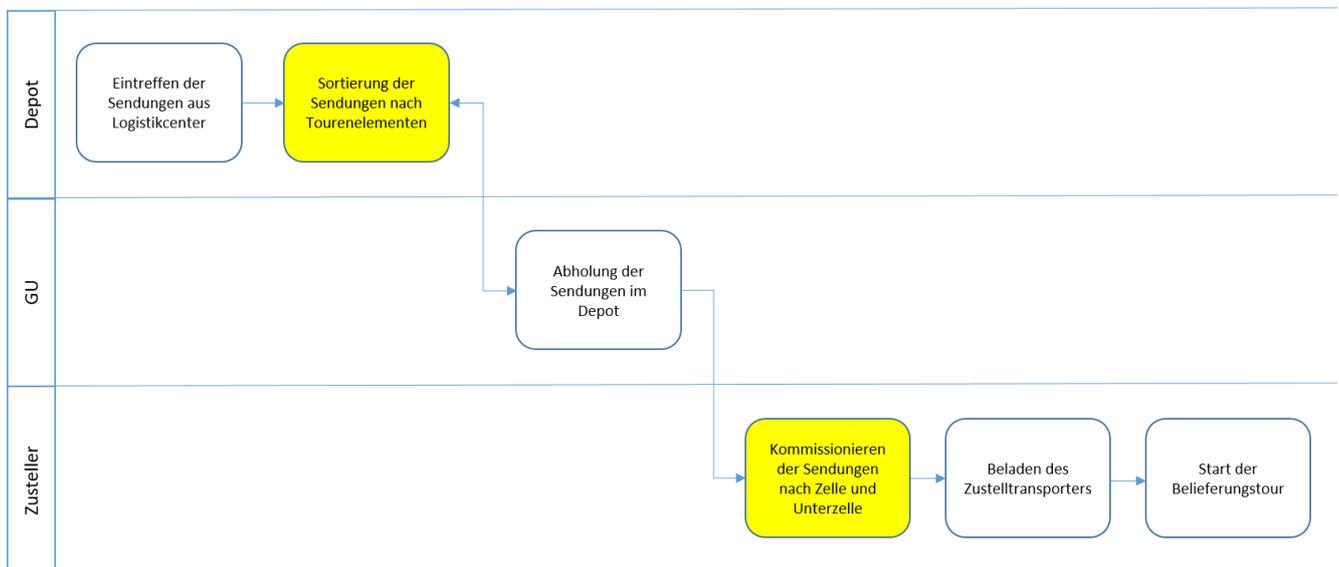


Abbildung 14: Zuständigkeiten der Prozessschritte⁹⁷

⁹⁶ Beckmann 2004. S.68-69.

⁹⁷ Eigene Darstellung

5.2 Transportvarianten

Aus den Case-Studies lassen sich bereits bestehende oder beendete Güterstraßenbahnkonzepte entnehmen. Aus diesen lassen sich drei Varianten ableiten, wie Güter über das Straßenbahnnetz transportiert werden können. Nachfolgend werden die verschiedenen Varianten beschrieben, sowie die Vor- und Nachteile erläutert, welche auf Grundlage der Experteninterviews erörtert wurden.

Variante 1: Einsatz einer reinen Güterstraßenbahn

Variante 1 orientiert sich an den Case-Studies. Hierbei wird ein spezielles Schienenfahrzeug für den ausschließlichen Transport von Gütern eingesetzt. Durch den Umbau einer bereits eingesetzten Straßenbahn oder einer Sonderanfertigung kann das Transportvolumen maximiert und den Transportbedürfnissen, z.B. Ladungssicherung oder Hygienevorschriften, angepasst werden. Dies ist wiederum mit hohen Investitionskosten verbunden. Auch die Betriebskosten wären im Vergleich zu einem kombinierten Transport von Personen und Gütern teurer, da zusätzliches Personal für den Betrieb der reinen Güterstraßenbahn eingesetzt werden muss, welches zudem extra geschult werden muss. Vorteile sind jedoch durch die flexible Streckenführung im Schienennetz zu sehen, da weder Linienweg noch Fahrplan beachtet werden müssen. Dadurch lassen sich in kürzerer Zeit bestimmte Punkte im Netz anfahren. Das Störpotenzial für den ÖPNV kann durch den Einsatz außerhalb der Hauptverkehrszeiten minimiert werden.

Variante 2: Transport von Gütern und Personen in der Straßenbahn

Variante 2 beschreibt die kombinierte Beförderung von Gütern und Personen in derselben Straßenbahn. Durch die Kombination sind zwar Umbaumaßnahmen erforderlich, jedoch ist kein zusätzliches Personal für die Beförderung der Güter notwendig. In den Nebenverkehrszeiten des ÖPNV sind die Transportkapazitäten der Straßenbahnen mit Personen nicht ausgelastet. Durch den zusätzlichen Transport von Gütern könnte eine höhere Auslastung erzielt werden. Bei dieser Variante sind Einschränkungen für den ÖPNV-Nutzer hinzunehmen. Konkret würde sich das Platzangebot in der Straßenbahn verringern und eine Einstiegsmöglichkeit wegfallen, die für das Be- und Entladen von Gütern reserviert wäre. Umbaumaßnahmen zur Befestigung der Güter und zur Maximierung des Transportvolumens müssten auch hier stattfinden. Ein weiterer Nachteil besteht in den vorgeschriebenen Linienwegen und Fahrplanzeiten. Somit lassen sich auf einer Streckenführung nur bestimmte Haltestellen beliefern. Die Logistikkette muss genau auf den Fahrplan abgestimmt sein. Übermäßige Verzögerungen oder Beeinträchtigungen des Fahrplans würden zum Akzeptanzverlust führen.

Variante 3: Straßenbahn mit Anhänger für Güter

Variante 3 sieht ebenfalls die kombinierte Beförderung von Gütern und Personen vor, jedoch sind diese räumlich vollständig getrennt. Während ÖPNV-Nutzer den Fahrgastraum der Straßenbahn normal nutzen können, werden die Güter in einem angekoppelten Anhänger transportiert. Zwar sind die zusätzlichen Anschaffungskosten des Anhängers zu berücksichtigen, jedoch kann dieser speziell für den Transport von Gütern konzipiert werden, um das Transportvolumen zu maximieren. Bezüglich der Streckenführung und

Fahrplanzeiten bestehen die gleichen Herausforderungen wie bei Variante 2. Durch die zusätzliche Länge der Straßenbahn müssen die Haltestellen zusätzlich auf Barrierefreiheit über die gesamte Länge geprüft werden.

Tabelle 5 fasst die Vor- und Nachteile der Varianten zusammen und stellt diese einander gegenüber. Die flexible Streckenführung, als auch das hohe Transportvolumen stellen die Variante 1 als Vorzugsvariante dar. Die Analysen, speziell die Kosten- und Standortanalyse, beziehen sich daher auf den Einsatz einer reinen Güterstraßenbahn.

Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Transportvarianten⁹⁸

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + Flexible Streckenführung + Nicht an Taktzeiten gebunden + Hohes Transportvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> + Kostengünstiger Betrieb + Höhere Ausnutzung der Straßenbahn 	<ul style="list-style-type: none"> + Kostengünstiger Betrieb + Fläche des Anhängers voll nutzbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Umbaukosten für Straßenbahnen oder Neuanschaffung eines Spezialfahrzeugs - Höhere Betriebskosten da extra Fahrer benötigt wird - Zusätzliche Auslastung des Schienennetzes 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport nur auf den Linienwegen und zu den Taktzeiten möglich - Rechtslage zum Transport von Personen und Güter unklar - Erhöhtes Störungspotenzial des Personenverkehrs - verminderte Kapazität für den Personenverkehr - Umbau der Straßenbahnen nötig - geringes Transportvolumen - Logistikkette muss noch präziser eingehalten werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport nur auf den Linienwegen und zu den Taktzeiten möglich - Anschaffungskosten für Anhänger - Erhöhtes Störungspotenzial des Personenverkehrs - Logistikkette muss noch präziser eingehalten werden

Ein allgemeines Risiko besteht in der Einschränkung des regulären Fahrgastbetriebes durch den Einsatz einer Güterstraßenbahn. Beim Einsatz eines Güterfahrzeugs hätte dieses, wie auch bei der Deutschen Bahn, eine niedrigere Priorität als ein planmäßiges „Personenfahrzeug“. Die Einschränkung des regulären Fahrgastbetriebes kann durch die Auswahl von Umladestellen vermindert werden, an denen sich die Bahnen überholen und/oder bei Störungen abgestellt werden können.

Zudem ist die rechtliche Situation als unklar zu bewerten. Beim Einsatz einer Güterstraßenbahn müssen dieselben Anforderungen, wie beim regulären Personenverkehr beachtet werden. Dazu gehören neben Anforderungen an den Feuerschutz, auch die Ladungssicherheit im Falle einer Notbremsung. Es gelten die im Personenbeförderungsgesetz (PBefG) festgeschriebenen Sonderbestimmungen für die Straßenbahnen. Zudem ist die Rechtsverordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab) zu beachten, welche die Regelungen für Bau und Betrieb konkretisieren. Im Frankfurter Kontext gilt zudem der öffentliche

⁹⁸ Eigene Darstellung

Dienstleistungsauftrag (ÖDA), welcher die Konzession für den Betrieb des Stadt- und Straßenbahnverkehrs beinhaltet. Die Versicherung sieht nur einen Schutz der Fahrgäste vor.

5.3 Chancen und Herausforderungen

Das Konzept der Innenstadtbeflieferung durch die Integration des Schienennetzes bietet unterschiedliche Chancen und Herausforderungen. Durch die geführten Experteninterviews konnten verschiedene Erkenntnisse ermittelt werden, die nachfolgend aufgezeigt werden.

5.3.1 Chancen

Durch den Transport von Gütern auf der Schiene, kann aus Sicht der VGF, ein Beitrag zur Reduzierung von Emissionen im Wirtschaftsverkehr geleistet werden. Die vorhandene Infrastruktur bietet das Potenzial, die Anzahl an Lieferfahrzeugen, besonders in der Innenstadt, zu reduzieren. Darüber hinaus bietet sich durch den Einsatz einer Gütertram die Möglichkeit, ein neues Geschäftsfeld aufzubauen. So kann die Infrastruktur auch in den verkehrsschwächeren Nebenzeiten höher ausgenutzt werden (09.00 – 13.00 Uhr und 19.00 – 2.00 Uhr). Da das Schienennetz bereits besteht, können Wendeschleifen, Depots, mehrgleisige Endhaltestellen oder Haltestellen mit längeren Wartezeiten für den Umschlag von Gütern genutzt werden.

Hermes sieht die Möglichkeit, den Verkehr in der Innenstadt zu reduzieren und eine Imagesteigerung durch den Zuspruch aus der Bevölkerung zu erzielen. Teile der Stadt können mit diesem Zustellkonzept beliefert werden. Das Konzept bietet eine Alternative bzw. Ergänzung zur Zustellung mit Elektrofahrzeugen. Die Logistikdienstleister können in verkehrsstarken Zeiten durch den Einsatz von eLastenrädern problemlos ausliefern. Dabei ist es auch möglich, in Fußgängerzonen zu fahren, die für Fahrzeuge zeitlich begrenzte Öffnungszeiten haben.

Andere Unternehmen, wie z.B. Bäckereien können die Belieferung ebenso per Schiene durchführen lassen. Die Bäckerei Kaiser legt großen Wert auf alternative Zustellmöglichkeiten und steht einer Zustellung per Gütertram positiv gegenüber. Bereits jetzt werden einige Zustelltouren mit einem Lastenrad durchgeführt. Darüber hinaus setzt die Bäckerei ohnehin auf passiv gekühlte Ware. Sie könnte problemlos in Transporteinheiten in der Tram gelagert werden. Auch eine nächtliche Belieferung ist denkbar, da die meisten Lieferungen nachts zwischen 2.00 und 6.00Uhr stattfinden.

Durch das Senken von CO₂-Emissionen können Unternehmen die Kosten einer möglichen CO₂-Steuer verringern.

5.3.2 Herausforderungen

Grundsätzlich sind in den vorhin genannten Regelungen keine Bestimmungen zum Güterverkehr vorhanden. Eine Güterstraßenbahn liegt dabei in einer Grauzone. Personen und Güter dürfen aus rechtlichen und versicherungstechnischen Gründen daher zurzeit nicht gemeinsam in einem Triebwagen befördert werden.

Eine Herausforderung ist die Einschränkung des regulären Fahrgastbetriebes durch den Einsatz einer Güterstraßenbahn. Ein Güterfahrzeug hätte, wie auch bei der Deutschen Bahn, eine niedrigere Priorität als ein planmäßiges „Personenfahrzeug“. Auch das zulässige Gesamtgewicht des Schienenfahrzeugs ist zu bedenken. Die Straßenbahnen können nur bis 450 kg pro m² beladen werden. Bei schweren Lasten ist die gleichmäßige Verteilung und ordnungsgemäße Sicherung der Güter und Waren von besonderer Bedeutung. Da das Auf- und Abladen aufgrund des eng getakteten Fahrplans zügig erfolgen muss, müssen sich die Güter schnell fixieren und lösen lassen.

Hermes sieht ein Risiko in der Abhängigkeit vom Fahrplan des Personenverkehrs auf der Schiene. Kommt es unvorhergesehen zu höheren Sendungszahlen, kann es problematisch sein, auf die steigende Kapazitätsnachfrage zu reagieren. Ein weiteres Risiko ist ein Schaden oder Unfall in oder auf der Infrastruktur des Schienennetzes, wodurch der Gütertransport eingeschränkt oder gestoppt werden kann. In diesem Fall muss es Alternativen geben.

Bäckereien haben angegeben, dass es bei dem Transport von Lebensmitteln wichtig ist, dass jede Person, die mit der Ware in Kontakt kommt, ein Gesundheitszeugnis vorweisen muss. Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Prozesse der Bäckerei eingehalten werden. Diese sehen eine Belieferung der Filialen bis 6.00 Uhr vor.

5.4 Pilotversuch

Im Folgenden werden zuerst der Aufbau und Ablauf des Pilotversuchs erläutert. Dann wird auf die eingesetzte Technik eingegangen sowie die Durchführung dargestellt. Abschließend werden Erkenntnisse aus dem Pilotversuch präsentiert.

5.4.1 Aufbau und Ablauf des Pilotversuchs

Für den Pilotversuch identifizierte die VGF eine geeignete Teststrecke (Abbildung 15). Wichtig hierbei war, dass der Regelbetrieb des ÖPNV nicht gestört wird. Der Betriebshof Gutleut wurde ausgewählt, da es hier aus platztechnischen Gründen möglich war, die Tram zu beladen. Zum Entladen wurde die „Messeschleife“ ausgewählt. Die „Messeschleife“ ist eine Wendeschleife, die nur unregelmäßig vom Personenverkehr bedient wird. So konnte die Tram zur Be- und Entladung ungestört stehen.

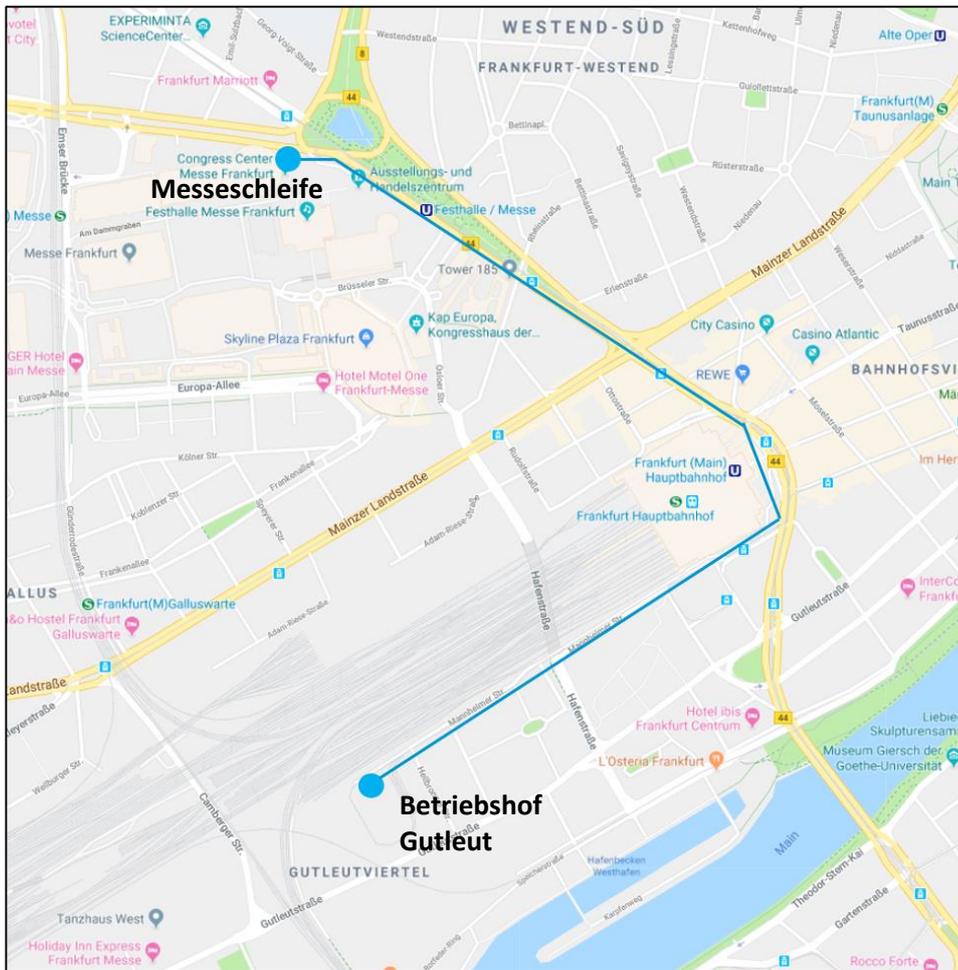


Abbildung 15: Teststrecke des Pilotversuchs⁹⁹

Während des Pilotversuchs wurden zwei Lastenradssysteme getestet. Die Touren wurden abwechselnd von zwei Zustellern durchgeführt, wobei jeder Fahrer zwei Tage das eine System, und zwei Tage das andere System nutzte. In Tabelle 6 ist das Transportvolumen der jeweiligen Transportbox zu sehen. Die Auswahl der Sendungen und das Befüllen der Transportboxen wurden von Hermes vorgenommen.

Tabelle 6: Transportvolumen je Lastenrad-System¹⁰⁰

	Montag 08.04.2019	Dienstag 09.04.2019	Mittwoch 10.04.2019	Donnerstag 11.04.2019
	Fahrer A		Fahrer B	
Velove Armadillo	1 Transportbox = 28 Pakete	1 Transportbox = 64 Pakete	1 Transportbox = 30 Pakete	1 Transportbox = 33 Pakete
	Fahrer B		Fahrer A	
Riemann-System	1 Transportbox = 26 Pakete	2 Transportboxen = 46 Pakete	1 Transportbox = 48 Pakete	1 Transportbox = 53 Pakete

⁹⁹ Googlemaps

¹⁰⁰ Eigene Darstellung

5.4.2 Eingesetzte Technik

S-Wagen der VGF

Eine detaillierte Beschreibung des Triebwagens (Typ: S-Wagen) ist im Kapitel 6.2 zu finden.

Gebaute Bahnsteige

Um einerseits einen barrierefreien Bahnsteig zu simulieren und andererseits die Tram mit den Transportboxen beladen zu können, wurden sowohl im Betriebshof Gutleut als auch an der Messeschleife Bahnsteige installiert. Der Bahnsteig im Betriebshof Gutleut (Abbildung 16, links) bestand aus einem Plateau und, aus Platzgründen, aus nur einer Rampe. Damit war der Bahnsteig nur von einer Seite befahrbar. An der Messeschleife bestand der Bahnsteig aus einem Plateau und zwei Rampen und konnte dadurch von zwei Seiten befahren werden (Abbildung 16, rechts). Geländer sicherten Personen vor Unfällen.

Maße: Plateau: 2,0 m x 2,0 m

Rampe: 2,0 m x 2,0 m

Höhe des Plateaus über Fahrbahnoberfläche: 0,30 m

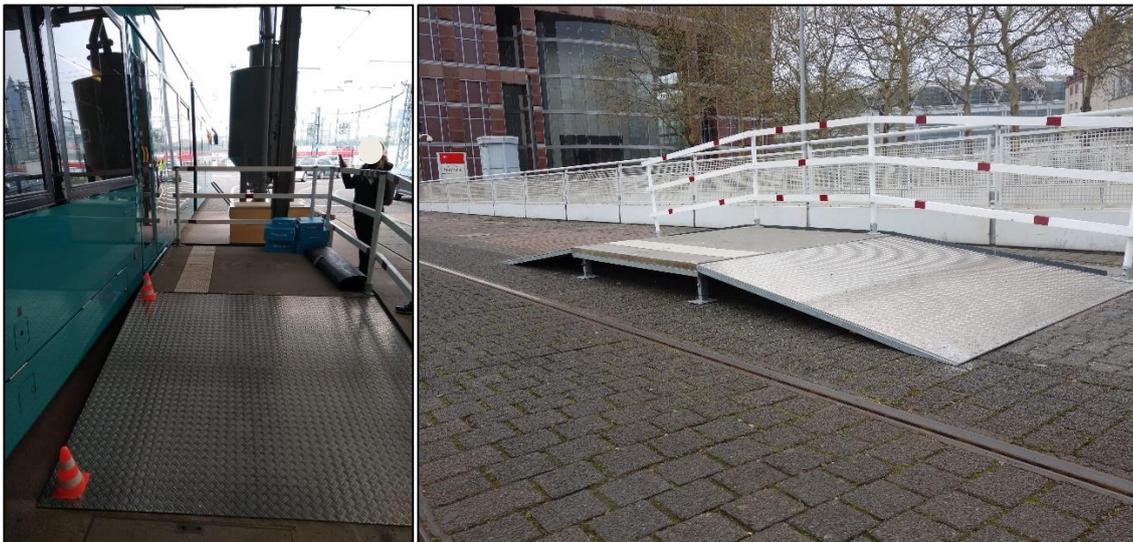


Abbildung 16: Be- und Entladungsrampen¹⁰¹

¹⁰¹ Eigene Aufnahmen vom 11.04.2019

Einlegeblech für Spalt zwischen Tram und Bahnsteig

Das Einlegeblech wurde auf dem Spalt zwischen Bahnsteig und Tram platziert (Abbildung 17). So konnte ein reibungsloses Be- und Entladen der Transportboxen gewährleistet werden.



Abbildung 17: Einlegeblech für Spalt zwischen Bahnsteig/Rampe und Tram ¹⁰²

Befestigung in der Tram

Die Transportboxen der beiden Lastenradsysteme wurden zur Ladungssicherung für den Transport in der Tram mit einem Netz und Spanngurten gesichert (Abbildung 18). Zusätzlich wurden Gummimatten in den Eingangsbereichen der Tram verlegt. Dies verhinderte einerseits Beschädigungen des Fahrgastraums während der Be- und Entladung und andererseits das Verrutschen der Transportboxen. So konnten Schäden im Falle einer Gefahrenbremsung vermieden werden. Für die Gefahrenbremsung wurden im Vorfeld Tests seitens der VGF vorgenommen. Die Transportboxen durften bei einer Vollbremsung aus einer Geschwindigkeit von 50 km/h nicht verrutschen.



Abbildung 18: Riemann-Transportbox links, Armadillo-Transportbox rechts ¹⁰³

¹⁰² Eigene Aufnahme vom 11.04.2019

¹⁰³ Eigene Aufnahmen vom 11.04.2019

Velove - Armadillo

Das Lastenradsystem besteht aus einem Fahrrad mit vier Rädern (Abbildung 19). Vorne befindet sich der Sitz für den Fahrer und hinten die Transportbox. Das Lastenrad gibt es in den Versionen mit vier (für eine Transportbox) oder sechs (für zwei Transportboxen) Räder. Die Maße des vierrädrigen Systems, welches bei dem Pilotversuch zum Einsatz kam, betragen 0,86 m in der Breite, 3,12 m in der Länge, 1,62 m in der Höhe und wiegt 67 kg (ohne Batterie und Transportboxen). Das maximale Gewicht der vierrädrigen Version beträgt 350 kg. Trotz seiner großen Abmessungen hat das Armadillo einen Wendekreis von 5,8 m. Das Fahrzeug hat sowohl hydraulische als auch mechanische Bremsen, wobei letztere zum Parken verwendet wird. Der 250 Watt Elektromotor des Pedelecs kann auf 25 km/h beschleunigen. Die Transportboxen befinden sich hinter dem Sitz des Fahrers. So hat der Zusteller freie Sicht auf die Straße. Die Transportboxen haben ein Volumen von 1 m³ und können bis zu 80 kleinere Pakete fassen. Die Transportboxen und das Lastenrad können per Funk verriegelt werden. Dadurch sind sie gegen Diebstahl und möglichen Vandalismus geschützt. Der Preis des „Armadillo“ beginnt bei ca. 8.000€.¹⁰⁴



Abbildung 19: Lastenradsystem Armadillo von Velove¹⁰⁵

Riemann-System

Das System von Herrn Riemann besteht aus einem Anhänger, auf dem sich die Transportbox mit den Sendungen befindet und aus einem E-Bike, an dem der Anhänger befestigt werden kann (Abbildung 20). Theoretisch kann jedes Fahrrad diesen Anhänger ziehen. Der Anhänger ist 1,95 m lang, 1,3 m breit und ca. 1,0 m hoch. Die

¹⁰⁴ Velove o.J.

¹⁰⁵ Eigene Aufnahme vom 09.04.2019

Transportbox ist 1,2 m lang, 0,8 m breit und 0,71 m hoch. Damit hat die Transportbox ein Gesamtvolumen von ca. 0,7 m³.¹⁰⁶ Der Anhänger hat drei Räder. Das bewegliche Vorderrad ermöglicht das Lenken und Rangieren des Anhängers. Die Transportboxen werden über eine Hydraulik auf den Anhänger gehoben. Der Deckel der Transportbox ist mit einer hydraulischen Öffnungsvorrichtung ausgestattet. Das komplette System bestehend aus Fahrrad und Anhänger hat dadurch je nach eingesetztem Fahrradtyp eine Gesamtlänge von 3,0 - 4,0 m.



Abbildung 20: Lastenradsystem Riemann ¹⁰⁷

5.4.3 Durchführung

Der gesamte Prozess ist in Abbildung 21 zu sehen und wird im Folgenden detailliert beschrieben.

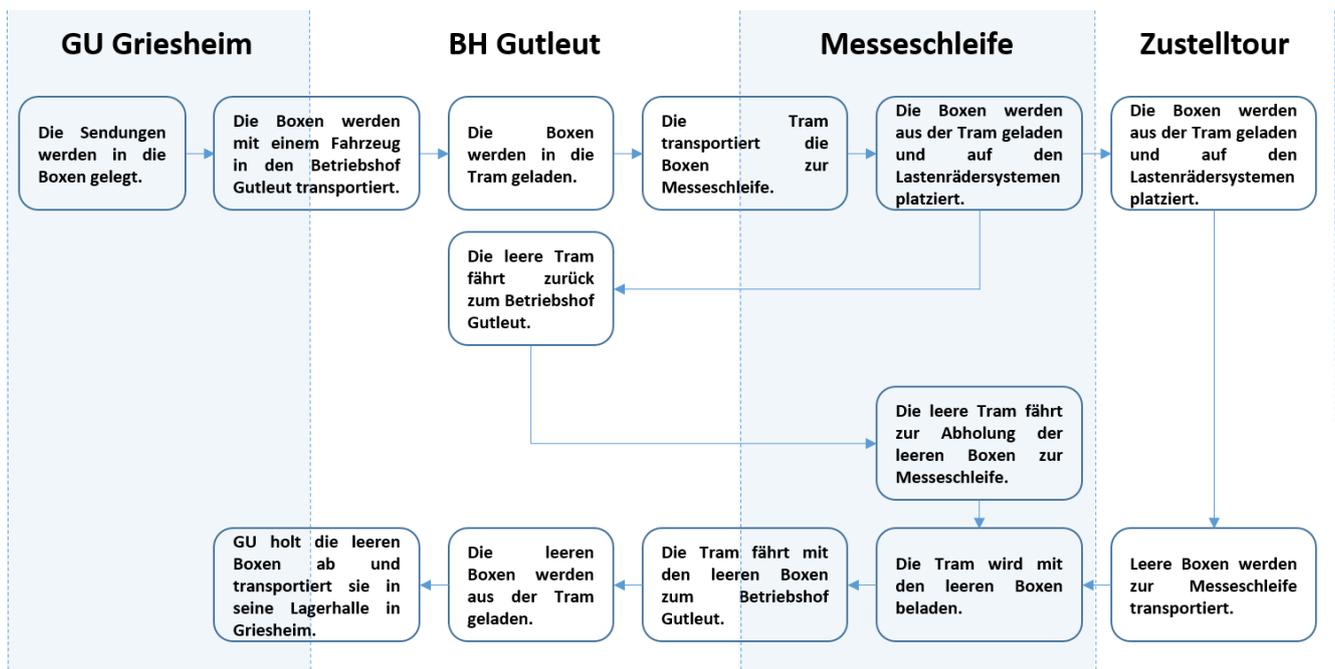


Abbildung 21: Prozess Pilotversuch LastMileTram ¹⁰⁸

¹⁰⁶ Auskunft von Herbert Riemann

¹⁰⁷ Eigene Aufnahme vom 09.04.2019

¹⁰⁸ Eigene Darstellung

In der Lagerhalle des GU von Hermes in Frankfurt-Griesheim wurden die Sendungen von Hermes in die Transportboxen geladen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Sendungen von ihrer Größe und Gewicht gut handhabbar sind. Die Transportboxen wurden in einen Transporter von Hermes geladen und zum Betriebshof Gutleut der VGF transportiert. Dort fand der Umschlag vom Transport auf die Tram statt. Die beladenen Transportboxen wurden mit drei bis vier Personen aus dem Transporter gehoben und auf dem Boden abgestellt. Die Armadillo Transportbox wurde dann aufgrund ihrer Rollen zum gebauten Bahnsteig geschoben. Über die Rampe und durch die Türöffnung der Tram konnte die Transportbox im Eingangsbereich der Tram platziert werden. Da die Transportbox den Eingangsbereich blockierte und hier keine zweite Transportbox geladen werden konnte, wurde die Tram versetzt, um die nächste Transportbox in den nächsten Eingangsbereich per Rampe zu laden. Die Riemann Transportbox wurde aufgrund der nicht vorhandenen Rollen mit einem Handhubwagen angehoben. So konnte sie ebenso über die Rampe durch die Türöffnung in dem Eingangsbereich platziert werden. Für den Übergang zwischen dem Bahnsteig und der Tram, welcher maximal 5 cm¹⁰⁹ groß sein darf, wurde ein Einlegeblech eingesetzt (Abbildung 17). Dies verhinderte, dass die Rollen in dem Spalt hängenbleiben oder beschädigt werden. Im Verlauf der Pilotphase konnte auch die Beladung der Tram mithilfe der in der Tram integrierten Behindertenrampe getestet werden (Abbildung 22).



Abbildung 22: Beladung der Tram über integrierte Behindertenrampe¹¹⁰

Die **Befestigung beider Transportboxen und des Handhubwagens in der Tram** fand mit Netzen und Spanngurten statt (Abbildung 18). Danach fuhr die Tram vom Betriebshof Gutleut zur Messeschleife. Hier fand der **Umschlag von der Tram auf das Lastenrad** statt. Über die gebaute Rampe konnten die Transportboxen genauso wie im Betriebshof Gutleut entladen und auf dem Boden platziert werden. Beide Lastenradssysteme inkl. Fahrern befanden sich vor Ort an der Messeschleife. Die Riemann Transportbox wurde mithilfe des Anhängers, der eine Hubvorrichtung integriert hat, für den Transport aufgeladen. Die Armadillo Transportbox

¹⁰⁹ Verband deutscher Verkehrsunternehmen 2000.

¹¹⁰ Eigene Aufnahme vom 11.04.2019

wird üblicherweise über ein Schienensystem auf das Lastenrad geladen, jedoch kam aus technischen Gründen dieses System nicht zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund wurden die Transportboxen mit drei bis vier Personen auf das Armadillo Lastenrad gehoben. Beide Lastenradsysteme konnten mit der Zustellung beginnen. In der Zwischenzeit fuhr die Tram zurück in den Betriebshof Gutleut. Aus Erfahrungswerten der Zusteller konnte eine ungefähre Endzeit der Zustelltour vorausgesagt werden. Durch telefonische Absprachen trafen sich die Zusteller mit den Lastenrädern und den leeren Transportboxen wieder an der Messeschleife. Hier wurden die leeren Transportboxen erneut aufgeladen und zurück zum Betriebshof Gutleut transportiert. Im Laufe der Testphase wurde ebenso getestet, die Transportboxen ohne Rampe zu entladen. Aufgrund des fehlenden Bahnsteigs und der damit höher gelegenen Einstiegschwelle, konnte die Armadillo Transportbox fast nahtlos auf das Lastenrad geladen werden (Abbildung 23).

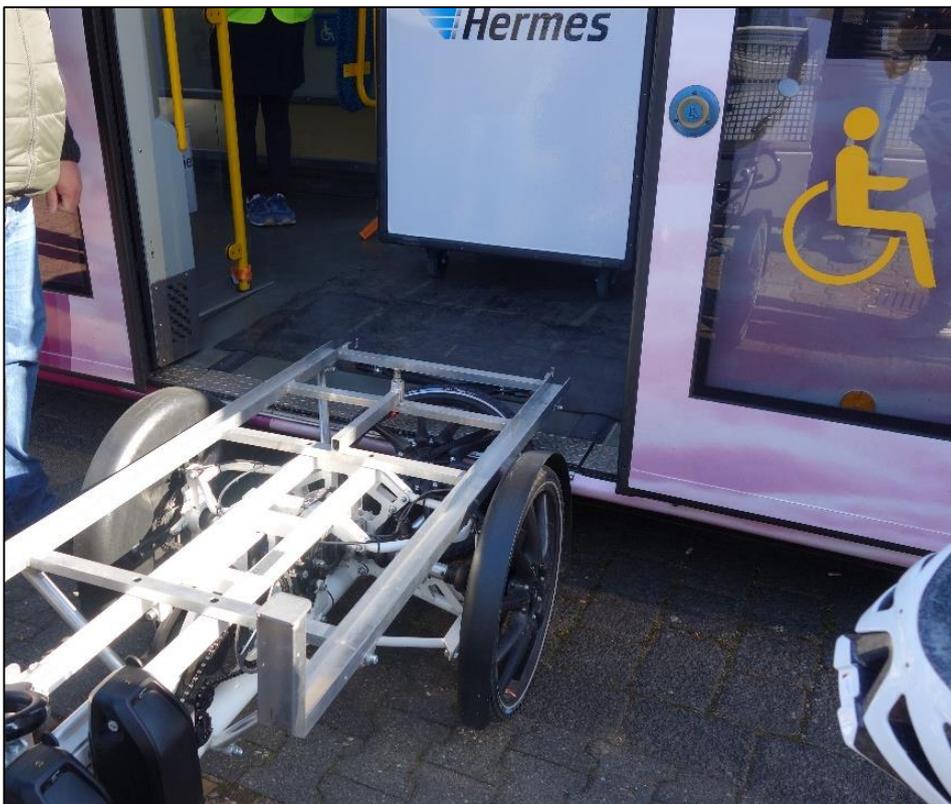


Abbildung 23: Beladung des Armadillos ohne Rampe¹¹¹Nachdem die Zustellung erfolgte, wurde das unbeladene Armadillo-Lastenrad zur Zwischenlagerung in die Lagerhalle des GU in Griesheim gefahren. Das Riemann-Lastenrad wurde in der Nähe der Messeschleife geparkt. Im Betriebshof Gutleut wurden beide Transportboxen aus der Straßenbahn entladen und per Transporter zur Lagerhalle des GU in Frankfurt-Griesheim gefahren. Der GU holte die Transportboxen im Laufe des Nachmittags ab, brachte sie zurück in die Lagerhalle und lagerte sie hier bis zum nächsten Morgen zwischen.

Zusätzlich wurde das Handling einer leeren Armadillo-Transportbox exemplarisch an drei Haltestellen getestet. Dazu wurde eine leere Transportbox an den Haltestellen: „Ludwig-Erhard Anlage“, „Festhalle/Messe“ und „Hohestaufenstraße“ aus- und umgehend wieder eingeladen.

¹¹¹ Eigene Aufnahme vom 11.04.2019

5.4.4 Erkenntnisse des Pilotversuchs

Der Pilotversuch zeigte, dass es technisch möglich ist, eine Sendungszustellung durch Integration der Straßenbahn durchzuführen. Es konnte jedoch Optimierungspotential identifiziert werden.

Die Vor- und Nachteile der beiden getesteten Lastenradsysteme lagen in unterschiedlichen Bereichen.

Das Lastenrad **Armadio von Velove** bietet nach Aussagen der beiden Zustellfahrer einen guten Komfort in Bezug auf Dämpfung und Federung. Darüber wurde die Rangierfähigkeiten als gut bewertet. Mithilfe eines Anhängers ist es möglich, das Lastenradsystem zu erweitern. Die Öffnung der Transportbox an der Seite ermöglicht einen komfortablen Zugriff auf die Sendungen. Die Transportbox schützt den Inhalt gegen jegliche Witterung. Ein weiterer Vorteil sind die angebrachten Rollen, die eine Verladung über die Behindertenrampe der Straßenbahn ermöglicht.

Die Be- und Entladung des Lastenrades ist nur mit einer Schiene möglich. Fehlt die Schiene, muss die Transportbox auf das Lastenrad gehoben werden. Bei einer nicht barrierefreien Station wird dies jedoch zum Vorteil, da der Höhenunterschied zwischen Tram und Bahnsteigkante genutzt werden könnte, um die Transportboxen unmittelbar auf das Lastenrad zu schieben. Die starren Rollen erleichtern eine Ladungssicherung, erschweren allerdings das Rangieren der Transportboxen auf dem Boden. Der Wendekreis von 5,8 m¹¹² ist verhältnismäßig groß und erschwert das Rangieren des Lastenradsystems. Nach Aussagen der beiden Zustellfahrer empfanden diese das Rangieren jedoch nicht als Problem.

Die Möglichkeit, den Anhänger des **Riemann Konzepts** an theoretisch jedes Fahrrad anzuschließen, ist ein Vorteil. Dadurch besitzt das gesamte Gespann einen kleinen Wendekreis von 2 m¹¹³. Gleichzeitig erschwert der Anhänger jedoch das Rangieren. Die Öffnung der Transportbox befindet sich oben. Dadurch muss sich der Zusteller nach unten beugen, um Sendungen zu entnehmen. Das System kann nicht erweitert werden. Die Transportboxen bestehen aus Holz und sind dadurch nicht wasserfest. Das Öffnen der Transportboxen ermöglicht zusätzlich das Eindringen von Regenwasser. Das Beladen der Tram mit der Riemann-Transportbox gestaltete sich im Betriebshof Gutleut als schwierig, da die Transportbox keine Räder hat. Daher musste sie mit einem Handhubwagen in die Tram gefahren werden. Damit war ein zusätzliches Hilfsmittel notwendig. Das Rangieren und Wenden des Handhubwagens auf dem Plateau der Rampe stellte sich als schwierig heraus. Gründe dafür waren einerseits die Platzverhältnisse (Maße der Rampe), und andererseits die Art des Rangierens mit einem Handhubwagen.

Die **Zustellung per Lastenrad** ist in Tabelle 7 in Zeile fünf und neun zu sehen. Zwei der acht durchgeführten Touren weisen eine Zustellzeit von ungefähr 4 Minuten auf. Alle anderen Touren liegen mit z. B. 6:42 Minuten pro Paket deutlich darüber. Die Zustellzeiten während des Pilotversuchs zeigen, dass drei der acht durchgeführten Touren per Lastenrad eine Zustellzeit von ungefähr 4 Minuten pro Paket aufweisen (Tabelle 7 Spalte 3 und 4 Zeile 5). Alle anderen Touren liegen mit z. B. 6:42 Minuten pro Paket deutlich über der Zustellzeit der konventionellen Vergleichstour (Kapitel 4.5) von 3:14 Minuten pro Paket. Zu beachten ist, dass sich die Durchschnittswerte in Tabelle 7 nur auf die Zustellung per Lastenrad beziehen. Der Transport zum Depot im Gutleutviertel sowie der Transport in der Tram sind noch nicht inkludiert. Somit würde die Zustellzeit pro Paket

¹¹² Velove o.J.

¹¹³ Riemann Produktdesign o.J.

nach aktuellem Stand höher liegen. Da es sich bei dem Zustellkonzept mithilfe der Tram noch nicht um einen ausgereiften und in Serie eingesetzten Prozess handelt, ist ein zeitlicher Vergleich der Abläufe nicht belastbar.

Tabelle 7: Transportvolumen, Stoppanzahl und Dauer der Lastenradtour¹¹⁴

		Montag 08.04.2019	Dienstag 09.04.2019	Mittwoch 10.04.2019	Donnerstag 11.04.2019
Velove Armadillo	Transportvolumen	1 Transportbox = 28 Pakete	1 Transportbox = 64 Pakete	1 Transportbox = 30 Pakete	1 Transportbox = 33 Pakete
	Anzahl an Stopps (Adressen)	25	59	27	20
	Dauer der Tour	1:50 Std.	4:05 Std.	5:15 Std.	4:24 Std.
	Zeit pro Paket	3:56 Min.	3:50 Min.	10:30 Min.	8:00 Min.
Riemann- System	Transportvolumen	1 Transportbox = 26 Pakete	2 Transportboxen = 46 Pakete	1 Transportbox = 48 Pakete	1 Transportbox = 53 Pakete
	Anzahl an Stopps (Adressen)	23	42	42	51
	Dauer der Tour	3:07 Std.	5:08 Std.	4:05 Std.	3:42 Std.
	Zeit pro Paket	7:12 Min.	6:42 Min.	5:06 Min.	4:11 Min.

In Tabelle 8 sind die durchschnittlichen Längen der gemessenen Lastenradtouren zu finden. Aufgrund von technischen Fehlern konnten nicht alle acht Touren gemessen werden. Vier der acht Touren konnten jedoch vollständig aufgezeichnet werden. Im Durchschnitt beträgt die zurückgelegte Strecke für die vollständige Belieferung einer Transportbox 11,2 km pro Transportbox.

Tabelle 8: Tracking Daten der Lastenradtouren¹¹⁵

Tracking-ID	Datum	Distanz	Dauer
20190409_1014	09.04.2019	14,7 km	5h 14 m
20190411_1016	11.04.2019	7,6 km	3h 7 m
20190408_1359	08.04.2019	11,9 km	3h 45 m
20190410_1329	10.04.2019	11.1 km	3h 28 m

Die **Befestigung in der Tram** erwies sich zwar als sicher, jedoch nicht besonders nutzerfreundlich. Das Festziehen der Spanngurte nahm fünf bis zehn Minuten in Anspruch. Ein Transportboxensystem wurde durch die Befestigung beschädigt. Wichtig ist zukünftig, ein Befestigungssystem sowohl in der Tram als auch an den Stationen zu entwickeln. Dies sollte das Befestigen der Transportboxen erleichtern und eine Sicherheit gegen

¹¹⁴ Eigene Darstellung¹¹⁵ Eigene Darstellung

Verrutschen oder Vandalismus gewährleisten. Ein Sichern der Transportboxen an den Tramstationen ist dann notwendig, wenn ein Lastenradfahrer es nicht genau zur Ankunftszeit der Tram zur Station schafft.

Bei dem Pilotversuch kamen zwei Transportboxen zum Einsatz. Die Grundfläche des S-Wagens bietet jedoch deutlich mehr Platz. Für einen großflächigen Einsatz einer Tram für den urbanen Transport von Sendungen oder anderen Gütern, ist es notwendig, eine bestehende **Tram baulich anzupassen**, oder eine geeignete Tram zu entwickeln. So kann die Ladekapazität maximal ausgenutzt werden. Die Grundfläche des eingesetzten S-Wagens bietet Platz für bis zu 40 Transportboxen (Abbildung 24). Dies wird nur erreicht, wenn die bestehende Bestuhlung entfernt wird.

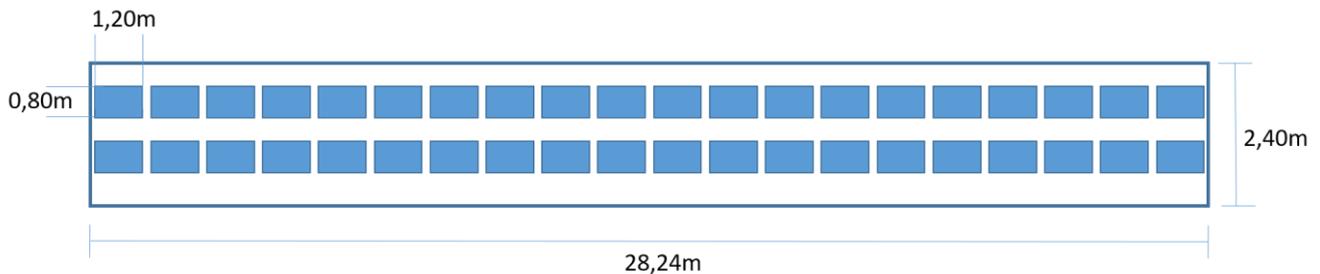


Abbildung 24: Bemaßung der Straßenbahn (Typ S-Wagen) mit Transportboxen ¹¹⁶

Unabhängig davon, welcher **Transportboxentyp** zum Einsatz kommt, ist es sinnvoll, diese mit Befestigungspunkten zu versehen. So können diese zur Ladungssicherung leichter befestigt werden. Griffe an den Transportboxen und gebremste und lenkbare Rollen erleichtern das Handling der Transportboxen. Bei dem Pilotversuch kamen zwei Transportboxen zum Einsatz. Bei einem großflächigen Einsatz dieses Systems wird ein System benötigt, das einerseits eine Lokalisierung der Transportboxen zu jedem Zeitpunkt ermöglicht und andererseits eine optimale Verteilung der Transportboxen berechnet. Damit wird die Synchronisation von Transportboxen und Zustellern möglich.

Markierungen auf dem Boden an der Messeschleife erleichtern das genaue Halten der Tram. So konnte die Türöffnung genau an dem installierten Bahnsteig platziert werden. Durch die Behindertenrampe wird es möglich, Transportboxen auch an nicht barrierefreien Stationen aus- und einzuladen.

Die exemplarischen Tests an drei Haltestellen haben gezeigt, dass das tatsächliche Be- und Entladen der Transportboxen sehr schnell geht (fünf bis zehn Sekunden). Dies verdeutlichte, dass ein geeignetes Befestigungssystem, welches das Fixieren der Transportboxen zulässt, eine schnelle Handhabung erlauben muss.

¹¹⁶ Eigene Darstellung

6 Standortanalyse und Streckenkonzepte

Wie bereits in der Methodik beschrieben, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts eine Standortanalyse für den Einsatz einer Güterstraßenbahn in Frankfurt am Main durchgeführt. Nachfolgend wird zunächst das Frankfurter Straßenbahnnetz vorgestellt, mit Fokus auf der Erschließungsstruktur, sowie ein Bemessungsfahrzeug ausgewählt. Anschließend werden die definierten Kriterien für die Identifizierung von Be- und Entladestationen erläutert, bevor die Ergebnisse der Standortanalyse, durch die Ergänzung von Karten und Tabellen, gezeigt werden. Abschließend wird ein mögliches Streckenkonzept am Fallbeispiel der Paketzustellung der Frankfurter Innenstadt vorgestellt. Bei der Betrachtung wurde vorausgesetzt, dass geeignete Transporteinheiten für einen reibungslosen Umschlag verwendet werden.

6.1 Das Frankfurter Straßenbahnnetz

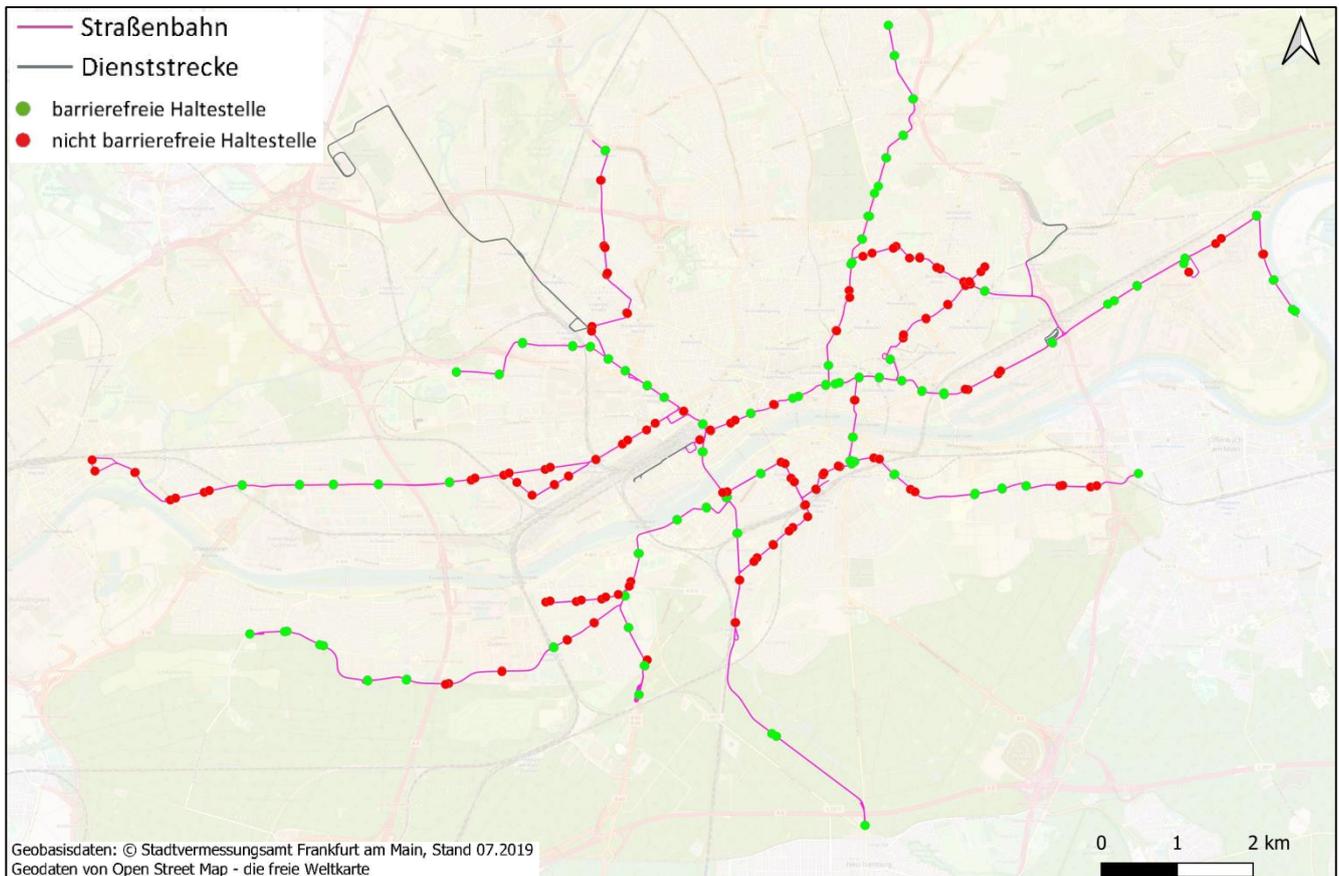


Abbildung 25: Straßenbahnnetz Frankfurt mit Haltestellen¹¹⁷

Das Schienennetz der Straßenbahn wird von der VGF betrieben. Das Netz zählt zehn reguläre Linien, sowie eine Sonderlinie (EE). Das Straßenbahnnetz umfasst 139 Haltestellen auf einer Streckenlänge von 68,67 km. Der mittlere Haltestellenabstand beträgt 0,51 km, die mittlere Linienlänge 10,48 km (Stand 2018)¹¹⁸. Der Anlage 1 ist der vollständige Liniennetzplatz für S-, U- und Straßenbahn in Frankfurt zu entnehmen, sowie die tabellarische Auflistung der Straßenbahnlinien mit Hauptstrecken.

¹¹⁷ Eigene Darstellung

¹¹⁸ VGF 2018.

Abbildung 25 zeigt das Frankfurter Straßenbahnnetz, das sternenförmig aufgebaut ist. Es bündelt sich in zwei zentrale Strecken nördlich und südlich des Mains. Wie der Tabelle in Anlage 1 zu entnehmen ist, werden diese besonders häufig frequentiert, ebenso wie der Bereich um den Frankfurter Hauptbahnhof und die Altstadtstrecke. Nach Angaben der VGF ist das innerstädtische Straßenbahnnetz bereits jetzt sehr stark belastet und wird in enger Taktfolge bedient. Aufgrund stetig wachsender Fahrgastzahlen, kann auch in Zukunft von einer weiteren Erhöhung der Taktfrequenz ausgegangen werden. Die derzeitigen Haltezeiten der Straßenbahnzüge beim Fahrgastwechsel betragen zwischen 10 und 30 Sekunden, je nach Fahrgastnachfrage. Nach Angaben der VGF sind die Hauptverkehrszeiten von 07.00 – 09.00 Uhr, sowie von 14.00 - 19.00 Uhr. Fahrten einer Güterstraßenbahn würden sich besonders in den verkehrsschwachen Zeiten anbieten. Des Weiteren zeigt die Abbildung 25 den Bestand an barrierefreien Haltestellen. Es ist zu erkennen, dass aktuell weniger als die Hälfte aller Straßenbahnhaltestellen barrierefrei ausgebaut sind (Stand Juli 2019).

6.2 Bemessungsfahrzeug

Im aktuellen Linienbetrieb der VGF wird der „R-Wagen“ (Hersteller Duewag/Siemens) und der neuere „S-Wagen“ (Bombardier Transportation) eingesetzt. Beide Fahrzeuge sind Niederflurfahrzeuge mit einer Einstiegshöhe von 30 cm. Auf einzelnen Fahrten werden an Schultagen Hochflurfahrzeuge vom „Typ P“ eingesetzt, die nicht barrierefrei sind. In Frankfurt werden ausschließlich Zweirichtungsfahrzeuge verwendet. Mit 74 Fahrzeugen ist der „Typ S“ das am häufigsten eingesetzte Fahrzeug. Der neu bestellte „T-Wagen“ (insgesamt 45 vom Hersteller Alstom) wird ab 2020 die älteren Wagen vom „Typ R“ ersetzen. Anlage 2 zeigt die Gegenüberstellung der drei Triebwagenmodelle.

Da keine Serienfahrzeuge für Güterstraßenbahnen vorhanden sind, wird für die weiteren Analysen und Berechnungen der Einsatz des S-Wagens (siehe Abbildung 26) für das Konzept der „LastMileTram“ zu Grunde gelegt. Dieser hat den größten Flottenanteil und wird auch noch für einen längeren Zeitraum bei der VGF zum Einsatz kommen. Die gegenüberliegenden Türen und die Mehrzweckabteile bieten bereits Verladeflächen für Güter und Waren.

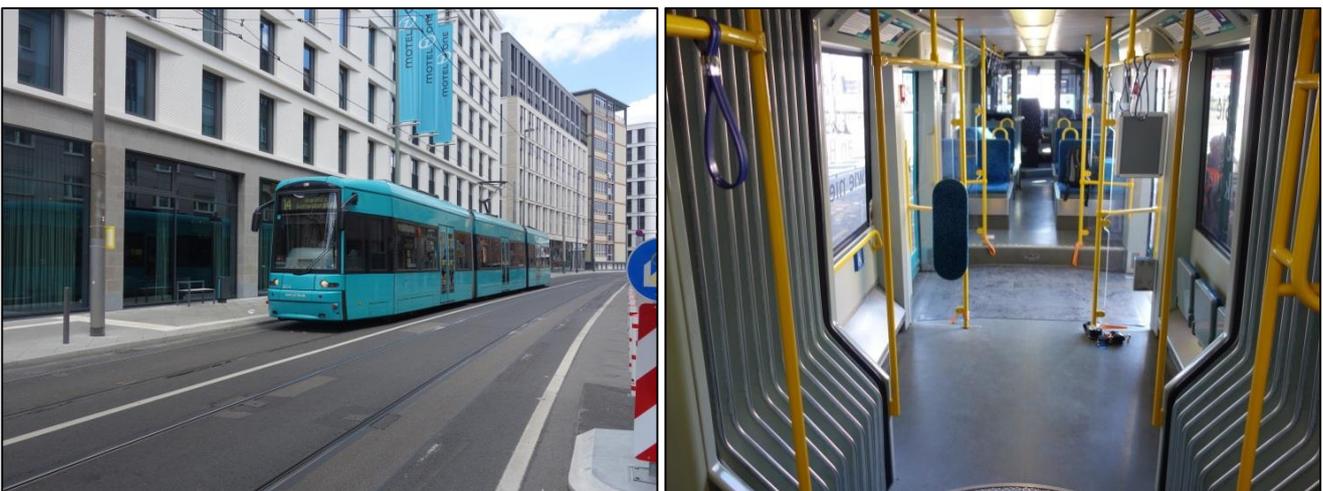


Abbildung 26: Der S-Wagen der VGF (links) mit Mehrzweckabteil ¹¹⁹

¹¹⁹ Eigene Aufnahmen vom 20.04.2019

Werden die Haltestangen und der Windfang demontiert, bestehen durch die drei Türen je Seite eine gute Be- und Entlademöglichkeit der Straßenbahn. Ein Nachteil ist jedoch in den vorhandenen Stufen zwischen Einstiegsbereich und Sitzplätzen zu sehen, wodurch die Fläche eingeschränkt wird. Der bestellte „T-Wagen“ wird in dieser Hinsicht noch Verbesserungen bringen. Da dieser jedoch erst ab 2020 bei der VGF zum Einsatz kommen wird, wird der „S-Wagen“ als Bemessungsfahrzeug gewählt.

6.3 Bewertungskriterien für die Standortanalyse

Für die Identifizierung von Standorten wurden fünf Kriterien zur Beladung und vier zur Entladung einer Güterstraßenbahn angenommen. Aus den Ergebnissen der Experteninterviews und aus dem Pilotversuch, konnten Randbedingungen abgeleitet werden, aus denen die Kriterien definiert wurden. Diese sind zunächst unabhängig vom Transportgut.

Als ausschlaggebende Kriterien wurden die möglichen Standzeiten einer Güterstraßenbahn an einer Haltestelle und die bestehenden Platzverhältnisse definiert. Auch der ebenerdige Zugang und Einstieg spielen beim Umschlag von Transporteinheiten eine wichtige Rolle, um diesen Vorgang schnell und sicher durchführen zu können. Weitere Kriterien konnten aus den Zielen zur Emissionseinsparung abgeleitet werden. Möglichst kurze Wege mit dem Lieferfahrzeug (aktuell überwiegend Dieselfahrzeuge), und möglichst lange Strecken auf der Schiene tragen zur Reduzierung von Luft- und Lärmemissionen bei.

Nachfolgend werden die übertragbaren Kriterien für Standorte zur Be- und Entladung vorgestellt und erläutert.

6.3.1 Standortkriterien für die Beladung der Güterstraßenbahn

1. Kriterium: Keine Beeinträchtigung des ÖPNV. Taktzeit an der Haltestelle ≥ 7 Minuten. Wenn vorhanden: Nutzung von Abstellgleisen, Wendeschleifen oder Betriebshöfen

Für das Umladen der Güter ist es notwendig, dass die zu beladene Güterstraßenbahn nicht den Regelbetrieb des Personenverkehrs beeinträchtigt. Dafür eignen sich Abstellgleise oder Wendeschleifen, welche nur im Störfall benutzt werden. Auch Betriebshöfe der Verkehrsgesellschaft können dank der Anbindung an das Straßenbahnnetz für den Umschlag genutzt werden. Bei Haltestellen, die im Linienbetrieb angefahren werden, sollte die Taktzeit ≥ 7 Minuten betragen, um eine ausreichende Standzeit für die Güterstraßenbahn gewährleisten zu können.

2. Kriterium: Haltestelle möglichst am Stadtrand, z. B. Endhaltestelle

Die Beladung sollte möglichst am Stadtrand stattfinden, um möglichst kurze Distanzen von den Zustelldepots, z. B. KEP-Depot, zu ermöglichen. Die Strecke der Waren auf der Schiene sollte möglichst ausgeschöpft werden, um so eine größtmögliche Einsparung an Emissionen zu erzielen.

3. Kriterium: Maximal zwei Kilometer bis Anschluss an Autobahn oder anbaufreie Hauptverkehrsstraße

Um sowohl die Emissionen, als auch die Belastungen durch Zustellfahrzeuge gering zu halten, sollten sich die Haltestellen in der Nähe von Anschlussstellen von Autobahnen, oder anbaufreien Hauptverkehrsstraßen befinden. Hier wurde eine maximale Fahrdistanz von zwei Kilometern definiert. Somit werden die Fahrten in Wohngebieten minimiert.

4. Kriterium: Direkte Haltemöglichkeit für den Wirtschaftsverkehr in Haltestellennähe (max. 50m Umkreis)

Um die Waren möglichst problemlos und schnell vom Lieferfahrzeug auf die Güterstraßenbahn umladen zu können, sollten sich legale Haltemöglichkeiten für den Wirtschaftsverkehr in direkter Nähe zur Haltestelle befinden. Es wurde ein Umkreis von 50 Meter definiert.

5. Barrierefreier Zugang zur Beladung

Der Zugang zur Haltestelle sollte ebenerdig oder mit Rampen möglich sein, um den Einsatz von Rollcontainern oder Hubwagen zu ermöglichen. Auch der Spalt und die Stufe für den Einstieg in die haltende Güterstraßenbahn sollten max. 5 cm betragen, um ein leichtes und schnelles Beladen zu ermöglichen. Maßgeblich ist hier die Bordsteinhöhe der Haltestelle. Die Erreichbarkeit und die Einstiegshöhe werden unter dem Begriff „barrierefreier Zugang“ definiert.

6.3.2 Standortkriterien für die Entladung der Güterstraßenbahn

1. Kriterium: Barrierefreier Zugang zur Haltestelle

Um die Waren möglichst problemlos und schnell von der Güterstraßenbahn für die weitere Zustellung oder Zwischenlagerung abladen zu können, sollte, wie bei der Beladung, ein barrierefreier Zugang zur Haltestelle gewährleistet sein.

2. Kriterium: Keine Beeinträchtigung des ÖPNV. Taktzeit an der Haltestelle ≥ 3 Minuten. Wenn vorhanden, Nutzung von Abstellgleisen, Wendeschleifen oder Betriebshöfen

Für das Entladen der Güter ist es notwendig, dass der Vorgang nicht den Regelbetrieb des Personenverkehrs beeinträchtigt. Dafür eignen sich Abstellgleise oder Wendeschleifen, welche nur im Störfall benutzt werden. Auch Betriebshöfe der Verkehrsgesellschaft können, dank der Anbindung an das Straßennetz, für den Umschlag genutzt werden. Bei Haltestellen, die im Linienbetrieb angefahren werden, sollte die Taktzeit ≥ 3 Minuten betragen, um eine ausreichende Standzeit für die Güterstraßenbahn gewährleisten zu können.

3. Kriterium: Abstellmöglichkeiten von Container

Um das Entladen, aber auch die Zwischenlagerung von Rollcontainer oder ähnlichen Transporteinheiten an den Bahnsteigen, zu ermöglichen, ist eine ausreichende Breite der Bahnsteige nötig, um eine Behinderung des

Personenverkehrs zu vermeiden. In den Experteninterviews wurde herausgefunden, dass nach den Richtlinien für den Bahnsteigbereich eine Mindestbreite von 3,00 m, in Ausnahmefällen 2,50 m, aufweisen sollen. Längs der Bahnsteigkante muss eine nutzbare Breite von mindestens 2,00 m, bei Haltestellen im Verkehrsraum öffentlicher Straßen von mindestens 1,50 m vorhanden sein. Dies gilt für die Gesamtlänge des jeweiligen Bahnsteigs und ist ebenfalls im Bereich von Einbauten wie Wartehallen, Sitzen oder Fahrkartenselbstausgaben sicherzustellen. Somit würde diese Vorgabe auch für fixierte Transporteinheiten und die Fixierungseinrichtung selbst gelten.

4. Kriterium: Haltestelle möglichst in der Nähe des Zustellorts

Die Entladestation sollte sich möglichst in der Nähe vom Zustellgebiet befinden, um möglichst kurze Distanzen für die „letzte Meile“ zu ermöglichen.

6.4 Analyse geeigneter Beladestationen

Betriebshöfe und Wendeschleifen eignen sich grundsätzlich für längere Standzeiten einer Güterstraßenbahn, ohne den ÖPNV zu stören. Ausreichend Platzverhältnisse sind hier i.d.R. gegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Standorte keine ausgebauten Bahnsteige besitzen, wodurch eine stufenlose Be- und Entladung nicht möglich ist. Wie auch im Pilotversuch praktiziert, können jedoch Rampen aufgestellt werden, wenn die Platzverhältnisse es zulassen. Unter dieser Annahme wurden auch Betriebshöfe und Wendeschleifen in die Betrachtung einbezogen.

Die VGF verfügt über mehrere Straßenbahndepots und -werkstätten (siehe Abbildung 27), die ebenfalls in die Betrachtung als geeignete Standorte aufgenommen wurden. Diese sind

- der Betriebshof Gutleut,
- der Betriebshof Ost,
- die Stadtbahnzentralwerkstatt und
- die Zentrale Werkstätten Infrastruktur (ZGW).

Diese werden über sogenannte Dienststrecken erreicht. Des Weiteren konnten bei der Analyse des Straßenbahnnetzes mehrere Wendeschleifen identifiziert werden, die nicht im Regelbetrieb genutzt werden. Diese wurden ebenfalls für die Untersuchung mitaufgenommen. Der „Betriebshof Gutleut“ und die „Messeschleife“ wurden im Pilotversuch bereits zum Be- und Entladen angefahren.

Auf Grundlage der Analyse des Schienennetzes, wurden die genannten Betriebshöfe, Wendeschleifen, als auch Endhaltestationen des Straßenbahnnetzes hinsichtlich der Eignung für eine Beladestation überprüft. Dazu wurden alle fünf definierten Kriterien an diesen Haltestellen mit der Skala „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“ bewertet. Eine abschließende Bewertung definierte die Eignung der Haltestelle. Wurde eines der fünf Kriterien als „nicht erfüllt“ eingestuft, so wurde die Haltestelle als „ungeeignet“ definiert.

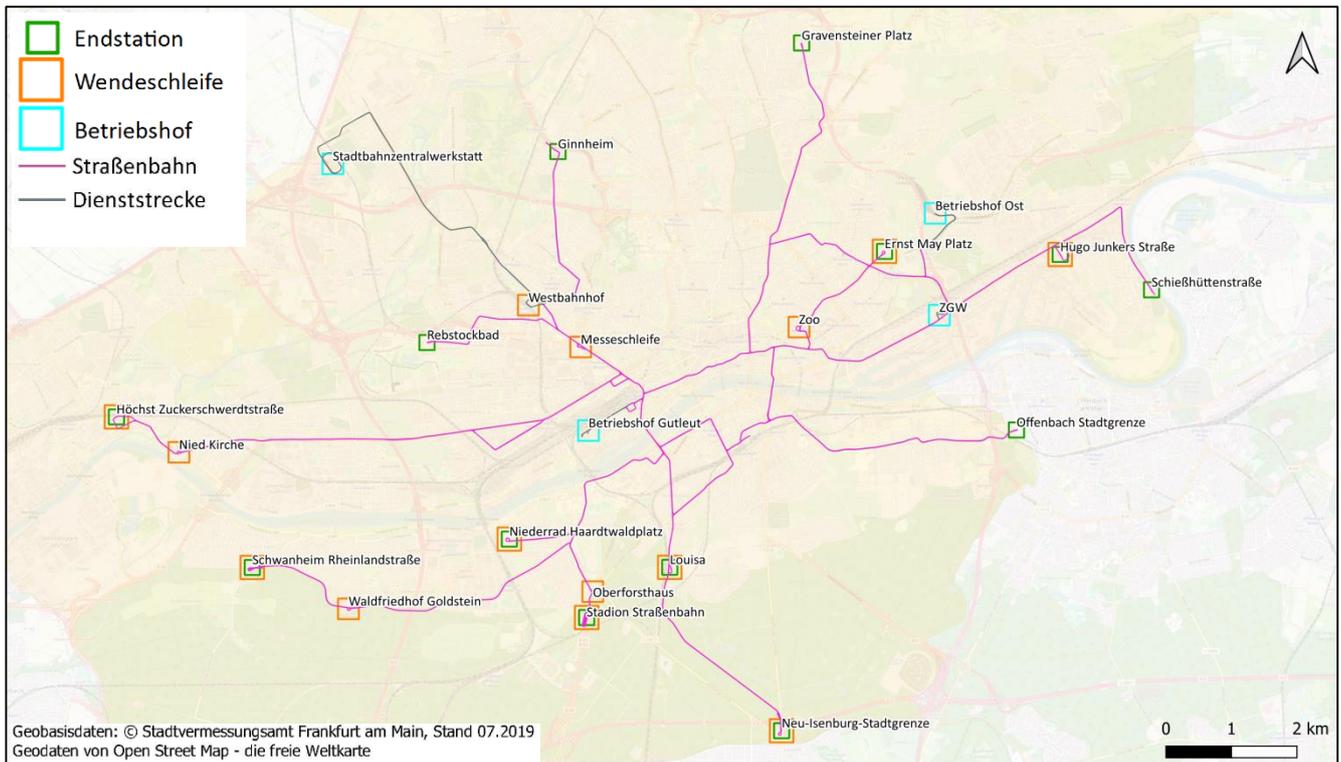


Abbildung 27: Frankfurter Straßenbahnnetz mit Betriebshöfen, Wendeschleifen und Endhaltestellen ¹²⁰

Anlage 3 zeigt die Haltestellen mit den Kriterien und der Bewertung zur Eignung. Wie bereits in der Analyse des Schienennetzes beschrieben, ist an Betriebshöfe und Wendeschleifen aufgrund fehlender Bahnsteige eine Beladung der Straßenbahn nicht stufenlos möglich. Die Betrachtung der Standorte hat gezeigt, dass dort die Installation von Rampen o. ä., analog zum Pilottest, möglich wäre. Daher wurden das Kriterium 5 dieser Standorte mit „erfüllt“ bewertet.

Einige Haltestellen konnten die Kriterien, aufgrund fehlender Haltemöglichkeiten für den Wirtschaftsverkehr, nicht erfüllen. Die Lage und der Anschluss an eine anbaufreie Hauptverkehrsstraße führten vor allem bei den Wendeschleifen zum Ausschlusskriterium. Insgesamt konnte durch die Betrachtung von Endhaltestationen und Straßenbahndepots eine sinnvolle Vorauswahl getroffen werden. Besonders die Depots sind sinnvolle Umschlagpunkte, da dort der öffentliche Personennahverkehr nicht beeinträchtigt wird. Haltemöglichkeiten für den Wirtschaftsverkehr sind zudem auf dem Depotgelände gegeben.

¹²⁰ Eigene Darstellung

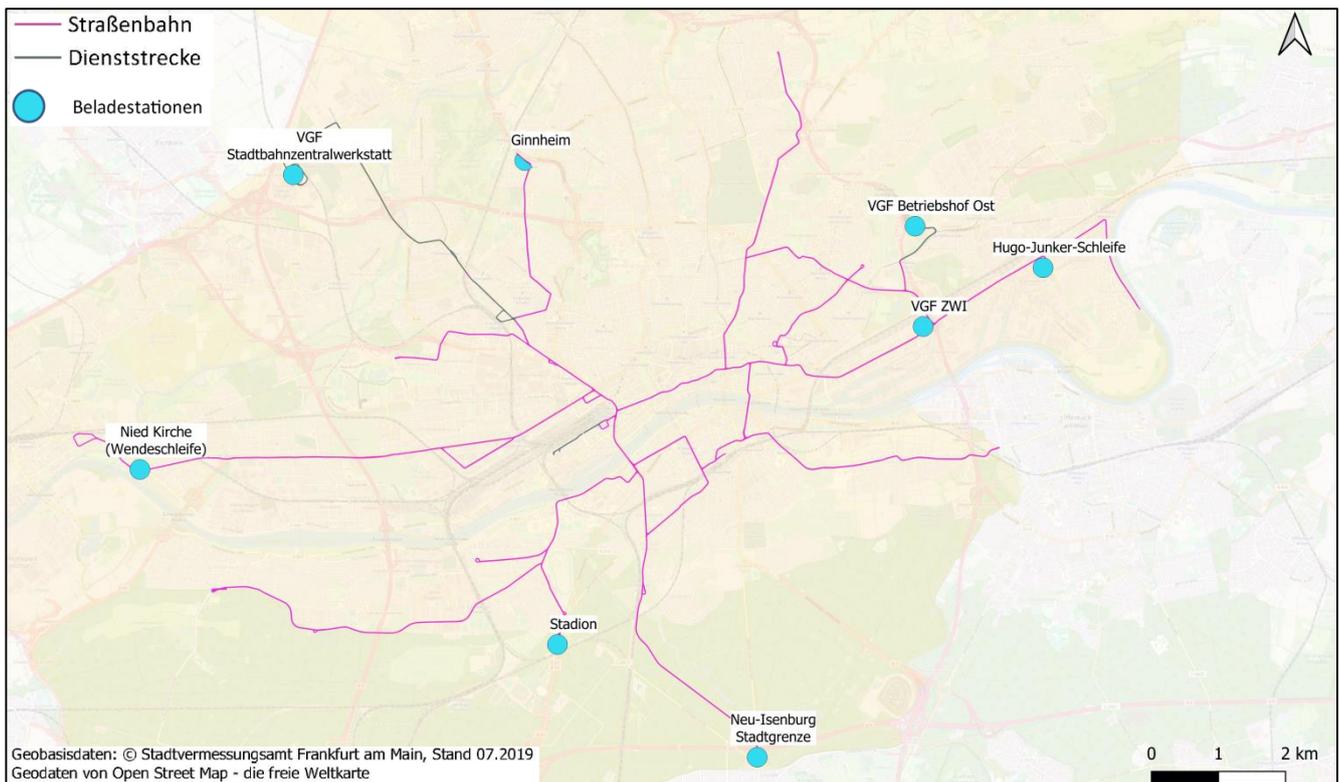


Abbildung 28: Frankfurt Straßenbahnnetz mit identifizierten Beladestationen¹²¹ Insgesamt konnten acht geeignete Stationen für die Beladung identifiziert werden. Abbildung 28 zeigt das Frankfurter Straßenbahnnetz mit den geeigneten Standorten. Es ist zu sehen, dass diese eine Anlieferung von

- Norden: Stadtbahnzentralwerkstatt und Ginnheim (nur eine Bahnsteigseite)
- Süden: Stadion und Neu-Isenburg Stadtgrenze
- Osten: Nied Kirche (Wendeschleife)
- Westen: Betriebshof Ost, Hugo-Junker-Schleife und ZGW

ermöglichen, wodurch kurze Anfahrtswege für den Lieferverkehr von verschiedenen Depots um Frankfurt herum ermöglicht werden. Bis auf die Stationen „Neu-Isenburg Stadtgrenze“ (als Beispiel in Abbildung 29 links), „Stadion“ und „Ginnheim“, bestehen aktuell keine ebenerdigen Beladungsmöglichkeiten der Straßenbahn. Bei den Depots und Wendeschleifen wäre die Installation von Verladerampen denkbar. Wie in Abbildung 29 (rechts) beispielhaft zu sehen ist, kann bei der Hugo-Junker-Straße/Schleife das Abstellgleis genutzt werden. Der angrenzende Parkplatz bietet Haltemöglichkeiten für den Wirtschaftsverkehr. Da dort kein Bahnsteig vorhanden ist, müsste dort eine Verlademöglichkeit geschaffen werden. Wird der vorhandene Bahnsteig angefahren, müsste dieser barrierefrei ausgebaut werden.

¹²¹ Eigene Darstellung

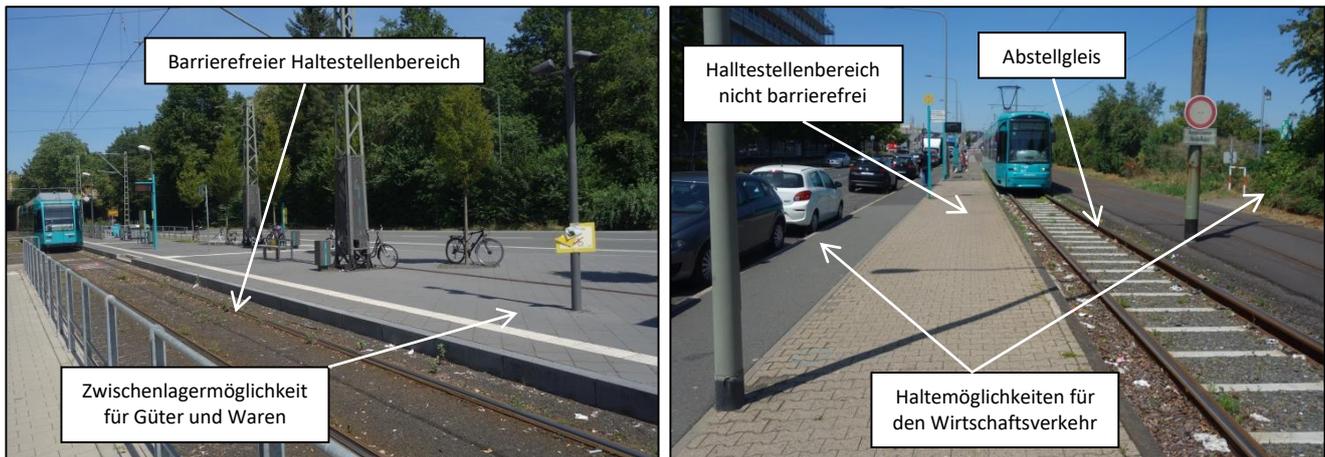


Abbildung 29: Haltestelle Neu-Isenburg Stadtgrenze (links) und Hugo-Junker-Straße/Schleife (rechts) ¹²²Die Standortanalyse hat gezeigt, dass es bereits geeignete Haltestellen im Straßenbahnnetz von Frankfurt für die Beladung einer Güterstraßenbahn gibt. Der durchgeführte Workshop mit Expertinnen und Experten hat gezeigt, dass es offene Punkte beim Umschlag der Güter gibt. So ist u. a. zu klären, wer das Be- und Entladen durchführt. Dabei spielt auch die Haftung im Falle von Schäden beim Transport, oder einem Ausfall der Fahrt eine Rolle. Des Weiteren ist zu diskutieren, ob spezielle Lieferzonen in Haltestellennähe errichtet werden können.

6.5 Analyse geeigneter Entladestationen

Auf Grundlage der Analyse des Schienennetzes wurden die Straßenbahnhaltestellen in Frankfurt auf ihre Eignung als Entladestation überprüft. Dabei wurden der Ausbau der Haltestelle (Bahnsteighöhe und die Zugangsmöglichkeiten), die kleinste Taktzeit sowie die vor Ort verfügbaren Platzverhältnisse für das Rangieren und ggf. Zwischenlagern von Transporteinheiten geprüft. Die vollständige Tabelle mit der Bewertung der Haltestellen im Untersuchungsgebiet ist der Anlage 4 zu entnehmen. Da die Nähe zum möglichen Zustellgebiet nur in Abhängigkeit der transportierten Güter und den Zielorten betrachtet werden kann, wurde dieses Kriterium bei dieser Analyse nicht überprüft.

Sowohl die Analyse der Taktzeiten, als auch die Experteninterviews mit der VGF, haben gezeigt, dass auf Strecken mit drei oder mehr verkehrenden Linien bereits eine hohe Auslastung besteht. Dies ist besonders auf den Strecken in der Frankfurter Innenstadt der Fall. Durch die hohe Taktfrequenz können zusätzliche Güterstraßenbahnen auf diesen Strecken zu Störungen und Verspätungen im Personennahverkehr führen. Daher wurden Haltestellen, die von drei oder vier Linien angefahren werden (Straßenbahn und Bus), als „ungeeignet“ eingestuft. Dadurch wurden Stationen wie z. B. „Willy-Brand-Platz“ oder „Römer“, die die Kriterien der Barrierefreiheit und der Platzverhältnisse erfüllen, als mögliche Stationen für die Entladung ausgeschlossen.

Bei der Betrachtung der Haltestellen und deren Typen zeigte sich deutlich, dass Haltestellen in Fahrbahnmitte als ungeeignet zu bewerten sind. Die Platzverhältnisse am Bahnsteig lassen hier eine Zwischenlagerung oder das Rangieren von Containern i.d.R. nicht zu. Für das Erreichen der Bahnsteige mit dem Lastenrad müssten zudem Fahrspuren des fließenden Verkehrs überquert werden. Das Halten auf dem Bahnsteig würde zu

¹²² Eigene Aufnahmen vom 24.07.2019

Behinderungen von wartenden Personen führen. Abbildung 30 (links) zeigt hierfür beispielhaft die Haltestelle „Nibelungenplatz (UAS)“. Des Weiteren zeigten sich Haltestellen, welche im Mischverkehr vom ÖPNV und dem fließenden Verkehr genutzt werden, als ungeeignet. Da die Gleise, wie am Beispiel der Haltestelle „Rennbahn“ (siehe Abbildung 30 rechts) zu sehen, in die Fahrbahn eingebettet sind, würden längere Standzeiten einer Güterstraßenbahn bei der Entladung zu Behinderungen des fließenden Verkehrs führen.



Abbildung 30: Beispiel für ungeeignete Haltestelle „Nibelungenplatz (UAS)“ (links) und „Rennbahn“ (rechts)¹²³

Als geeignete Haltestellen für die Entladung konnten Haltestellen mit eigenen Bahnkörpern identifiziert werden, an denen die Bahnsteigbreite mehr als 2,50 m beträgt und somit ausreichende Platzverhältnisse herrschen. Abbildung 31 zeigt dafür zwei Beispiele. Die Bahnsteige befinden sich hierbei seitlich des Gleiskörpers. Die Platzverhältnisse auf Bahnsteigen sind grundsätzlich als stark beschränkt einzustufen. Für die Zwischenlagerung von Transporteinheiten wurde daher auch der angrenzende öffentliche Raum oder Grünflächen in Betracht gezogen. Während sich die Straßenbahninfrastruktur (auch die Bahnsteigbereiche) im Eigentum des städtischen Verkehrsbetriebs befinden, sind bei der Nutzung angrenzender Flächen private Besitzer oder die städtischen Ämter, wie z. B. Straßenverkehrsamt oder Grünflächenamt, miteinzubeziehen.



Abbildung 31: Beispiel für geeignete Haltestelle „Buchrainplatz“ (links) und „Walter-Kolb-Siedlung“ Rechts)¹³⁰

¹²³ Eigene Aufnahmen vom 24.07.2019

Da im Rahmen der Schaffung der Barrierefreiheit die Haltestellen im ÖPNV sukzessiv um- und ausgebaut werden, wurden Stationen als „bedingt geeignet bewertet“, wenn nur das Kriterium der Barrierefreiheit (noch) nicht erfüllt ist. Hierzu zählen auch die Wendeschleifen und Betriebshöfe. Wie den Beispielen in Abbildung 32 zu sehen, sind die Einstiegshöhen an den Bahnsteigkanten anzupassen, um eine schnelle und sichere Entladung auch an diesen Haltestellen zu ermöglichen.

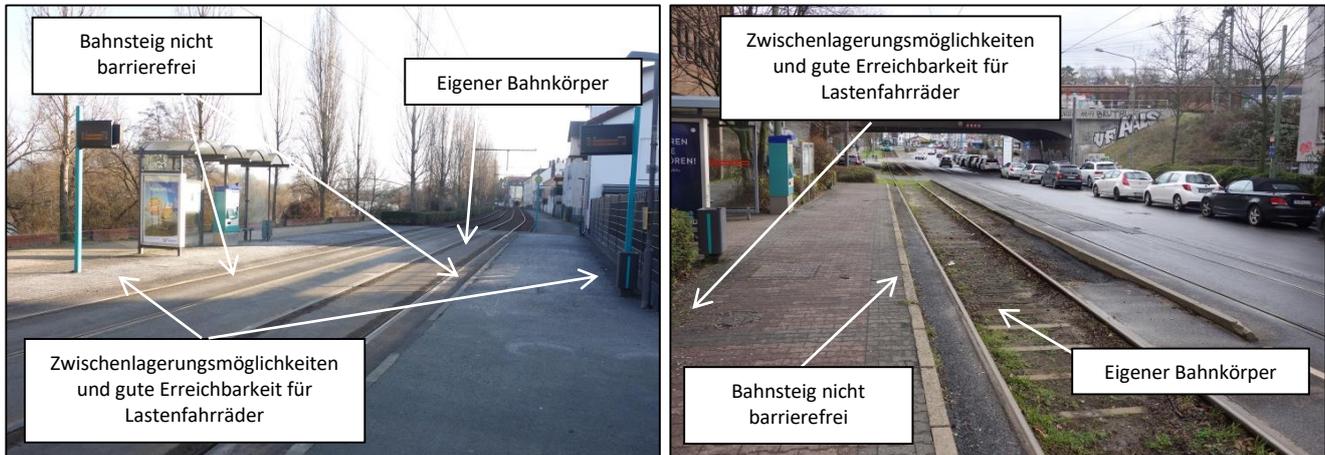


Abbildung 32: Beispiel für bedingt geeignete Haltestelle „Alt-Fechenheim“ und „Heister-/ Seehofstraße“¹²⁴

Wie in der Abbildung 33 zu sehen, konnten insgesamt zwölf Straßenbahnhaltestellen in Frankfurt identifiziert werden, die alle drei Kriterien für eine geeignete Station zur Entladung in beide Fahrtrichtungen erfüllen. Vier weitere Haltestellen erfüllen die Kriterien nur in einer Fahrtrichtung. Es konnten überwiegend Stationen in den äußeren Stadtteilen identifiziert werden. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass besonders in den Streckenästen die Taktfrequenz sinkt. Zudem ist in den Randgebieten die bauliche Verdichtung geringer, wodurch oftmals mehr Platz an den Haltestellen vorhanden ist. Werden auch die 17 „bedingt geeigneten“ Stationen zu den potenziellen Entladestationen hinzugezählt, steigt die Erschließungsqualität des Stadtgebiets deutlich.

Während die Nutzung von Haltestellen des ÖPNV für den Warenumsatz ein Konfliktpotenzial mit dem Fahrgastbetrieb mit sich bringt, ist besonders die Nutzung von nur betrieblich befahrenen Gleisabschnitten (z. B. Wendeschleifen oder Abstellgleisen) zu empfehlen. Die Einrichtung eigener Umschlagstationen wäre in diesem Fall für die Ladetätigkeiten optimiert und die Ladezeit wäre kurz, ohne wartende Fahrgäste zu beeinträchtigen. Dies ist jedoch mit einem erhöhten Investitionsaufwand verbunden. Zudem muss die Erreichbarkeit und die Anbindung an die bestehende Straßen- und Radinfrastruktur bei neuen Umschlagstationen gewährleistet werden.

¹²⁴ Eigene Aufnahmen vom 25.07.2019

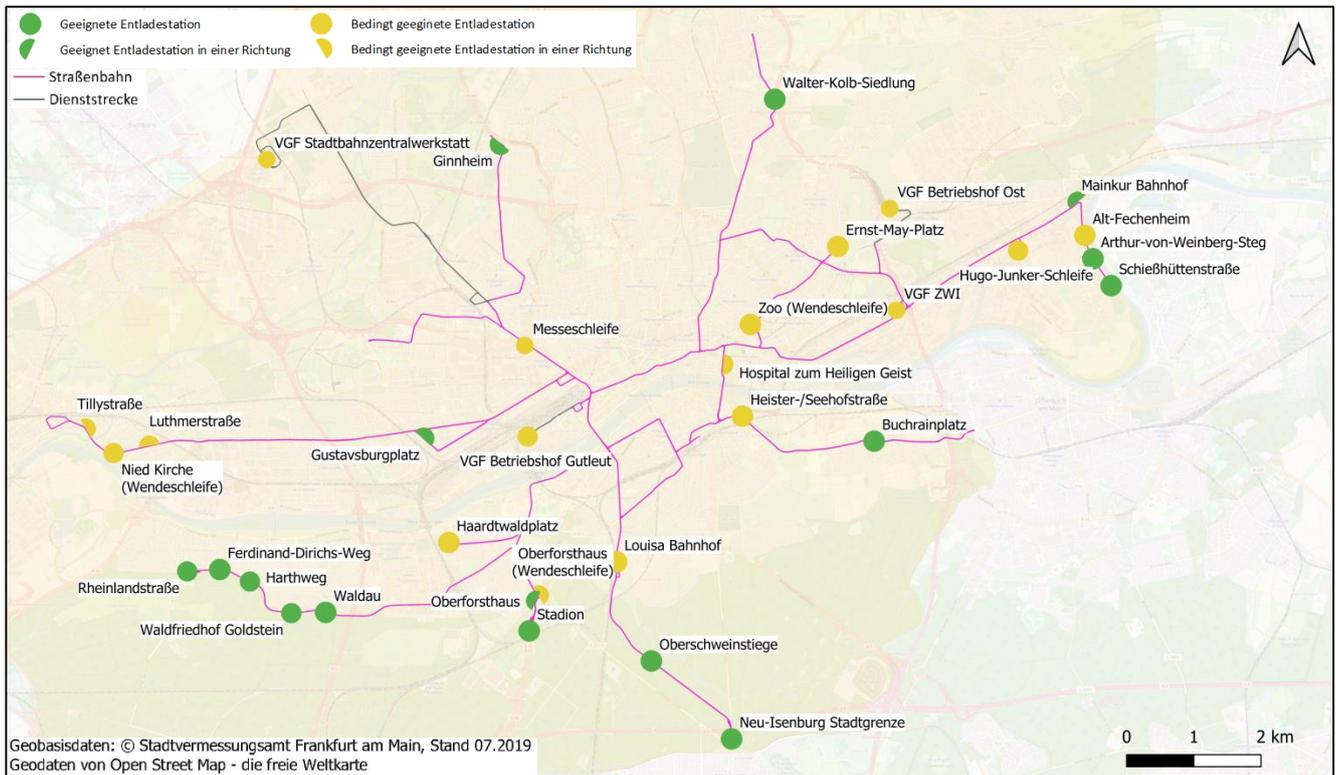


Abbildung 33: Frankfurter Straßenbahnnetz mit „geeigneten“ (grün) und „bedingt geeigneten“ (gelb) Haltestellen für die Entladung ¹²⁵

Die Standortanalyse hat gezeigt, dass es bereits geeignete Haltestellen im Straßenbahnnetz von Frankfurt für das Entladen gibt. Durch Umbaumaßnahmen von Bahnsteigen kann die Anzahl deutlich gesteigert werden. Potenzielle Stationen verteilen sich im Straßenbahnnetz, sodass eine großflächige Erschließung möglich ist. Wie auch bei der Beladung der Güterstraßenbahn stellt sich die Frage, wer den Umschlagevorgang bei der Entladung durchführt. Wie bereits erwähnt, ist zu klären, ob der öffentliche Raum (oder andere angrenzende Flächen) für die Zwischenlagerung genutzt werden können.

6.6 Transport von Paketen als Fallbeispiel

In diesem Abschnitt werden, anhand des Fallbeispiels der Paketauslieferung, mögliche Zielstandorte und Streckenverläufe einer Güterstraßenbahn aufgezeigt. Dazu wurden Daten von Hermes zu Sendungsmengen und Zustellgebieten in Frankfurt analysiert und mit den identifizierten Stationen, aus den Kapiteln 6.4 und 6.5, abgeglichen.

6.6.1 Identifizierung von Zielgebieten

Abbildung 34 zeigt die Gebäudenutzungen im Frankfurter Stadtgebiet. Es ist zu sehen, dass innenstadtnahe Stadtteile eine Mischung aus Wohnen, Einkaufsmöglichkeiten, Kultur- und Bildungseinrichtungen, sowie Bürogebäuden beinhalten. Größere Gewerbe- und Industrieflächen sind in den äußeren Bezirken zu finden. Es

¹²⁵ Eigene Darstellung

wird zudem deutlich, dass eine verstärkte Mischnutzung entlang von örtlichen Einkaufsstraßen, wie z. B. der Berger Straße (Stadtteile Bornheim und Nordend), oder Schweizer Straße (Stadtteil Sachenshausen), vorliegt.

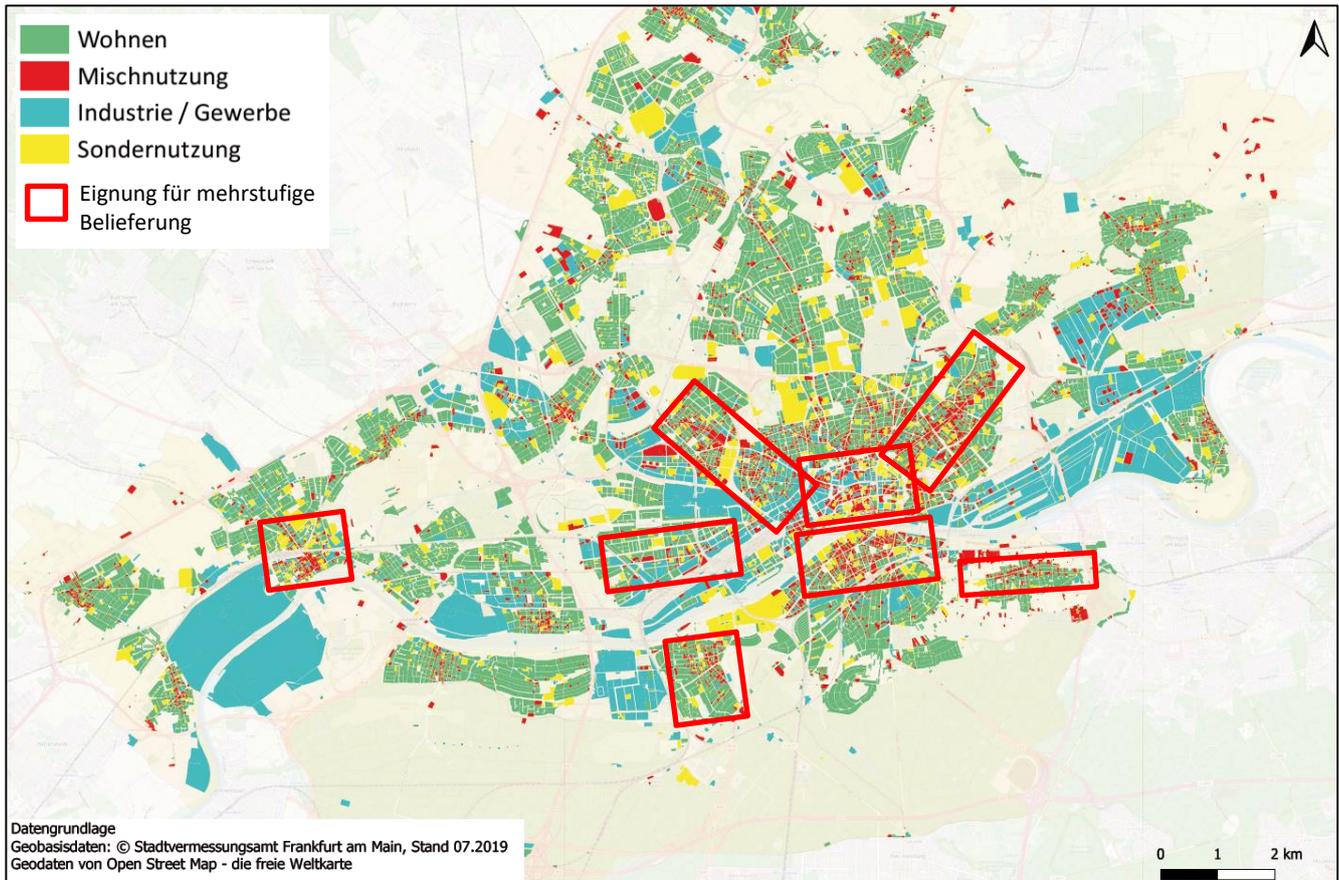
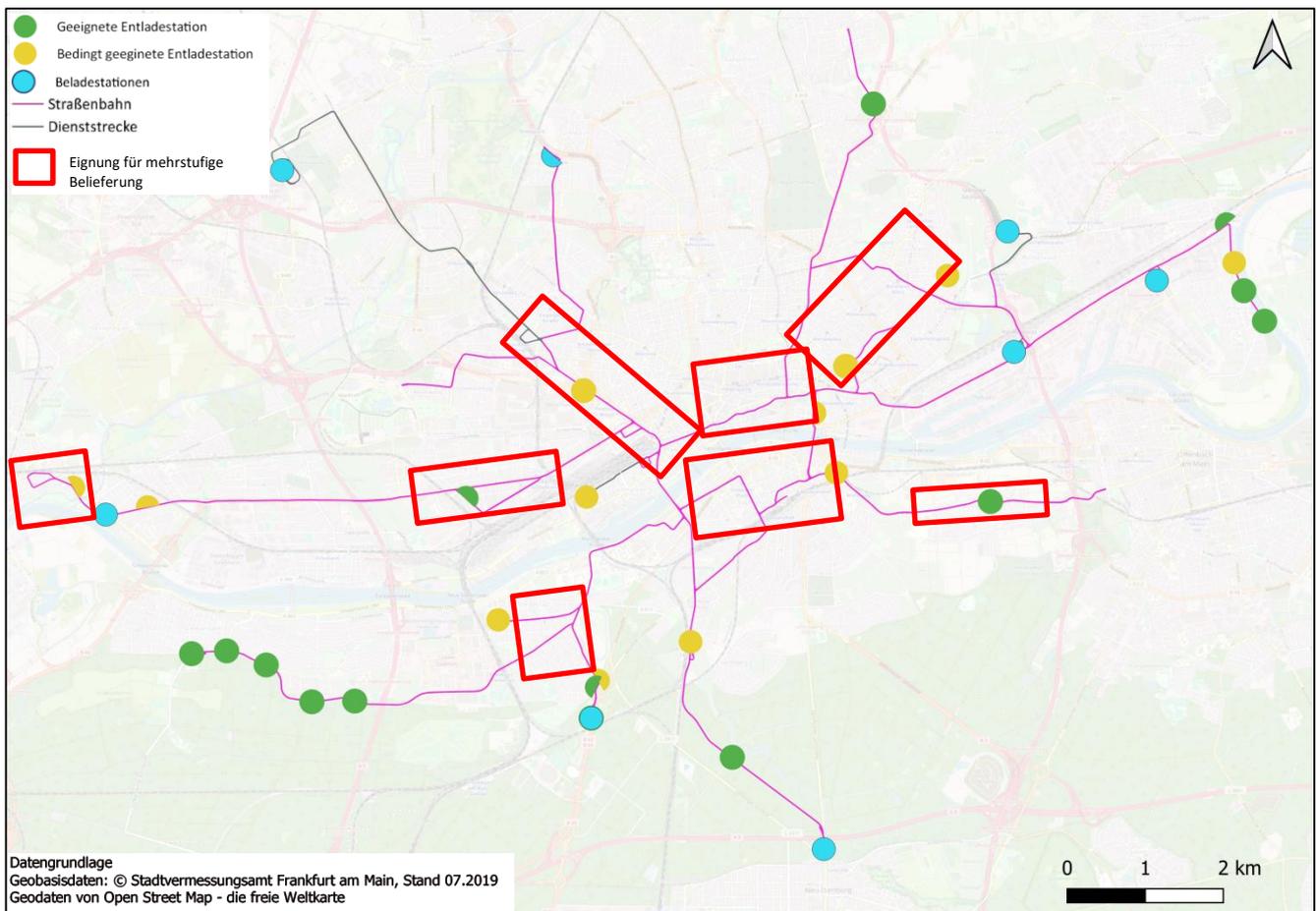


Abbildung 34: Stadtgebiet Frankfurt am Main mit Gebäudenutzungen ¹²⁶

Unabhängig vom KEP-Dienstleister konnte bereits im Forschungsprojekt „Wirtschaftsverkehr 2.0: Analyse und Empfehlungen für Belieferungsstrategien der KEP-Branche im innerstädtischen Bereich (2017)“, anhand von Mitfahrten bei verschiedenen KEP-Dienstleistern, Stadtgebiete identifiziert werden, die sich grundsätzlich für eine mehrstufige Belieferung eignen. Dazu gehörten sogenannte „City- und Mischgebiete“. Diese Gebiete weisen eine hohe Verdichtung auf. Bei der aktuellen Zustellung wird hier eine hohe Anzahl an Paketen und Kunden pro Haltevorgang bedient. Die rot markierten Bereiche in Abbildung 34 zeigen die Gebiete, die sich besonders für eine mehrstufige Belieferung eignen.

Abbildung 35 zeigt die identifizierten Stationen zur Be- und Entladung mit Überlagerung der zuvor benannten Mischgebiete. Es ist deutlich erkennbar, dass die „geeigneten“ und „bedingt geeigneten“ Haltstellen die Mischgebiete erschließen. Das Frankfurter Straßenbahnnetz kann daher für den Anwendungsfall der Paketzustellung grundsätzlich als qualifiziert bewertet werden. Da sich die einzelnen KEP-Dienstleister jedoch teilweise stark in ihrer Zielkundschaft (B2B oder B2C) unterscheiden, müssen weitere Überprüfungen der Zielgebiete stattfinden.

Abbildung 35: Identifizierte Stationen und Mischgebiete¹²⁷

Sendungsdichte am Beispiel Hermes Germany

Für die Betrachtung wurde die beispielhafte Sendungsmenge eines Wochentags von Hermes Germany vom Depot in Hanau nach Frankfurt betrachtet. Im Durchschnitt werden von diesem Depot etwa 33.000 Pakete täglich zur Feinsortierung zu weiteren Depots nach Frankfurt per Lkw geliefert. Wie der Abbildung 36 zu entnehmen ist, fehlen die Daten zur Sendungsdichte in den westlichen Stadtgebieten Frankfurts. Die Betrachtung der Sendungsmenge, bezogen auf die Stadtteilgröße (=Sendungsdichte), bestätigt die hohe Anzahl von Paketen in der Innenstadt und den innenstadtnahen Mischgebieten. Eine Paketzustellung auf der „letzten Meile“ per Lastenfahrrad ist in diesen Gebieten/Stadtteilen zu empfehlen.

In Abbildung 36 ist zudem zu erkennen, dass das Straßenbahnnetz fast alle Stadtteile mit einer erhöhten Sendungsdichte (≥ 60 Pakete/km²) erschließt. Lediglich die nördlich gelegenen Stadtteile „Dornbusch“ und „Eckenheim“ sind nicht an das Netz angeschlossen. Diese werden von der U-Bahn erschlossen.

¹²⁷ Eigene Darstellung

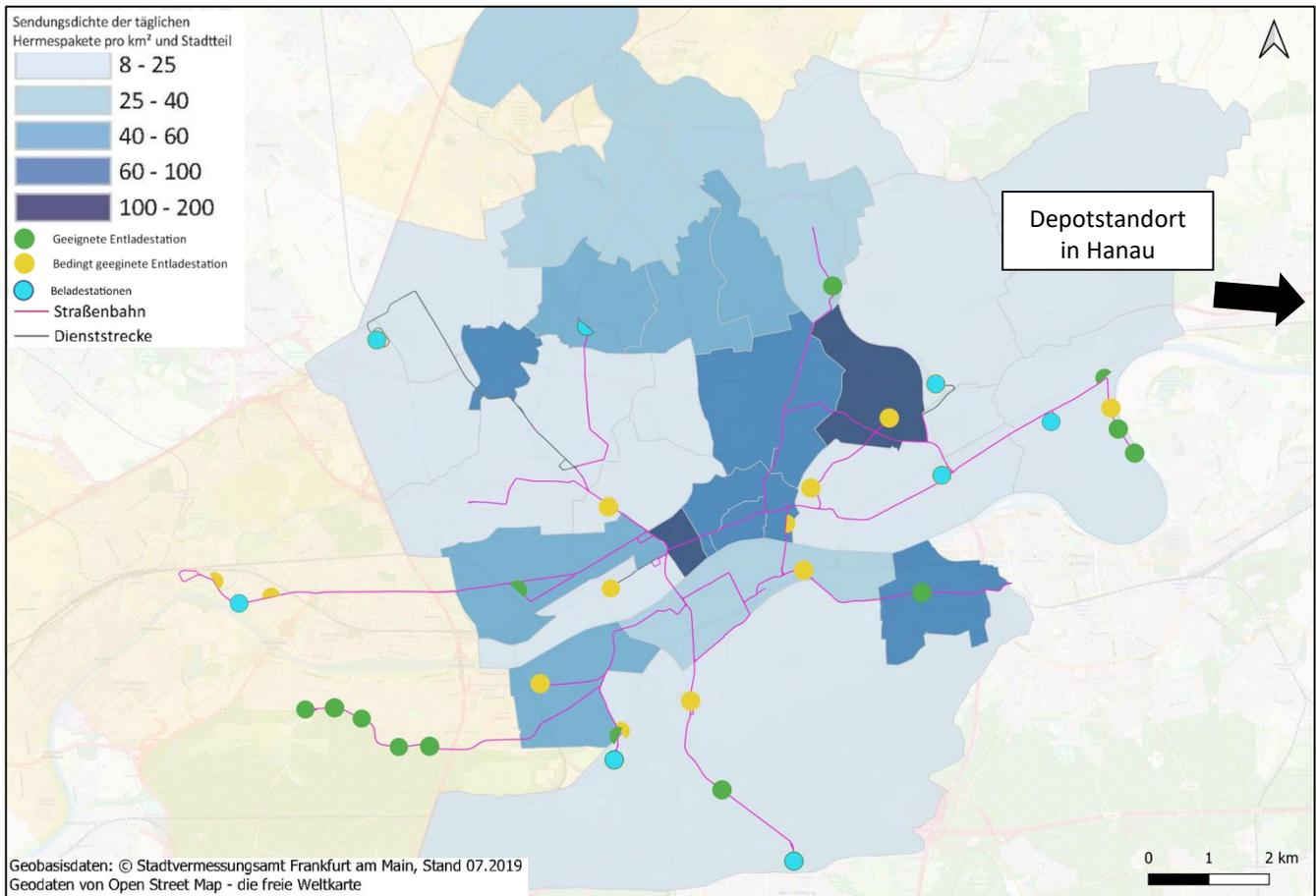


Abbildung 36: Sendungsdichte der täglichen Hermespakete pro km² und Stadtteil und Straßenbahnnetz ¹²⁸

Bei der Betrachtung der identifizierten Stationen zur Be- und Entladung zeigt sich, dass sich eine großflächige Abdeckung des Zustellgebiets, am Beispiel Hermes Germany, über die Kombination von Güterstraßenbahn und Lastenfahrrad auf der „letzten Meile“ in Frankfurt ermöglicht wird. Bei der Zustellung per Lastenrad wird, ausgehend vom Forschungsprojekt KoMoDo¹²⁹, ein Zustellradius von 3 km für das Lastenfahrrad angenommen. Somit besteht in diesen Gebieten das Potenzial für die Einsparung von konventionellen Lieferfahrzeugen. Es ist jedoch zu beachten, dass mit dem Lastenfahrrad nur kleine bis mittelgroße Pakete transportiert werden können. Größere Pakete, die nicht für den Transport mit dem Lastenfahrrad auf der letzten Meile geeignet sind, sowie Sperrgut, müssten weiterhin mit einem Lieferfahrzeug zugestellt werden.

6.6.2 Streckenkonzept für die Innenstadtbelieferung

Bei der Erstellung von Streckenkonzepten sind, vor allem bei Gleiskreuzungen und Wendeschleifen, die Richtungsmöglichkeiten zu prüfen. Abbildung 37 (links) zeigt beispielhaft die Kreuzung Saalburg-/ Wittelsbacherallee. Hier sind nur zwei Kreuzungsweichen vorhanden, sodass ein Abbiegen mit der Straßenbahn

¹²⁸ Eigene Darstellung

¹²⁹ LNC LogisticNetwork Consultants GmbH o.J..

nicht in alle Richtungen möglich ist. Auch am Beispiel der „Nied Kirche Wendeschleife“ (Abbildung 37 rechts) ist zu sehen, dass ein Ein- und Ausfahren in das Wendegleis nur aus östlicher Richtung möglich ist.



Abbildung 37: Kreuzung Saalburg-/ Wittelsbacherallee (links) Wendeschleife „Nied Kirche Wendeschleife“ (rechts) ¹³⁰

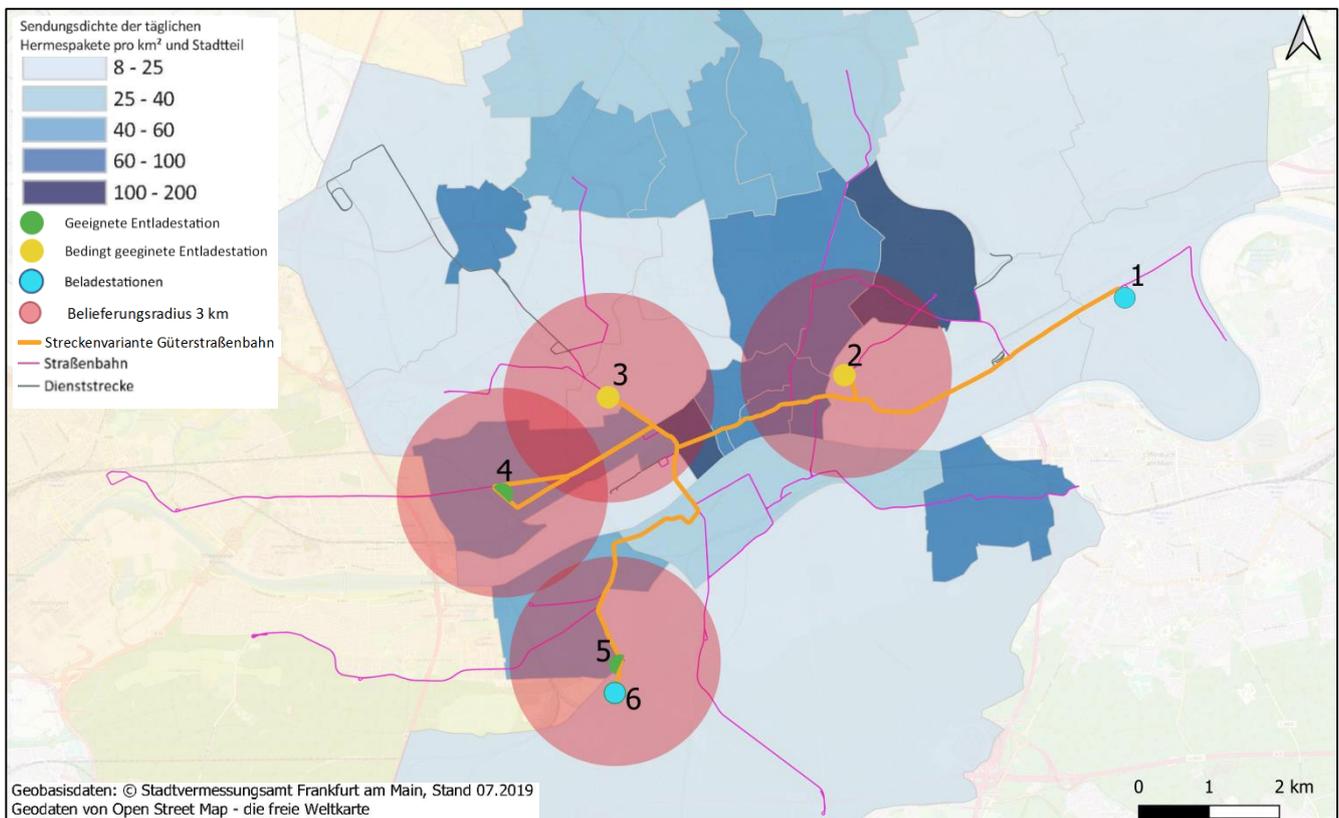


Abbildung 38: Streckenkonzept für die Innenstadtbelieferung ¹³¹

¹³⁰ Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main 2019.

¹³¹ Eigene Darstellung

Der Umschlag findet dabei an Punkt 1 (Hugo-Junker-Straße/Schleife) statt. Dieser wurde ausgewählt, da dieser Standort im Osten Frankfurts eine gute Erreichbarkeit vom Hermes Germany Depot in Hanau bietet. Die Wendeschleifen „Zoo“ (Punkt 2) und „Messeschleife“ (Punkt 3) ermöglichen einen möglichst innenstadtnahen Umschlag auf das Lastenfahrrad. Hier sind längere Standzeiten möglich. Wie bereits bei der Standortanalyse erläutert, sind Entladerampen hierfür zu installieren. Die Haltestellen an Punkt 4 (Gustavsburgplatz) und Punkt 5 (Oberforsthaus) können im jetzigen Zustand für den Umschlag genutzt werden. Durch diese Haltestellen werden auch die Stadtteile „Gallus“ und „Niederrad“, die ebenfalls eine hohe Sendungsdichte ausweisen, erschlossen. Endpunkt des Streckenbeispiels ist am „Stadion“ (Punkt 6). Von hier können z. B. neue Transportboxen in die Straßenbahn geladen und eine neue Route gestartet werden.

6.7 Fazit der Standortanalyse

Eine Analyse des Straßenbahnnetzes in Frankfurt hat gezeigt, dass die vorhandene Infrastruktur des ÖPNV für das Umschlagen von Waren an vielen Standorten geeignet ist. Im Rahmen des Projekts wurden Kriterien für die Be- und Entladung definiert. Entscheidend ist, dass der Fahrgastbetrieb nicht gestört wird. Daher sind besonders Linien und Haltestellen mit geringer Taktichte geeignet. Zudem sind die Platzverhältnisse und der Ausbau des Bahnsteigs wichtige Kriterien. Werden Rollencontainer oder ähnliche Medien für den Transport in einer Straßenbahn eingesetzt, müssen die Bahnsteige einen ebenerdigen Ein- bzw. Ausstieg ermöglichen. Die Nutzung von nur betrieblich befahrenen Gleisabschnitten (z. B. Fahrzeugdepots, Wendeschleifen oder Abstellgleisen) ist zu empfehlen, da hier auch längere Standzeiten möglich sind. Rampen für den Umschlag sind hier jedoch zusätzliche Investitionskosten.

Das erarbeitete Streckenkonzept zeigt, dass große Gebiete Frankfurts durch die Kombination von Güterstraßenbahn und Lastenfahrrad, am Beispiel der Pakettlieferung von Hermes Germany, umweltfreundlich erschlossen werden können.

7 Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit

Der Pilotversuch hat gezeigt, dass die bestehenden Transportboxensysteme von Lastenfahrrädern nicht für den Transport und den Umschlag in einer Güterstraßenbahn optimiert sind. Sowohl für einen effektiven Transport von Kleingütern, als auch als Schnittstelle zwischen den involvierten Transportmitteln und der städtischen Infrastruktur, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts Ansätze für eine standardisierte Transporteinheit entworfen. Dabei lag der Fokus auf dem Transport der Einheit in der Straßenbahn und der temporären Zwischenlagerung im öffentlichen Raum. In Kooperation mit der Hochschule für Gestaltung in Offenbach am Main (HfG) wurden zwei Prototypen entwickelt. Diese werden nachfolgend, im Anschluss an die im Forschungsprojekt ermittelten Rahmenbedingungen, vorgestellt.

7.1 Bestehende Transportboxensysteme

Eine Analyse vorhandener Lastenräder und den zugehörigen Transportboxensystemen hat gezeigt, dass es bereits eine Vielzahl einsatzfähiger Modelle gibt. Teilweise unterscheiden diese sich stark im Aufbau und dem Ladevolumen. Gerade bei den größeren Modellen werden oftmals Wechselcontainer eingesetzt, die sich auf Rollen bewegen lassen. Hier beträgt das Ladevolumen i.d.R. zwischen 1,5 - 2,0 m³. Zum Schutz des Fahrers gibt es bei vielen Modellen ein Dach. Um die Sicht des Fahrers nicht einzuschränken, sind die Transportboxen bei fast allen Varianten hinter dem Fahrerstand platziert. Teilweise werden auch Anhänger mit einer Auflaufbremse verwendet.

Abbildung 39 zeigt eine beispielhafte Auswahl von bestehenden Transportboxensystemen. Wie bereits im Kapitel 5.4 Pilotversuch beschrieben, wurden bereits die Transportboxen von Riemann Produktdesign, wie auch der Armadillo getestet.



Abbildung 39: Beispiele für bestehende Lastenradcontainer (von links: Riemann Produktdesign¹³²; Armadillo von Velove¹³³; Movr von Rytle¹³⁴; ONO¹³⁵)

¹³² Eigene Aufnahme vom 08.04.2019.

¹³³ Eigene Aufnahme vom 10.04.2019.

¹³⁴ RYTLE GmbH o.J..

¹³⁵ Tretbox GmbH o.J..

Im Projekt konnte festgestellt werden, dass eine Verladung von bestehenden Transportboxensystemen in eine Straßenbahn möglich ist. Jedoch zeigt sich im Handling und Sicherung der Transportboxen Verbesserungsbedarf. Insgesamt hat sich gezeigt, dass aktuell keines der bestehenden Transportboxensysteme für den Einsatz mit einer Güterstraßenbahn optimiert ist. Durch die Vielzahl von bestehenden Lastenrädern und Transportboxen, müssten individuelle Lösungsmöglichkeiten für den Umschlag und die Zwischenlagerung entwickelt werden. Daher wird die Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit, die mit mehreren Lastenrädern kompatibel ist, empfohlen. Dadurch können die Logistikprozesse einfacher, schneller und sicherer gemacht werden, was zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit führt. Nachfolgend wurden Anforderungskriterien an eine Transporteinheit für die Güterstraßenbahn zusammengestellt.

7.2 Anforderungskriterien

Sowohl durch die Literaturrecherche, die Experteninterviews, als auch den Pilotversuch, konnten Anforderungen an eine standardisierte Transporteinheit gesammelt werden. Grundsätzlich ist bei der Entwicklung einer geeigneten Transporteinheit der gesamte Logistikkreislauf zu betrachten, innerhalb dem, z. B. ein Paketstrom, durch verschiedene Verkehrsmittel an bestimmten Stationen vorbeigeführt wird.

Abmessungen

Die Abmessungen ergeben sich aus verschiedenen Randbedingungen. Die Wechselbrücken europäischer Lkw sind auf die Maße der Europalette (120cm x 80cm) abgestimmt. Bei der Verladung in eine Straßenbahn sind die Maße der Türöffnung maßgebend: Breite = 1,30 m; Höhe = 2,00 m. Dabei ist auch ein Puffer für das Rangieren zu beachten.

Die Abmessungen bestehender Transportboxensysteme unterscheiden sich vor allem in der Länge und Höhe. Die Breite ist hingegen sehr ähnlich und ähnelt der Breite der Europalette (vgl. Abbildung 40).

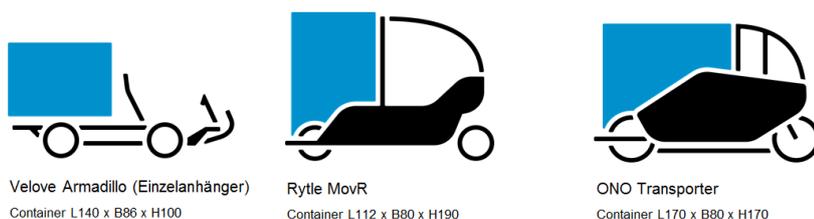


Abbildung 40: Vergleich der Abmessungen bestehender Transportboxensysteme¹³⁶

Bei der Entwicklung einer standardisierten Transporteinheit ist daher ein **modularer Aufbau empfehlenswert**, welcher sich **an den Maßen der Europalette orientiert**. Die Einheit sollte zudem **mit mehreren Lastenradtypen kompatibel** sein. Durch den modularen Aufbau kann die Transporteinheit hinsichtlich der Produkteigenschaften und Funktionen standardisiert, jedoch für die Ladevorrichtung des Lastenfahrads und dem Transportgut individualisiert werden (siehe Abbildung 41).

¹³⁶ Porstner u. Qu 2019.



Abbildung 41: Beispiel für den modularen Aufbau bei drei unterschiedlichen Lastenfahrrädern ¹³⁶

Das Transportvolumen sollte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit $1,0 \text{ m}^3$ nicht unterschreiten. Zudem sollte diese auch nicht zu groß sein, damit das Handling im voll beladenen Zustand nicht beeinträchtigt wird. Des Weiteren ist die maximale Traglast der Straßenbahn zu beachten, die bei 450 kg pro m^2 liegt. Bei schweren Lasten ist die gleichmäßige Verteilung und ordnungsgemäße Sicherung der Transporteinheit von besonderer Bedeutung.

Handling

Die **Rangierfähigkeit** der Transporteinheit ist ein entscheidendes Kriterium bei den Umschlagevorgängen. Die Transporteinheit muss auch im voll beladenen Zustand noch **von einer Person bewegt werden können**. Die Feldversuche haben gezeigt, dass **Rollensysteme** eine geeignete Lösung darstellen. Für ein optimales Handling sollten diese um **360 Grad drehbar** sein und ggf. über eine **Feststellbremse** verfügen. Die Rollen sollten zudem nicht zu klein sein, um Spalten zwischen der Bahnsteigkante und der Straßenbahn bewältigen zu können. Für das einfache Rangieren sollte die Transporteinheit über **Griffe an allen Seiten** verfügen.

Neben der Rangierfähigkeit ist auch das Be- und Entladen der Transporteinheit selbst mit Gütern zu betrachten. Um effiziente Logistikprozesse zu ermöglichen, muss ein **einfaches Befüllen und Entnehmen** gewährleistet sein. Die **Öffnung** sollte daher **nicht zu klein** sein, um z. B. auch größere Pakete schnell einsortieren zu können. Dabei ist das Befüllen und Entnehmen unter arbeitsergonomischen Gesichtspunkten zu prüfen. Das Entnehmen aus einer am Boden stehenden Kiste (siehe Abbildung 39: Riemann Produktdesign) ist hierbei kritisch zu sehen. Um ein schnelles Öffnen der Transporteinheit zu ermöglichen, sollten die Transportboxen über ein **schlüsselloses Zugangssystem** verfügen. **Zwischenböden** erleichtern das Sortieren von Paketen. Diese sollten herausnehmbar, oder umklappbar sein um ggf. größere Güter transportieren zu können.

Beständigkeit

Um eine Langlebigkeit der Transporteinheit zu gewährleisten, muss diese **stabil und robust** konstruiert werden. Sie muss täglichen Belastungen im Einsatz standhalten können. Dazu zählt auch die **Witterungsbeständigkeit**. Die Transporteinheit muss zudem **wasserdicht** sein, um die Güter vor Beschädigungen zu schützen. **Hochwertige Rollensysteme und Schließmechanismen** an der Tür sollten verwendet werden, um die Störanfälligkeit und den Wartungsaufwand zu reduzieren. Werden die Transportboxen im öffentlichen Raum zur Zwischenlagerung abgestellt, müssen diese zudem **sicher gegen möglichen Vandalismus** und Einbruch sein.

Befestigung

Bei der Betrachtung von Transporteinheiten ist auf die sichere Befestigung bei allen Schritten des Transports zu achten. Rollbare Transportboxensysteme können beim Transport **im Lkw durch Sperrstangen** fixiert werden. Hier sind keine zusätzlichen Befestigungsmaßnahmen notwendig. Der Innenraum einer Straßenbahn ist hingegen nicht für den Transport von Gütern oder Waren ausgelegt. Da das Be- und Entladen der Straßenbahn aufgrund des engen Fahrplans zügig erfolgen muss, müssen sich die **Transporteinheiten hier schnell fixieren und lösen** lassen. Auch für die **Zwischenlagerung am Bahnsteig sind Befestigungsmaßnahmen zu installieren**. Diese dürfen jedoch kein Unfallrisiko, z. B. Stolpergefahr, darstellen. Zudem müssen sie vor Missbrauch und Vandalismus geschützt sein. Beim Transport mit dem Lastenrad muss auch hier eine sichere Befestigung gewährleistet werden.

Design

Das Design sollte für den Benutzer eine **intuitive Benutzung vermitteln**. Wird der Container am Bahnsteig oder im öffentlichen Raum zwischengelagert, sollte er möglichst nicht als Fremdkörper wirken, sondern sich **in den Raum einfügen**. Hier kann z. B. durch die Farbgebung oder einem Branding die Akzeptanz gesteigert werden. Bei der Gestaltung des Produkts sollten, mit Blick auf Umweltaspekte, **nachhaltige Materialien** verwendet werden.

7.3 Entwickler Prototyp¹³⁷

Bei der Entwicklung der Prototypen für eine standardisierte Transporteinheit flossen die eben definierten Anforderungskriterien ein. Wie in der Abbildung 42 zu sehen ist, wurden die Transportboxen auf Grundlage eines modularen Aufbaus, in zwei Größen entworfen und hergestellt. Sie verfügen über drehbare Rollen, Zwischenböden und Griffmulden an allen Seiten. Das System ist komplett achsensymmetrisch aufgebaut.



Abbildung 42: Animierte Darstellungen der entwickelten Transporteinheit¹³⁸

Bei der Entwicklung wurde unter anderem die Öffnung der Transportboxen besonders beachtet. Diese ist für das Befüllen und Entnehmen von Waren wichtig. Im Gegensatz zu einer Schiebetür kann eine Flügeltür in

¹³⁷ Die Prototypen wurden im Rahmen eines Studienprojekts, unter der Betreuung von Prof. Peter Eckart, an der Hochschule für Gestaltung in Offenbach am Main, von Lukas Porstner und Hui Qu entwickelt.

¹³⁸ Porstner u. Qu 2019.

Engstellen zwar schnell selbst zum Hindernis werden, allerdings öffnet sie auch die komplette Längsseite, wohingegen eine Schiebetür stets eine Hälfte blockiert. So würde eine Schiebetür den Transport von größeren Gütern verkomplizieren und das funktionale Potenzial der Transporteinheit unnötig limitieren. Ein Rolltor könnte dieses Problem lösen, allerdings ist ein Rolltor konstruktiv weitaus komplexer als eine Schiebe- oder Flügeltür und dadurch sowohl teurer als auch mechanisch anfälliger. Aus den genannten Gründen wurden daher Flügeltüren ausgewählt

Für die beiden Prototypen wurden pulverbeschichtete Blechelemente, die miteinander verschweißt oder vernietet sind, verwendet. Durch eine angemessene Materialdicke und entsprechender Kantung bzw. Sicking, benötigt der Container keine weiteren stabilisierenden Elemente wie bspw. einen Metallrahmen. Die Griffmulden bestehen aus tiefgezogenem Kunststoff. Die optionalen Zwischenböden sind in die Verschalung eingehängt.

Die farbige Fläche des Transportboxensystems ermöglicht eine Kontextualisierung bzw. Personalisierung durch die involvierten Akteure. Dabei kann es sich um eine Textilbanderole, eine Lackbeschichtung oder eine Folie handeln. Wie in Abbildung 43 gezeigt, kann die Fläche auch als Kommunikationsschnittstelle fungieren und bspw. das Prinzip hinter der Güterstraßenbahn erklären.



Abbildung 43: Beispiel für das Branding¹³⁸

Abbildung 44 zeigt die beiden hergestellten Prototypen beim Funktionstest im VGF-Depot Gutleut. Dabei wurden Ein- und Ausladevorgänge in eine Straßenbahn „Typ-S“ simuliert. Die beiden Transportboxen konnten trotz Windfang im Mehrzweckabteil positioniert werden. Insgesamt kann das Handling der entwickelten Transportboxen auf dieser Grundlage als positiv bewertet werden. Weiterentwicklungsbedarf besteht in der Gewichtsreduzierung. Ein Funktionstest mit Lastenfahrrädern konnte im Rahmen des Projekts nicht realisiert werden.



Abbildung 44: Hergestellte Prototypen im Funktionstest¹³⁹

¹³⁹ Aufnahmen Kai Dreyer, Hochschule für Gestaltung in Offenbach am Main; 21.11.2019.

Befestigungssystem

Im Rahmen des Studienprojekts mit der HfG wurden zwei verschiedene Lösungsansätze für die Befestigung in der Straßenbahn und zur Zwischenlagerung am Bahnsteig ausgearbeitet und diskutiert. Abbildung 45 zeigt die schematische Darstellung der beiden Befestigungsvarianten im Bahnsteigbereich.



Abbildung 45: Schematische Darstellung von zwei möglichen Befestigungslösungen der Transportboxen¹⁴⁰

Variante 1 sieht den Einsatz eines Metallrahmens vor. Mit Hilfe von gefederten Sperrbalken lassen sich die Transportboxen in diesem Rahmen positionieren und arretieren. Der Vorteil: Die Rahmen lassen sich, ähnlich wie Fahrradbügel, leicht installieren. Entsprechend können sie aber auch missbräuchlich genutzt werden, z.B. für das Anschließen von Fahrrädern am Bahnsteig. In einem solchen Fall wäre eine Nutzung für die Zwischenlagerung der Transportboxen nicht mehr möglich.

In Variante 2 wird ein Bolzen an der Unterseite der Transporteinheit vorgesehen, der mittels eines Schnappschlosses verbunden wird. Über ähnliche Befestigungsmechanismen verfügen auch bestehende Transportboxen für die Arretierung auf dem Lastenrad. Kann ein Bolzen für beides genutzt werden, sind lediglich Bodenschienen in der Güterstraßenbahn und im Bahnsteigbereich zu installieren. Das Störpotenzial würde damit vergleichsweise gering ausfallen.

7.5 Fazit von Transporteinheiten

Obwohl es bereits eine Vielzahl an Lastenfahrrädern mit Transporteinheiten gibt, wurden bislang keine Transportboxen speziell für den Transport in einer Güterstraßenbahn konzipiert. Im Rahmen des Forschungsprojekts konnten übertragbare Anforderungskriterien, speziell für den Transport von Kleingütern/Paketen, zusammengetragen werden. Auf dieser Grundlage wurden zwei Prototypen entworfen und hergestellt. Für eine Serienproduktion müssen diese noch weiterentwickelt und in Modellversuchen getestet werden.

¹⁴⁰ Porstner u. Qu 2019.

8 Vergleichsberechnungen

In diesem Kapitel werden zwei Szenarien vorgestellt:

- das LastMileTram-Szenario (LMT-Szenario) und
- das Transporter-Szenario (T-Szenario).

Die Abläufe beider Szenarien werden beschrieben. Es findet sowohl eine Kostenberechnung als auch eine Berechnung der CO₂-Emissionen statt. Abschließend werden sie gegenübergestellt und verglichen.

8.1 LastMileTram-Szenario

Zunächst wird in diesem Abschnitt der Ablauf einer Zustellung mittels LastMileTram beschrieben und auf die damit zusammenhängenden Herausforderungen und Besonderheiten eingegangen. Daran anschließend werden die Kosten des Zustellprozesses mithilfe der LastMileTram berechnet. Es folgt eine Berechnung der entstehenden CO₂-Emissionen.

8.1.1 Ablauf

Durch eine Zustellung mittels LastMileTram entstehen drei Transportabschnitte. Sie sind wie folgt gegliedert (Abbildung 46):

1. Transportabschnitt 1: Transport vom Depot des KEP-Dienstleisters zur Station, an der die LastMileTram mit den Sendungen beladen wird.
2. Transportabschnitt 2: Transport mit der LastMileTram von der Beladestation bis zur Entladestation.
3. Transportabschnitt 3: Beladung der eLastenräder und Zustellung der Sendungen.

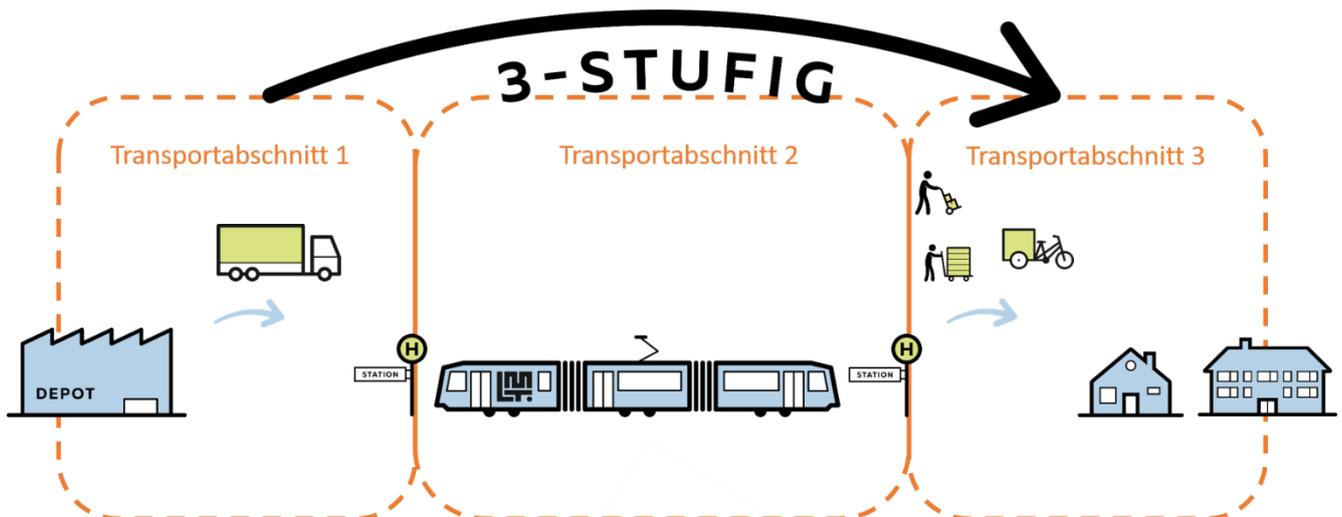


Abbildung 46: LMT-Szenario: Transportabschnitte 1-3¹⁴¹

¹⁴¹ Eigene Darstellung

Die Kostenberechnung wie auch die Berechnung der CO₂-Emissionen werden auf Basis einer ausgewählten Strecke durchgeführt. Die Auswahl der Strecke basiert auf den in Kapitel 6 gewonnenen Erkenntnissen.

Für die Berechnung wird die Station „Hugo-Junker Straße/Schleife“ zur Beladung der Transportboxen ausgewählt. Sie liegt am östlichen Stadtrand Frankfurts. Von hier kann die maximale Strecke ins Zustellgebiet überbrückt werden. Von dieser Station verkehrt nur eine Linie (12) und es existiert ein Abstellgleis, auf das ausgewichen werden kann. Zudem gibt es Haltemöglichkeiten für den Wirtschaftsverkehr. Die Station liegt am nächsten zum Depot von Hermes in Hanau. Von dort wird die Güterstraßenbahn bis zur „Messeschleife“ fahren. Dies ist eine Wendeschleife, die sich in einem Mischgebiet befindet. Da sie nicht für den Regelbetrieb genutzt wird, eignet sie sich, um zur Be- und Entladung längere Zeit halten zu können. Es gibt außerdem Haltemöglichkeiten für eLastenräder. Die Distanzen sind folgende:

1. Hanau Depot – Hugo-Junkers Schleife = 22,4 km (einfach)
2. Hugo-Junkers Straße/Schleife – Messeschleife = 14,1 km (einfach)

Die Transportboxen werden im Depot des KEP-Dienstleisters Hermes in Hanau für die Zustellung mit Sendungen beladen. Danach übernimmt ein Lkw den Transport der mit Sendungen gefüllten Transportboxen zur Hugo-Junkers Straße/Schleife. Dort werden die Transportboxen in die LastMileTram geladen. Die LastMileTram begibt sich zur Messeschleife, wo eLastenräder die Transportboxen übernehmen und die Sendungen zugestellt werden.

Für die Analysen wurden einige Annahmen getroffen (Tabelle 9).

Eine umgebaute LastMileTram (Typ S-Wagen) kann nach Entfernen aller Sitzmöglichkeiten 40 Transportboxen transportieren. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass eine LastMileTram bei jedem Rückweg einer Tour 40 leere Transportboxen retourniert.

Aus den Experteninterviews und durch die gewonnenen Erfahrungen aus der Pilotphase konnte herausgefunden werden, dass eine Transportbox im Durchschnitt 60 Pakete fassen kann.

Die Auswertungen eines vorangegangenen Forschungsprojektes¹⁴² ergaben, dass in dem Stadtteiltyt City durchschnittlich 182 Pakete pro Tagedtour per Zustellfahrzeug zugestellt wurden. Im Mischgebiet wurden durchschnittlich 126 Pakete zugestellt. Für die Analysen wurde daher ein durchschnittlicher Wert von 150 Paketen pro Zustellfahrzeug pro Tag angenommen. Damit kann ein Zustellfahrzeug mit durchschnittlich 2,5 Transportboxen ersetzt werden.

Im ersten Transportabschnitt, der mit einem Lkw mit 12t Gesamtgewicht durchgeführt wird, können 17 Transportboxen in das Fahrzeug geladen werden.¹⁴³

¹⁴² Schäfer et al. 2017.

¹⁴³ Spedition Kobusch.

Tabelle 9: LMT-Szenario: Stammdaten¹⁴⁴

	Anzahl	Einheit
LastMileTram (Typ: S-Wagen) umgebaut	40	Transportboxen
1 Transportbox	60	Pakete
1 Tagestour per Zustellfahrzeug im Stadtteiltyp City und Mischgebiet im Durchschnitt	150 ¹⁴⁵	Pakete
1 Tagestour per Zustellfahrzeug	2,5	Transportboxen
1 Lkw (12 Tonnen)	17 ¹⁴⁶	Stellplätze für Transportboxen

In Frankfurt sind täglich 253¹⁴⁷ Zustellfahrzeuge unterwegs. Davon stellen 89¹⁴⁸ im Innenstadtbereich Sendungen zu. Um die Lieferkapazität von 89 Fahrzeugen im Innenstadtbereich zu ersetzen, müssten 223 Transportboxen eingesetzt werden. In einem vorangegangenen Forschungsprojekt wurde ermittelt, dass in den Stadtteiltypen „City“ und „Mischgebiet“ eine 2-stufige Zustellung geeignet ist. Daher sollen lediglich die 89 Fahrzeuge und nicht alle 253 Zustellfahrzeuge ersetzt werden. Diese 89 Fahrzeuge umfassen alle KEP-Dienstleister im Raum Frankfurt. Für die folgenden Berechnungen wird jedoch davon ausgegangen, dass die 89 Fahrzeuge im Depot des GU von Hermes mit der Zustelltour beginnen.

In Abbildung 47 sind die Parameter der Berechnungstour zu finden. Eine Lkw Tour vom Depot in Hanau bis zur Hugo-Junkers Schleife und zurück beträgt 44,8 km. Es dauert eine Stunde, die vollen 17 Transportboxen zur Hugo-Junkers Schleife und 17 leere Transportboxen wieder zurück zu transportieren. Ein Lkw kann täglich sieben Touren (inkl. einer Pufferzeit von einer Stunde) bei einer Arbeitszeit von acht Stunden täglich durchführen. Es wird davon ausgegangen, dass der Lkw auf jeder Rückfahrt leere Transportboxen retourniert. Für den Transport der 223 Transportboxen sind demzufolge zwei Lkw täglich notwendig.

Eine Tour per LastMileTram von der Hugo-Junkers Schleife bis zur Messeschleife und zurück beträgt 28,2 km. Der Transport der 40 vollen Transportboxen dauert zwei Stunden. Auch hier wird die Annahme getroffen, dass auf jeder Rückfahrt leere Transportboxen retourniert werden. Bei einer Betriebszeit der LastMileTram von acht Stunden pro Arbeitstag (AT) sind für den Transport der 223 Transportboxen zwei LastMileTrams täglich notwendig.

¹⁴⁴ Eigene Darstellung

¹⁴⁵ Schäfer et al. 2017.

¹⁴⁶ Spedition Kobusch.

¹⁴⁷ KE-CONSULT Kurte & Esser GbR 2018.

¹⁴⁸ Schäfer et al. 2017.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Transporter mit Zusteller nahezu 1:1 durch einen eLastenradfahrer ersetzt werden kann.¹⁴⁹ Durch den Einsatz von standardisierten Transportboxen wird von einer Effizienzsteigerung von 20% ausgegangen, da der Beladevorgang erheblich beschleunigt werden kann. Somit kann ein Zusteller per eLastenrad den Inhalt von drei Transportboxen während einer Arbeitszeit von acht Stunden täglich zustellen. Damit werden 74 eLastenradfahrer pro AT benötigt um 223 Transportboxen zuzustellen. Bei dem Pilotversuch konnte eine Strecke von durchschnittlich 11,2 km pro Transportbox ermittelt werden (Kapitel 5.4). Bei drei Transportboxen führt das zu einer Strecke von 33,6 km pro Tour. Die 74 benötigten eLastenradfahrer legen eine Gesamtstrecke von 2.486,4 km pro AT zurück.

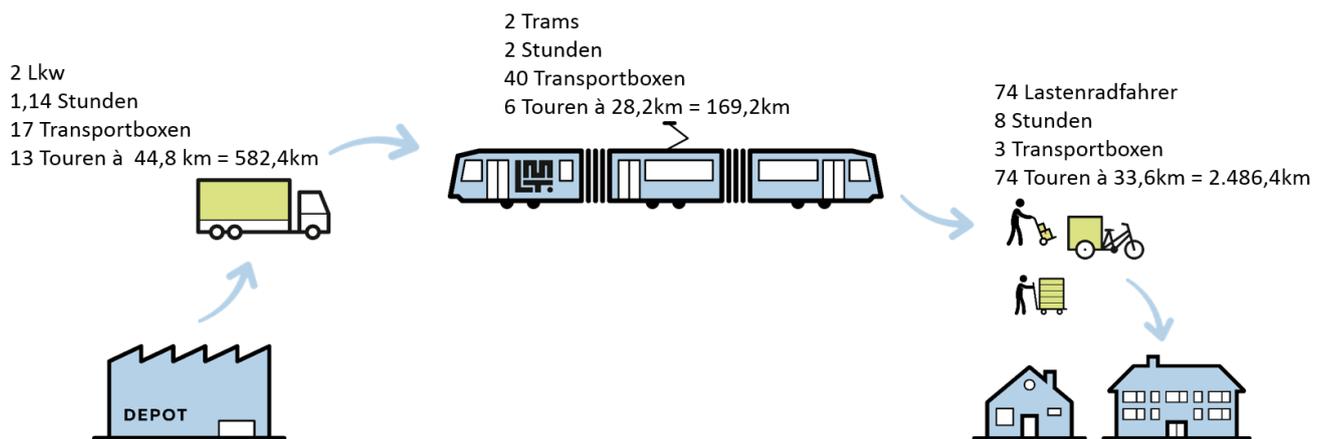


Abbildung 47: LMT-Szenario: Parameter der Berechnungstour¹⁵⁰

Wichtig ist, dass bereits im Depot des KEP-Dienstleisters eine Tourenplanung stattfindet. So können die Sendungen entsprechend passend in die Transportboxen geladen werden. Außerdem muss hier unterschieden werden, welche Sendungen für einen Transport per LastMileTram und eLastenrad geeignet sind. Gerade große und schwere Sendungen müssen gesondert zugestellt werden. Daher muss es eine Alternative zur Zustellung per LastMileTram geben. Dies wird bei der wirtschaftlichen Betrachtung aus Komplexitätsgründen im Folgenden nicht berücksichtigt.

8.1.2 Kosten

Für eine wirtschaftliche Betrachtung des Konzepts wurde der Zustellprozess per LastMileTram monetär bewertet. Im Folgenden werden die Kosten pro Transportabschnitt ermittelt.

Transportabschnitt 1 per Lkw

Der Transportabschnitt 1 per Lkw beinhaltet den Transport der Boxen vom Depot des KEP-Dienstleisters in Hanau bis zu Station Hugo-Junkers Schleife, an der die Transportboxen in die LastMileTram geladen werden (Abbildung 46, Abbildung 47). Ebenso ist die Beladung der LastMileTram inbegriffen.

¹⁴⁹ Bogdanski et al. 2018 S.125

¹⁵⁰ Eigene Darstellung

In Abbildung 48 ist die Kalkulation des ersten Transportabschnittes zu sehen. Ein Lkw-Fahrer erhält einen Stundenlohn von 14,82€ netto¹⁵¹. Bei 21,56% Lohnnebenkosten¹⁵² ergibt das 18,02€/h brutto. Um die Gemeinkosten für die Koordination und Organisation der Lkw-Fahrer sowie weitere Betriebskosten einzukalkulieren, werden Overheadkosten in Höhe von 38%¹⁵³ eingerechnet. Daraus entsteht ein Stundenlohn inkl. Overheadkosten in Höhe von 24,86€ brutto.

Bei 304¹⁵⁴ AT und zwei Lkw-Fahrern, die zusammen 14,86 Stunden pro AT arbeiten, verursacht dies Personalkosten in Höhe von 422,13 € pro AT.

Weiterhin entstehen Fahrzeugkosten in Höhe von 413,50 € pro AT. Dies ergibt sich aus 13 notwendigen Touren bei einer Strecke von 44,8 km und einem Kilometerpreis von 0,71 €/km¹⁵⁵.

Insgesamt ist für den ersten Transportabschnitt mit Kosten in Höhe von 835,63 € pro AT zu rechnen.

Lkw		835,63 € pro AT
Personalkosten pro AT		422,13 € pro AT
Stundenlohn 1 Lkw-Fahrer	14,82 €	/h netto
Lohnnebenkosten	21,56%	
Stundenlohn inkl. Lohnnebenkosten	18,02 €	/h brutto
Overhead	38%	
Stundenlohn inkl. Overhead	24,86 €	/h
Arbeitszeit 1 Lkw-Fahrer	8	h/AT
Arbeitszeit aller Lkw-Fahrer	14,86	h/AT
Anzahl notwendiger Lkw-Fahrer	2	
Fahrzeugkosten pro AT		413,50 € pro AT
Länge 1 Tour (Hin und Rück)	44,8	km
Dauer 1 Tour (Hin und Rück)	1,14	/h
Anzahl an Touren pro Lkw-Fahrer	7	/AT
Anzahl an durchzuführenden Touren (inkl. Abholung leerer Transportboxen)	13	
Anzahl notwendiger Fahrzeuge	2	
Gesamtkilometer Hin- und Rückfahrt	582,4	km
Kilometerkosten Lkw	0,71 €	/km

Abbildung 48: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 1 per Lkw¹⁵⁶

¹⁵¹ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2019.

¹⁵² Durchschnitt aus Holtbrügge 2018; Gutmann und Joachim 2017; Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018.

¹⁵³ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2010.

¹⁵⁴ Arbeitstage.org 2020.

¹⁵⁵ Gladel o.J.

¹⁵⁶ Eigene Darstellung

Transportabschnitt 2 per LastMileTram

Der Transportabschnitt 2 per LastMileTram beinhaltet den Transport der Transportboxen von der Station „Hugo-Junkers Schleife“, an der beladen wird, bis zur Station „Ludwig-Erhard-Anlage“/Messeschleife, an der die Transportboxen entladen werden (Abbildung 46, Abbildung 47).

In Abbildung 49 ist die Kalkulation des zweiten Transportabschnitts zu sehen. Eine LastMileTram inklusive Fahrer kostet 650 € pro Stunde¹⁵⁷. Ein zusätzlicher Mitarbeiter für das Handling der Transportboxen erhält 14,82€/h netto¹⁵⁸ (24,86 € brutto inkl. Overheadkosten pro Stunde). Für die durchzuführenden Touren wird mit einer Gesamtbetriebszeit von 12 Stunden pro AT gerechnet. Dazu sind zwei LastMileTrams notwendig. Der Mitarbeiter für das Handling der Transportboxen muss ebenso mit 12 Stunden eingesetzt werden. Daher werden Personalkosten in Höhe von 298,33 € pro AT und LastMileTram-Kosten in Höhe von 7.800,00 € pro AT verursacht. Der zweite Transportabschnitt verursacht Gesamtkosten in Höhe von 8.098,33 € pro AT.

Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per LastMileTram		8.098,33 € pro AT
Personalkosten pro AT		298,33 € pro AT
Stundenlohn Mitarbeiter Container Handling		14,82 €/h netto
Lohnnebenkosten		21,56%
Stundenlohn inkl. Lohnnebenkosten		18,02 €/h brutto
Overhead		38%
Stundenlohn inkl. Overhead		24,86 €/h
Arbeitszeit 1 Mitarbeiter Container Handling		8 h/AT
Arbeitszeit aller Mitarbeiter Container Handling		12 h/AT
Anzahl notwendiger Mitarbeiter Container Handling		1,5 /AT
LastMileTram-Kosten pro AT		7.800,00 € pro AT
Kosten für LastMileTram pro Stunde inkl. Fahrer		650,00 € brutto
Länge 1 Tour (Hin und Rück)		28,2 km
Dauer 1 Tour		2 h
Anzahl an LastMileTramtouren		6 pro AT
Leerquote (durchschn. Füllquote)		100%
Anzahl voller Transportboxen pro LastMileTram		40
Gesamtfahrzeit LastMileTram (inkl. Rücktransport leerer Transportboxen)		12 h/AT
Gesamtkilometer Hin- und Rückfahrt		169,2 km
Anzahl notwendiger LastMileTrams		2

Abbildung 49: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per LastMileTram¹⁵⁹

¹⁵⁷ Auskunft VGF

¹⁵⁸ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2019.

¹⁵⁹ Eigene Darstellung

Transportabschnitt 3 per eLastenrad

Der Transportabschnitt 3 per eLastenrad beinhaltet die Zustellung der Sendungen per eLastenrad von der Station Messeschleife zu den Empfängern und zurück (Abbildung 46, Abbildung 47).

In Abbildung 50 ist die Kalkulation des dritten Transportabschnitts zu sehen. Ein eLastenradfahrer erhält einen Stundenlohn von 14,82 € netto¹⁶⁰. Mit Lohnnebenkosten in Höhe von 21,56 %¹⁶¹ ergibt sich ein Stundensatz von 18,02 € brutto. Um die Gemeinkosten für die Koordination und Organisation der eLastenradfahrer sowie weitere Betriebskosten einzukalkulieren, werden Overheadkosten in Höhe von 38 %¹⁶² eingerechnet. Daraus entsteht ein Stundenlohn in Höhe von 24,86 €/h brutto inkl. Overheadkosten.

74 eLastenradfahrer mit einer Arbeitszeit von acht Stunden täglich ergeben Personalkosten in Höhe von 14.717,69 € pro AT.

Der Neupreis eines eLastenrades liegt bei 10.000 €¹⁶³. Bei 74 eLastenrädern, einer Abschreibung und Wartung in Höhe von 30%¹⁶⁴ des Neupreises pro Jahr ergeben sich 730,26 € Abschreibungs- und Wartungskosten pro AT.

Damit die eLastenräder untergestellt werden können, ist es notwendig eine Garage für diese zu finden. Hier wird davon ausgegangen, dass ein Stellplatz für ein eLastenrad 80 €/Jahr kostet.¹⁶⁵ Es ergeben sich Kosten für die Unterbringung der eLastenräder in Höhe von 19,47 € pro AT für alle 74 eLastenräder. Die eLastenradkosten pro AT betragen 749,74 €.

Der Neupreis einer Transportbox (Vergleichstyp Armadillo von Velove liegt bei 2.200 €¹⁶⁶. Für den Einsatz der Transportboxen wird die 3-fache Anzahl an Transportboxen angeschafft. So ist jederzeit für Ersatz gesorgt. Bei Abschreibung und Wartung in Höhe von 30 %¹⁶⁷ des Neupreises pro Jahr ergeben sich 1.452,43 € Abschreibungs- und Wartungskosten pro AT für die Transportboxen.

Die Gesamtkosten für den dritten Transportabschnitt betragen 15.467,43 € pro AT. Die Gesamtkosten der Transportboxen liegen bei 1.452,43 € pro AT.

¹⁶⁰ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2019.

¹⁶¹ Durchschnitt aus Holtbrügge 2018, Gutmann und Joachim 2017, Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018.

¹⁶² Statistisches Bundesamt (Destatis) 2010.

¹⁶³ Durchschnitt der gängigen Lastenradssysteme: Rytle, Cargo Cruiser, Rytle, Armadillo, z2, z1, Musketier, Triple, Bullit Bike, Carla Cargo Power Trailer

¹⁶⁴ juris - Fachportal Steuerrecht.

¹⁶⁵ adfc o.J.

¹⁶⁶ HEBWERK e.V. o.J.

¹⁶⁷ Bogdanski et al. 2018.

Gesamtkosten Transportabschnitt 3 per eLastenrad		15.467,43 € pro AT
Allgemeine Werte		
Anzahl zu liefernde Transportboxen pro eLastenradfahrer pro AT	3	Stk
Anzahl benötigte eLastenräder/eLastenradfahrer	74	Personen
Anzahl Arbeitstage pro eLastenradfahrer pro Jahr	304	AT
Personalkosten pro AT		14.717,69 € pro AT
Stundenlohn eLastenradfahrer	14,82 €	/h netto
Lohnnebenkosten	21,56%	
Stundenlohn inkl. Lohnnebenkosten	18,02 €	/h brutto
Overhead	38%	
Stundenlohn inkl. Overhead	24,86 €	/h
Produktivitätssprung eLastenradfahrer	120%	
Arbeitszeit 1 eLastenradfahrer	8	h/AT
Arbeitszeit aller eLastenradfahrer	592	h/AT
Lastenradkosten pro AT		749,74 € pro AT
Länge 1 Tour	33,6	km/AT
Gesamtkilometer pro AT	2.486,4	km/AT
Neupreis 1 eLastenrad	10.000,00 €	
Afa und Wartung	30%	pro Jahr
Afa und Wartung in Euro pro Jahr pro eLastenrad	3.000,00 €	
Afa und Wartung pro eLastenrad	9,87	/AT
Afa und Wartung für alle eLastenräder	730,26	/AT
Mietkosten pro eLastenradgarage pro Jahr	80,00 €	/Jahr
Mietkosten alle eLastenradgaragen pro AT	19,47 €	
Gesamtkosten Transportboxen		1.452,43 € pro AT
Transportboxenkosten pro AT		1.452,43 € pro AT
Anzahl benötigter Transportboxen pro Transportbox	3	Stk
Neupreis 1 Transportbox	2.200,00 €	
Afa und Wartung	30%	/Jahr
Afa und Wartung pro Transportbox	660,00 €	
Afa und Wartung pro Transportbox pro AT	2,17 €	
Anzahl Transportboxen insgesamt	669	Stk
Afa und Wartung für alle Transportboxen	1.452,43 €	

Abbildung 50: LMT-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 3 per eLastenrad ¹⁶⁸¹⁶⁸ Eigene Darstellung

Gesamtkosten des LastMileTram-Szenarios

In Abbildung 51 sind die Gesamtkosten für das 3-stufige Zustellverfahren per LastMileTram in einer Höhe von 25.853,834 € pro AT zu sehen. Pro Transportbox entstehen Kosten in Höhe von 115,94 €. Bei einer Sendungsanzahl von durchschnittlich 60 Sendungen pro Transportbox errechnen sich Kosten in Höhe von 1,93 € pro Paket. Davon fallen

- 0,06 € für den ersten Transportabschnitt per Lkw,
- 0,61 € für den zweiten Transportabschnitt per LastMileTram,
- 1,16 € für den dritten Transportabschnitt per eLastenrad und
- 0,11 € auf die Investition in TransportTransportboxen an.

Gesamtkosten	25.853,83 €	pro AT	115,94 €	pro Transportbox	1,93 €	pro Paket
TA1: Lkw	835,63 €	pro AT	3,75 €	pro Transportbox	0,06 €	pro Paket
TA2: LastMileTram	8.098,33 €	pro AT	36,32 €	pro Transportbox	0,61 €	pro Paket
TA3: eLastenrad	15.467,43 €	pro AT	69,36 €	pro Transportbox	1,16 €	pro Paket
Transportboxen	1.452,43 €	pro AT	6,51 €	pro Transportbox	0,11 €	pro Paket

Abbildung 51: LMT-Szenario: Gesamtkosten¹⁶⁹

8.1.3 CO₂-Emissionen

Für eine Berechnung der CO₂-Emissionen der untersuchten Strecke sind in Tabelle 10 die CO₂-Emissionen je Transportmittel aufgeführt. Sowohl bei der Straßenbahn als auch bei dem eLastenrad wird der passive CO₂-Verbrauch, der durch die Erzeugung des Stroms (für Straßenbahn oder Akku) verursacht wird, in Betracht gezogen.

Tabelle 10: CO₂-Emissionen Straßenbahn, Lkw, eLastenrad¹⁷⁰

	Lkw 12 t (g/km)	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen (g/kWh)	eLastenrad (g/km)
CO ₂ Ausstoß	450	473	7,8

Der Verbrauch einer Straßenbahn beträgt in etwa 4kWh pro km¹⁷¹. Es wird davon ausgegangen, dass eine LastMileTram mit 40 Transportboxen beladen wird (Abbildung 47). Im Pilotversuch konnte herausgefunden werden, dass ein eLastenradfahrer bei der Zustellung einer Transportbox eine Strecke von 11,2 km zurücklegte. Pro AT ist es möglich drei Transportboxen zuzustellen. Daher werden 74 eLastenradfahrer eingesetzt. Jeder Fahrer fährt im Durchschnitt 33,6 km.

¹⁶⁹ Eigene Darstellung

¹⁷⁰ Eigene Darstellung auf Basis von Ligterink et al. 2016; o. V. 2018; Icha 2019; Bürger PRO CITYBAHN Wiesbaden o. J.

¹⁷¹ Bürger PRO CITYBAHN Wiesbaden o. J.

Im Folgenden werden die CO₂-Emissionen je Transportabschnitt berechnet (Tabelle 11). Wie in Abbildung 47 dargestellt, fahren die zwei Lkw zusammen 582 km. Bei einem CO₂-Ausstoß von 450g/km ergibt das 0,262 t CO₂-Emissionen. Eine LastMileTram fährt 169,2 km. Bei einem Energieverbrauch von 4 kWh pro km werden 677 kWh verbraucht. Dies führt zu einem passiven CO₂-Ausstoß von 0,320 t. Die 74 eLastenräder fahren gemeinsam 2.486,4 km. Bei einem Wert von 7,8 g CO₂ pro km ergibt dies einen passiven CO₂-Ausstoß in Höhe von 0,019 t. Das gesamte Konzept verursacht daher CO₂-Emissionen in Höhe von 0,602 t.

Tabelle 11: LMT-Szenario: CO₂ Berechnungen¹⁷²

Verkehrsmittel	Kilometer (km) 1 Weg	Kilometer (km) 1 Tour	Notwendige Anzahl an Touren gesamt	Kilometer (km) gesamt	kWh gesamt	CO ₂ Emissionen (t)	Gesamt (t)
Lkw (12t)	22,4	44,8	13	582,4		0,262	0,602
LastMileTram	14,1	28,2	6	169,2	677	0,320	
E-Lastenrad	11,3	33,6	74	2.486,4		0,019	

8.2 Transporter-Szenario

In diesem Abschnitt wird das Transporter-Szenario behandelt, welches aktuell mehrheitlich zum Einsatz kommt. Zuerst wird der Ablauf einer konventionellen Zustellung mittels Transporter beschrieben und die damit zusammenhängenden Herausforderungen und Besonderheiten erläutert. Anschließend werden die Kosten des konventionellen Zustellprozesses berechnet. Es folgt eine Berechnung der entstehenden CO₂-Emissionen.

8.2.1 Ablauf

Der konventionelle, 1-stufige Zustellprozess wird in Abbildung 52 dargestellt. Üblicherweise werden die Sendungen im Depot des KEP-Dienstleisters sortiert und in die Zustellfahrzeuge verladen. Die Fahrzeuge begeben sich auf die Fahrt in das Zustellgebiet und stellen dort die Sendungen zu (ohne grau hinterlegten Bereich in Abbildung 52). Setzt ein KEP-Dienstleister GU ein, die die Zustellung der Sendungen übernehmen, werden die Sendungen vom Depot des KEP-Dienstleisters in das Depot des GU transportiert (grau hinterlegter Bereich in Abbildung 52). Die Sendungen werden dann in die Zustellfahrzeuge geladen, woraufhin die Fahrzeuge in das Zustellgebiet fahren und mit der Zustelltour beginnen. Damit besteht der Zustellprozess aus zwei Transportabschnitten und ist daher 2-stufig. Eine 2-stufige Belieferung beinhaltet eine Zwischenlagerung in einem Mikrodepot im oder sehr nah am Zustellgebiet. Dort finden keine weiteren umfangreichen Sortierprozesse statt. Da im Depot des GU jedoch Sortierprozesse stattfinden und diese noch nicht zum Zustellprozess gehören, handelt es sich hier lediglich um eine Variation des 1-stufigen Prozesses und wird weiterhin trotzdem als 1-stufig bezeichnet.

¹⁷² Eigene Darstellung

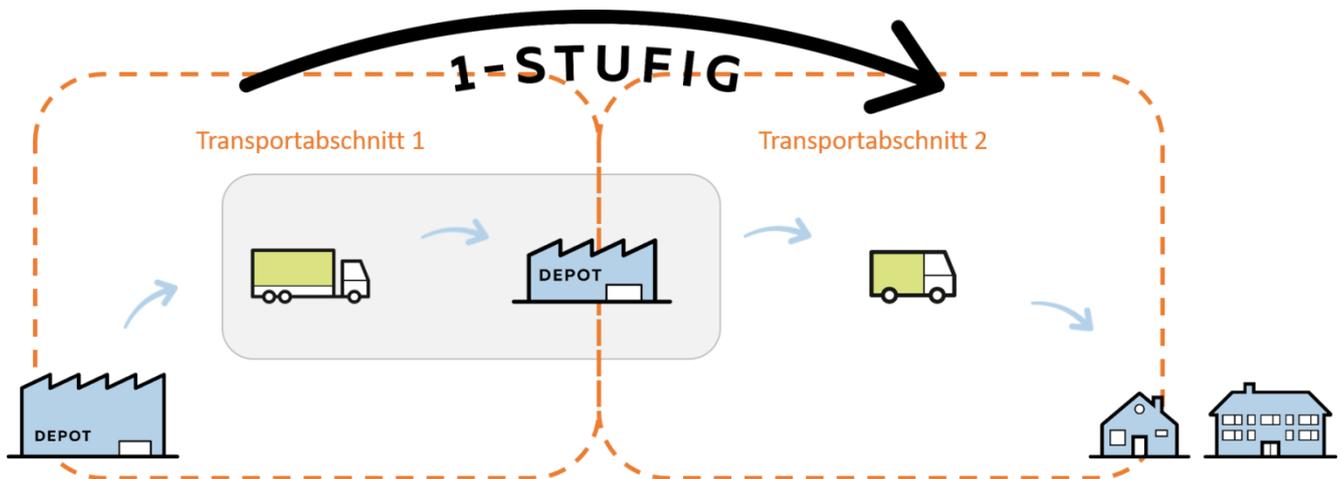


Abbildung 52: T-Szenario: Transportabschnitte 1-2 ¹⁷³

Als Beispielprozess wurde der Zustellprozess ausgehend vom Hermes-Depot in Hanau festgelegt. Dabei kommen GU zum Einsatz. Daher wird der konventionelle Zustellprozess aus Abbildung 52 (mit grau hinterlegtem Bereich) sowohl für eine Kostenberechnung als auch für eine Berechnung der CO₂-Emissionen herangezogen.

Ein Zustellfahrzeug kann mit durchschnittlich 150 Sendungen beladen werden. Bei 89 Zustellfahrzeugen ergibt sich ein Sendungsvolumen von 13.350 Sendungen.

Der erste Transportabschnitt wird mit einem Lkw durchgeführt, welcher ein zulässiges Gesamtgewicht von 12 t aufweist. Er wird in Hanau mit 12 Corletten (Gitterwagen) à 125 Sendungen befüllt. Somit sind neun Touren notwendig, um die Sendungen in das Depot des GU zu transportieren. Eine Tour dauert zwei Stunden und umfasst einen Weg von 85 km. Dafür sind zwei Lkw notwendig.

Der zweite Transportabschnitt wird mit Transportern (Typ: Mercedes Vito) durchgeführt. Eine Zustelltour dauert acht Stunden und überwindet eine Strecke von 47 km. Es sind 89 Zustellfahrzeuge notwendig.

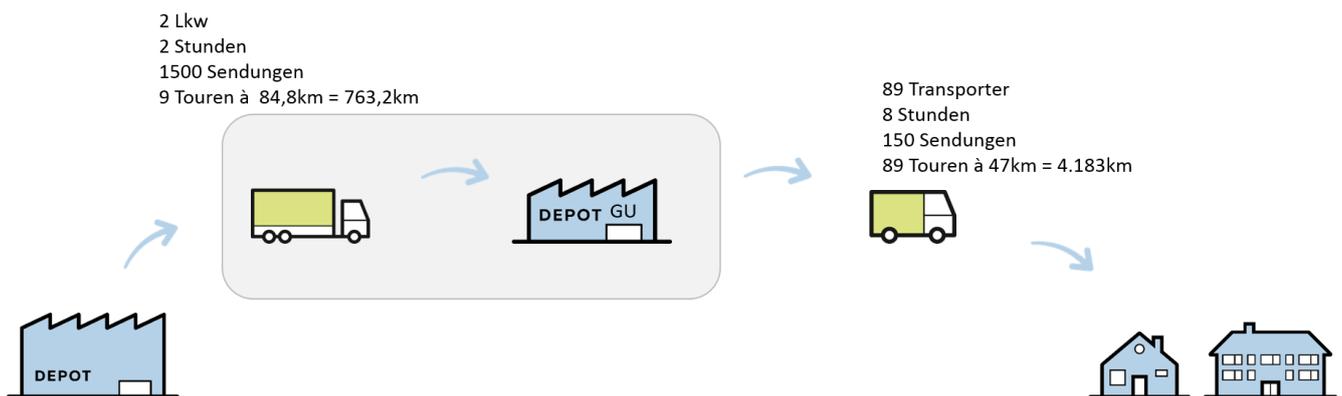


Abbildung 53: T-Szenario: Parameter der Berechnungstour ¹⁷⁴

¹⁷³ Eigene Darstellung

¹⁷⁴ Eigene Darstellung

8.2.2 Kosten

Für eine wirtschaftliche Bewertung des Konzepts wurde der Zustellprozess per Transporter monetär bewertet. Im Folgenden werden die Kosten pro Transportabschnitt ermittelt.

Transportabschnitt 1 per Lkw

Der Transportabschnitt 1 per Lkw beinhaltet den Transport der Sendungen vom Depot des KEP-Dienstleisters in Hanau bis zum Depot des GU in Griesheim (Abbildung 52, Abbildung 53).

In Abbildung 54 ist die Kalkulation des ersten Transportabschnittes zu sehen. Ein Lkw-Fahrer erhält einen Stundenlohn von 14,82 € netto¹⁷⁵. Bei 21,56 % Lohnnebenkosten¹⁷⁶ ergeben das 18,02 €/h brutto.

Die Overheadkosten in Höhe von 38 %¹⁷⁷ berücksichtigen die Koordination und Organisation der Lkw-Fahrer sowie weitere Betriebskosten. Daraus berechnet sich ein Stundenlohn brutto inkl. Overheadkosten in Höhe von 24,86 €. Bei einer Gesamtarbeitszeit von 18 Stunden für zwei Fahrer pro AT verursacht dies Personalkosten in Höhe von 447,50 € pro Arbeitstag.

Weiterhin bestehen Fahrzeugkosten in Höhe von 541,87 € pro AT. Dies ergibt sich aus den neun notwendigen Touren bei einer Strecke von 84,8 km und einem Kilometerpreis von 0,71 €/km¹⁷⁸. Insgesamt ist für den ersten Transportabschnitt mit Gesamtkosten in Höhe von 989,37 € pro AT zu rechnen.

Gesamtkosten Transportabschnitt 1 per Lkw		989,37 € pro AT
Personalkosten Lkw		447,50 € pro AT
Stundenlohn 1 Lkw-Fahrer	14,82	/h
Lohnnebenkosten	21,56%	
Stundenlohn inkl. Lohnnebenkosten	18,02 €	/h brutto
Overhead	38%	
Stundenlohn inkl. Overhead	24,86 €	/h
Arbeitszeit 1 Lkw-Fahrer	8	h/AT
Arbeitszeit pro Tour	2,00	h
Arbeitszeit aller Lkw-Fahrer	18	h
Anzahl notwendiger Lkw-Fahrer	2	
Kosten Lkw		541,87 € pro AT
Länge 1 Tour (Hin und Rück)	84,80	km
Dauer 1 Tour (Hin und Rück)	2	h
Anzahl an durchzuführenden Touren	9	
Anzahl notwendiger Fahrzeuge	2,25	
Gesamtkilometer Hin- und Rückfahrt	763,2	km
Kilometerkosten Lkw	0,71 €	/km

Abbildung 54: T-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 1 per Lkw¹⁷⁹

¹⁷⁵ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2019.

¹⁷⁶ Durchschnitt aus Holtbrügge 2018, Gutmann und Joachim 2017, Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018.

¹⁷⁷ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2010.

¹⁷⁸ Gladel o.J.

¹⁷⁹ Eigene Darstellung

Transportabschnitt 2 per Transporter

Der Transportabschnitt 2 per Transporter beinhaltet den Transport vom Depot des GU bis zu jedem Kunden und wieder zurück zum Depot des GU (Abbildung 52, Abbildung 53).

Ein Fahrer erhält einen Stundenlohn in Höhe von 14,82 €/h netto¹⁸⁰ (18,02 €/h brutto). Bei Overheadkosten in Höhe von 38 %¹⁸¹ ergeben dies 24,86 € pro Stunde. Bei einer Arbeitszeit von acht Stunden pro AT und 89 Zustellern ergeben das 712 Personalstunden pro AT und somit Personalkosten in Höhe von 17.701,01 € pro AT.

Die Kilometerkosten des Transporters in Höhe von 0,80 €/km¹⁸² umfassen Betriebskosten, Werkstattkosten und Wertverlust. Bei 4.183 km täglicher Fahrleistung werden Kosten in Höhe von 3.342,22 € pro AT für alle Transporter berechnet. Für den zweiten Transportabschnitt sind mit Gesamtkosten in Höhe von 21.043,22 € pro AT zu rechnen.

Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per Transporter		21.043,22 € pro AT
Personalkosten Transporter		17.701,01 € pro AT
Stundenlohn 1 Transporter Fahrer		14,82 €/h
Lohnnebenkosten		21,56%
Stundenlohn inkl. Lohnnebenkosten		18,02 €/h brutto
Overhead		38%
Stundenlohn inkl. Overhead		24,86 €/h
Arbeitszeit 1 Transporter Fahrer		8 h/AT
Arbeitszeit pro Tour		8 h
Arbeitszeit aller Transporter Fahrer		712 h
Kosten Transporter		3.342,22 € pro AT
Länge 1 Tour (Hin und Rück)		47,00 km
Dauer 1 Tour (Hin und Rück)		8 h
Gesamtkilometer alle Touren		4.183,00 km
Kilometerkosten Transporter		0,80 €/km

Abbildung 55: T-Szenario: Gesamtkosten Transportabschnitt 2 per Transporter ¹⁸³

Gesamtkosten des Transporter-Szenarios

In Abbildung 56 sind die Gesamtkosten für das konventionelle und 1-stufige Zustellverfahren in einer Höhe von 22.032,59 € pro AT zu sehen. Pro Transporter ergeben sich Kosten in Höhe von 247,56 €. Bei einer Sendungsanzahl von durchschnittlich 150 Sendungen pro Transporter errechnen sich Kosten in Höhe von 1,65 € pro Paket. Davon fallen 0,07 € für den ersten Transportabschnitt per Lkw und 1,58 € für den zweiten Transportabschnitt per Transporter an.

¹⁸⁰ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2019.

¹⁸¹ Statistisches Bundesamt (Destatis) 2010.

¹⁸² ADAC 2019.

¹⁸³ Eigene Darstellung

Gesamtkosten	22.032,59 €	pro AT	247,56 €	pro Transporter	1,65 €	pro Paket
TA1: Lkw	989,37 €	pro AT	11,12 €	pro Transporter	0,07 €	pro Paket
TA2: Transporter	21.043,22 €	pro AT	236,44 €	pro Transporter	1,58 €	pro Paket

Abbildung 56: T-Szenario: Gesamtkosten ¹⁸⁴

8.2.3 CO₂-Emissionen

Bei der Vergleichstour im April 2019 kamen ein Transporter der Marke Fiat Scudo Multijet 130 sowie ein Lkw (12t) zum Einsatz. Die Emissionen beider Fahrzeuge sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: CO₂-Emissionen: Lkw, Fiat Scudo ¹⁸⁵

	Fiat Scudo Multijet 130 (g/km)	Lkw 12 t (g/km)
CO ₂ Ausstoß	183	450

Im Folgenden werden die CO₂-Emissionen je Transportabschnitt berechnet (Tabelle 13). Wie in Abbildung 53 dargestellt, fahren die 2 Lkw gemeinsam 763,2 km. Bei einem CO₂-Ausstoß von 450 g/km ergeben das 0,343 t CO₂-Emissionen. Die 89 Transporter fahren gemeinsam 4.183km. Bei einem Wert von 183g CO₂ pro km ergibt dies einen CO₂-Ausstoß in Höhe von 1,071t CO₂. Die begleitete Vergleichstour hat gezeigt, dass der Motor des Transporters bei 68 Stopps an- und ausgeschaltet wurde. Daher wurde ein Zuschlag für das Anfahren sowie das An- und Ausschalten des Fahrzeugs von 40 % angerechnet.¹⁸⁶ Das gesamte Konzept verursacht daher CO₂-Emissionen in Höhe von 1,415 t.

Tabelle 13: T-Szenario: CO₂ Berechnungen ¹⁸⁷

Verkehrsmittel	Kilometer (km) 1 Weg	Kilometer (km) 1 Tour	Notwendige Anzahl an Touren gesamt	Kilometer (km) gesamt	Start/Stopp Zuschlag	CO ₂ Emissionen (t)	Gesamt (t)
Lkw (12t)	42,4	84,8	9	763,2		0,343	1,415
Transporter		47,0	89	4.183,0	40%	1,072	

8.3 LastMileTram-Szenario vs. Transporter-Szenario

In Abbildung 57 ist der Vergleich zwischen dem 3-stufigen LastMileTram-Szenario und dem 1-stufigen konventionellen Transporter-Szenario zu sehen. Das 3-stufige Zustellkonzept verursacht Kosten in Höhe von 1,93€ pro Paket, wohingegen das 1-stufige Zustellkonzept 1,65€ pro Paket verursacht. Der höchste Kostenanteil liegt bei dem 3-stufigen Zustellkonzept in der Zustellung per eLastenrad. Bei der 1-stufigen Zustellung entstehen die meisten Kosten für den zweiten Transportabschnitt per Transporter. In beiden Abschnitten wird viel Personal eingesetzt, daher sind diese Abschnitte am teuersten.

¹⁸⁴ Eigene Darstellung¹⁸⁵ Eigene Darstellung auf Basis von FIAT 2015; Icha 2019.¹⁸⁶ Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) 2010.¹⁸⁷ Eigene Darstellung

Der Vergleich der CO₂-Emissionen zeigt, dass das 3-stufige LastMileTram-Szenario lediglich 0,602 t CO₂-Emissionen verursacht. Konträr dazu verursacht das 1-stufige Transporter-Szenario 1,415 t CO₂-Emissionen pro AT. Daher könnten durch den Einsatz einer LastMileTram pro AT 0,813 t CO₂-Emissionen eingespart werden. Pro Jahr bedeutet das eine Einsparung in Höhe von 247,152 t CO₂-Emissionen. Dies entspricht 93 Pkw bei einer Laufleistung von 15.000 km pro Jahr.¹⁸⁸ Eine Zustellung mit der LastMileTram verursacht somit 17 % höhere Kosten pro Paket als die konventionelle Zustellung per Transporter. Dagegen steht jedoch eine Einsparung von 57 % CO₂-Emissionen durch den Einsatz einer LastMileTram.

	3-stufig LastMileTram-Szenario				1-stufig Transporter-Szenario		
	Gesamtkosten pro AT	Gesamtkosten pro Paket	CO2 Emissionen (t)		Gesamtkosten pro AT	Gesamtkosten pro Paket	CO2 Emissionen (t)
TA1 - Lkw	835,63 €	0,06 €	0,262	TA1 - Lkw	989,37 €	0,07 €	0,343
TA2 - LastMileTram	8.098,33 €	0,61 €	0,320	TA2 - Transporter	21.043,22 €	1,58 €	1,072
TA3 - eLastenrad	15.467,43 €	1,16 €	0,019				
Kosten Transportboxen	1.452,43 €	0,11 €					
Gesamt	25.853,83 €	1,93 €	0,602	Gesamt	22.032,59 €	1,65 €	1,415

Abbildung 57: Gesamtvergleich: LastMileTram-Szenario vs. Transporter-Szenario¹⁹⁴

¹⁸⁸ ACTiv fürs Klima.

9 Fazit und Ausblick

In diesem Abschnitt werden die Forschungsergebnisse des Projekts „LastMileTram“ zusammengefasst. Im Anschluss erfolgt ein Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf.

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei dem durchgeführten Pilottest konnten gemeinsam mit der VGF und Hermes Prozesse getestet und diese im Nachgang optimiert werden. Der Test hat gezeigt, dass es aus technischer Sicht möglich ist, die Straßenbahn in die Sendungszustellung zu integrieren.

Eine Analyse des Straßenbahnnetzes in Frankfurt hat gezeigt, dass die vorhandene Infrastruktur des ÖPNV für den Warenumsschlag an vielen Standorten geeignet ist. Im Rahmen des Projekts wurden Kriterien für die Be- und Entladung definiert. Entscheidend ist, dass der Fahrgastbetrieb nicht gestört wird. Daher sind besonders Linien und Haltestellen mit geringer Taktdichte geeignet. Zudem sind die Platzverhältnisse und der Ausbau des Bahnsteigs ein wichtiges Kriterium. Werden Rollcontainer oder ähnliche Medien für den Transport in einer Straßenbahn eingesetzt, müssen die Bahnsteige eine ebenerdige Be- bzw. Entladung ermöglichen. Die Nutzung von nur betrieblich befahrenen Gleisabschnitten (z. B. Fahrzeugdepots, Wendeschleifen oder Abstellgleisen) ist zu empfehlen, da hier auch längere Standzeiten möglich sind. Rampen für den Umschlag bedeuten hier jedoch zusätzliche Investitionskosten.

Da es aktuell keine Transportboxen auf dem Markt gibt, die für den Einsatz in der Tram geeignet sind, wurden Anforderungen aufgestellt. Diese umfassen die Kompatibilität mit der Straßenbahn und gleichzeitig mit gängigen Lastenradsystemen. Zudem sollten die Transportboxen leicht verschließbar, witterungsbeständig, rollbar und sicher gegen Vandalismus sein. Auf Basis dessen wurden Transportboxen entwickelt und Prototypen hergestellt.

Die Vergleichsberechnungen haben gezeigt, dass 89 Zustellfahrzeuge täglich durch 223 Transportboxen ersetzt werden können. Eine Transportbox beinhaltet im Durchschnitt 60 Pakete. Ein Lastenradfahrer kann drei Transportboxen pro AT zustellen. Durch den Einsatz von Lastenrädern kann die Auslieferungseffizienz erhöht und gleichzeitig Fahrzeuge eingespart werden. Die Berechnungen machen deutlich, dass ein zeitlicher Vergleich, sowie ein rein kostenbasierter Vergleich zwischen einem Zustellkonzept mit der Tram und einem konventionellen Transporter nicht ausreichen. In beiden Fällen schneidet das Konzept mit der Tram schlechter ab. Ein zugestelltes Paket mit der Tram kostet 1,89 € und ein Paket mit dem konventionellen Transporter 1,62 €. In Bezug auf die CO₂ Einsparungen liegt das Tramkonzept jedoch weit vorne. Es kann täglich 57 % CO₂-Emissionen einsparen.

9.2 Weiterer Forschungsbedarf

Für eine großflächige Umsetzung des Zustellkonzepts müssen weitere Fragestellungen beantwortet werden. Einerseits bestehen **rechtliche** sowie **haftungsrechtliche Fragen**. Aktuell ist es rechtlich nicht möglich, Personen

und Güter gemeinsam in einer Straßenbahn zu transportieren¹⁸⁹. Hier ist der Gesetzgeber gefordert, rechtliche Grundlagen für den Güterverkehr auf Stadt- und Straßenbahnen zu schaffen, um den Einsatz attraktiver zu gestalten. Darüber hinaus muss geklärt werden, wer zu welchem Zeitpunkt bei Schäden in der Haftung steht. Hier ist zu klären, ob es sich bei einer LastMileTram um eine private oder eine öffentliche Nutzung handelt. Vor allem die Schnittstellen müssen definiert und geregelt werden. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die **Infrastruktur**. Abstellflächen für Lastenräder sowie für eine Zwischenlagerung der Transportboxen/Sendungen müssen gefunden werden. Alle Abläufe müssen nahtlos in den Fahrplan integriert werden. Des Weiteren muss geklärt werden, wie die zu verwendenden Transportboxen im Detail ausgestattet sein müssen.

Bei einem **Logistikprozess**, bei dem es um eine große Anzahl von zu transportierenden Transportboxen geht und bei dem es viele Prozessbeteiligte gibt, ist es wichtig, ein System zu entwickeln, das den Materialfluss (Transportboxen) sowie den Wertfluss (Geld) überwacht und gewährleistet. Dazu ist es notwendig, jederzeit jede Transportbox lokalisieren zu können (Track & Trace). Dies hilft auch bei der Bewältigung von haftungsrechtlichen Fragen. Darüber hinaus muss ein Datenaustausch entlang der gesamten Logistikkette organisiert werden. Ebenso muss ein optimaler Personaleinsatz berechnet werden. Eine Synchronisation von Personal und Transportboxen ist unabdingbar. So wird sichergestellt, dass die in den Transportboxen befindlichen Sendungen mithilfe des eingesetzten Personals zur richtigen Zeit den Empfängern zugestellt werden. Es gilt ein geeignetes IT-System für das Management der Logistikkette zu entwickeln. In weiteren **Berechnungen** muss die Lage der Depots aller KEP Dienstleister, sowie die Verteilung des Sendungsvolumens auf die KEP Dienstleister berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist zu definieren, welche Sendungen für den Transport mit der Tram geeignet sind. Weiterhin sollte untersucht werden, welche Güter im Detail für den Transport mit der Tram geeignet sind und welche Anforderungen sie an den Transport per Straßenbahn sie aufstellen. So werden **potenzielle Kunden identifiziert** und die Auslastung erhöht. Eine hohe Akzeptanz und Nutzung des Zustellkonzepts kann mit **Anreizsystemen** unterstützt werden. Dazu sind geeignete Anreize zu schaffen und zu entwickeln. Um diese Fragestellungen zu prüfen, müssen alle Stakeholder einbezogen werden. Wie der Stand der Technik gezeigt hat, ist es zudem möglich, Güter auf unterirdischer, öffentlicher Schieneninfrastruktur zu transportieren. Dieser Fall sollte ebenso untersucht werden.

¹⁸⁹ Verband deutscher Verkehrsunternehmen 2000.

10 Anlagen

Linie	Typ	Endhaltestelle (westl./nördl.)	Zentrale Strecke	Endhaltestelle (östl./südl.)
11	Durchmesserlinie	Höchst Zuckschwerdtstraße	Hauptbahnhof Altstadtstrecke	Fechenheim Schießhüttenstraße
12	Durchmesserlinie	Schwanheim Rheinlandstraße	Friedensbrücke Hauptbahnhof Altstadtstrecke Konstablerwache	Fechenheim Hugo-Junkers-Straße/Schleife
14	Durchmesserlinie	Gallus Mönchhofstraße	Hauptbahnhof Altstadtstrecke	Bornheim Ernst-May-Platz
15	Tangentallinie	Niederrad Haardtwaldplatz	Sachsenhausen Südbahnhof	Offenbach Stadtgrenze
16	Durchmesserlinie	Ginnheim	Hauptbahnhof Friedensbrücke Sachsenhausen Südbahnhof	Offenbach Stadtgrenze
17	Durchmesserlinie	Rebstockbad	Hauptbahnhof Friedensbrücke	Neu-Isenburg Stadtgrenze
18	Durchmesserlinie	Preungesheim Gravensteiner Platz	Konstablerwache Ignatz-Bubis-Brücke Sachsenhausen Lokalbahnhof	Sachsenhausen Louisa Bahnhof
19	Verstärkungslinie	Schwanheim Rheinlandstraße	Sachsenhausen	Sachsenhausen Louisa Bahnhof
20	Verstärkungslinie	Hauptbahnhof	Friedensbrücke	Stadion Straßenbahn
21	Durchmesserlinie	Nied Kirche	Hauptbahnhof Friedensbrücke	Stadion Straßenbahn
EE	Sonderlinie	Zoo	-	Zoo

(auf Grundlage von RMV Liniennetzplan, Stand September 2019)

Anlage 2: Aktuelle Straßenbahnen der VGF im Vergleich



Name (Baureihe)	R-Wagen	S-Wagen	T-Wagen
Fahrzeugtyp	Zweirichtungsfahrzeug, nicht kuppelbar	Zweirichtungsfahrzeug, kuppelbar mit S-Wagen	Zweirichtungsfahrzeug, kuppelbar mit T-Wagen
Anzahl Türen	4 Türen pro Seite	3 Türen pro Seite	4 / 5 Türen pro Seite
Breite Türen	1,30 m	1,30 m	1,30 m
Einstiegshöhe	30 cm	30 cm	30 cm
Fußbodenhöhe	100% Niederflur 30 cm	70%: 30-37 cm 30% 59 cm (eine Stufe)	100% Niederflur 30 cm
Länge	27,60 m	30,04 m	31,50 m (Verlängerung möglich)
Breite	2,35 m	2,40 m	2,40 m
Baujahr	1993/1997	2003-2006	2020-2022
Fahrzeugbestand	38	74	45 bestellt (ersetzen ab 2020 die R-Wagen)
Vorteile	Fahrgastbereich komplett auf einer Ebene	Fahrgasttüren stehen sich gegenüber und schaffen größere Verladeflächen	Fahrgasttüren stehen sich gegenüber und schaffen größere Verladeflächen
		Zwei Mehrzweckabteile	Mehrere, ausklappbare Behindertenrampen Zwei Mehrzweckabteile Fahrgastbereich komplett auf einer Ebene
Nachteile	Bei gegenüberliegenden Türen sind Haltestangen verbaut. Die restlichen Türen liegen nicht gegenüber.	Fahrgastbereich nicht komplett auf einer Ebene	
	Keine Mehrzweckabteile		

Anlage 3: Bewertung von Straßenbahnhaltstellen für die Beladung

Haltestelle	Kriterium 1: Takt	Kriterium 2: Stadtrandlage	Kriterium 3: Max 2,0 km bis Anschluss Autobahn	Kriterium 4: Haltermöglichkeit für WV	Kriterium 5: Barrierefreier Zugang	Bewertung
Betriebshof Gutleut	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Betriebshof Ost	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Ernst-May-Platz	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt*	ungeeignet
Ginnheim	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Gravensteiner-Platz	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Haardtwaldplatz	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt*	ungeeignet
Hugo-Junkers-Straße/Schleife	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Louisa (Wendeschleife)	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Messeschleife	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Neu-Isenburg Stadtgrenze	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Nied Kirche (Wendeschleife)	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Oberforsthaus (Schleife)	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt*	geeignet
Offenbach Stadtgrenze	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Rebstockbad	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Rheinlandstraße	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Schießhüttenstraße	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Stadion	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Stadtbahnzentralwerkstatt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet
Waldfriedhof Goldstein (Wendeschleife)	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Westbahnhof (Wendeschleife)	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet
Zentrale Werkstätten Infrastruktur (ZGW)	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Zoo (Wendeschleife)	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet
Zuckschwerdtstraße	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt*	ungeeignet

Anlage 4: Bewertung von Straßenbahnhaltestellen für die Entladung

Haltestelle	Richtung	Linien	Kriterium 1: Takt \geq 3 Minuten	Kriterium 2: Barrierefreier Zugang	Kriterium 3: Platzbedarf erfüllt	Bewertung	Bemerkung2
Adalbert-/Schloßstraße	beide Richtungen	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Alkmenestraße	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Allerheiligentor	beide Richtungen	11,14	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Alt-Fechenheim	beide Richtungen	11	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
An der Dammheide	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließend Verkehrs
Arthur-von-Weinberg-Steg	beide Richtungen	11	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Balduinstraße	beide Richtungen	15,16	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	Behinderung des fließenden Verkehrs
Baseler Platz	beide Richtungen	12,16,17,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Beuthener Straße	beide Richtungen	18,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Birminghamstraße	beide Richtungen	11,21	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Bleiweißstraße	beide Richtungen	15,16	erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließend Verkehrs
Bockenheimer Warte	beide Richtungen	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Bodenweg	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Bologaropalast	Tillystraße	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Börneplatz	beide Richtungen	11,12,18	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Börneplatz/Stoltzestraße	beide Richtungen	11,12, 14,18	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Bornheim Mitte	beide Richtungen	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Breslauer Straße	beide Richtungen	18,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Brücken-/Textorstraße	beide Richtungen	15,16,18	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Buchrainplatz	beide Richtungen	15,16	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Burgstraße	beide Richtungen	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Bürostadt Niederrad	beide Richtungen	12,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Cassellastraße	beide Richtungen	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Daimlerstraße	beide Richtungen	11,12	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Dieselstraße	beide Richtungen	11,12	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Eissporthalle/Festplatz	beide Richtungen	12	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Ernst-May-Platz	Saalburg-/ Wittelsbacherallee	14	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Ferdinand-Dirichs-Weg	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Festhalle/Messe	beide Richtungen	16,17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Flaschenburgstraße	beide Richtungen	15,16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Frankensteiner Platz	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Frauenfriedenskirche	beide Richtungen	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Frauenhofstraße	Schwarzwaldstraße	15	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Freiligrathstraße	beide Richtungen	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Friedberger Platz	beide Richtungen	12,18	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließenden Verkehrs
Friedberger Warte	beide Richtungen	12,18	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	Gleiskörper wird auch von Busen genutzt, daher hohe Taktdichte
Galluspark	beide Richtungen	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Galluswarte	beide Richtungen	11,14,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Gerauer Straße	beide Richtungen	12,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Ginnheim	Markus-Krankenhaus	16	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	

Gravensteiner-Platz	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Günthersburgpark	beide Richtungen	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Gustavsburgplatz	Ordnungsamt	14	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Güterplatz	Platz der Republik	11,14,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
H.-Hoffmann-Str./Blutsp.dst.	Niederräder Landstraße	12,15,19,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
H.-Hoffmann-Str./Blutsp.dst.	Universitätsklinikum	12,15,19,21	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Haardwaldplatz	beide Richtungen	15	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Habsburger-/Wittelsbacherallee	beide Richtungen	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Harthweg	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Hartmann-Ibach-Straße	Burgstraße	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hauptbahnhof	beide Richtungen	11,14,16,17,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hauptbahnhof Südseite	beide Richtungen	-	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hauptbahnhof/Münchener Straße	beide Richtungen	11,12,14	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Heilbronner Straße	Betriebshof Gutleut		erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Behinderung des fließenden Verkehrs bei längerer Standzeit
Heilbronner Straße	Hafenstraße	-	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Heister-/Seehofstraße	beide Richtungen	15,16	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Hessendenkmal	beide Richtungen	12,18	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hohenstaufenstraße	beide Richtungen	16,17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hospital zum Heiligen Geist	Allerheiligentor	18	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Hospital zum Heiligen Geist	Frankensteiner Platz	18	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Hugo-Junkers-Straße	beide Richtungen	11,12	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Hugo-Junkers-Schleife	Hugo-Junkers-Straße	12	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	Geeignet	
Jägerallee	beide Richtungen	11,21	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Juliusstraße	beide Richtungen	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Karmeliterkloster	beide Richtungen	11,12,14	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Kiesschneise	beide Richtungen	12,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Konstablerwache	beide Richtungen	12,18	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Kriegkstraße	beide Richtungen	21	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Behinderung des fließenden Verkehrs bei längerer Standzeit
Kuhwaldstraße	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließenden Verkehrs
Leonardo-da-Vinci-Allee	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Lettigkautweg	beide Richtungen	15,16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Linnegraben	beide Richtungen	11,21	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Lokalbahnhof	beide Richtungen	15,16,18	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Lokalbahnhof/Textorstraße	beide Richtungen	15,16,18	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Louisa Bahnhof	beide Richtungen	17,18,19	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Ludwig-Erhard-Anlage	beide Richtungen	16,17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Luthmerstraße	Birminghamstraße	11,21	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Luthmerstraße	Nied Kirche	11,21	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Mainkur Bahnhof	Schießhüttenstraße	11	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Mainkur Bahnhof	Cassellstraße	11	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Markus-Krankenhaus	beide Richtungen	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Melibocusstraße	beide Richtungen	12,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Messeschleife	-	-	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	

Mönchhofstraße	beide Richtungen	11,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Mühlberg	beide Richtungen	15,16	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Münzenberger Straße	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Nauheimer Straße	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Neu-Isenburg Stadtgrenze	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Nibelungenplatz / FH	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Nied Kirche	beide Richtungen	11,21	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Niederrad Bahnhof	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Niederräder Landstraße	Frauenhofstraße / Triftstr.	12,15,19,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Niederräder Landstraße	Heinrich-Hoffmann-Str./ Blutspendedienst	12,15,19,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Oberforsthaus	Stadion	21	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Oberforsthaus	Rennbahn	21	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Oberschweinstiege	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Odenwaldstraße	beide Richtungen	15	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Offenbach Stadtgrenze	beide Richtungen	15,16	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Oppenheimer Landstraße	Breslauer Straße	18,19	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließenden Verkehrs
Ordnungsamt	Galluspark/Gustavsburgplatz	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Ostbahnhof/ Honsellstraße	beide Richtungen	11	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließenden Verkehrs
Ostbahnhof/ Sonnemannstraße	beide Richtungen	11	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Haltestelle wird auch von zwei Buslinien angefahren
Ostendstraße	beide Richtungen	11,14	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Osthafenplatz	beide Richtungen	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Otto-Hahn-Platz	beide Richtungen	15,16,19	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Pforzheimer Straße	Hauptbahnhof Südseite	21	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Platz der Republik	beide Richtungen	11,14,16,17,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Rebstockbad	beide Richtungen	17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Rebstöcker Straße	beide Richtungen	11,14,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Rennbahn	beide Richtungen	21	erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Behinderung des fließenden Verkehrs bei längerer Standzeit
Rheinlandstraße	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Riederhöfe	beide Richtungen	11	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Rohrbachstr./Friedbg. Ldstr.	beide Richtungen	12,18	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	Längere Standzeit nicht möglich Sperrung des fließenden Verkehrs auch Bushaltestation
Römer/Paulskirche	beide Richtungen	11,12,14	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Rothschildallee	beide Richtungen	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Saalburg- /Wittelsbacherallee	Bornheim Mitte	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Saalburg- /Wittelsbacherallee	Eissporthalle/Festplatz	12	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Saalburg- /Wittelsbacherallee	Ernst-May-Platz	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Saalburg- /Wittelsbacherallee	Freiligrathstraße	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Schießhüttenstraße	beide Richtungen	11	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Schwalbacher Straße	beide Richtungen	11,21	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Schwanthalerstraße	beide Richtungen	15,16,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Schwarzwaldstraße	beide Richtungen	15	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Schwedlerstraße	beide Richtungen	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Schweizer Straße/Mörfelder Landstraße	beide Richtungen	18,19	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Schweizer-/Gartenstraße	beide Richtungen	15,16,19	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Speyerer Straße	beide Richtungen	11,14,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stadion/Straßenbahn	beide Richtungen	21	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Stresemannallee	beide Richtungen	17	erfüllt*	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Gartenstraße (Li. 12)	beide Richtungen	12,17,19,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Gartenstraße (Li. 15)	beide Richtungen	15	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Gartenstraße (Li. 16)	Baseler Platz	16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Gartenstraße (Li. 16)	Otto-Hahn-Platz	15,16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Mörfelder Landstraße	Beuthener Straße	17,18,19	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Stresemannallee/Mörfelder Landstraße	Louisa Bahnhof	17,18,19	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Südbahnhof	beide Richtungen	15,16,18	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Südbahnhof/Schweizer Straße	beide Richtungen	18,19	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Tillystraße	Nied Kirche	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Tillystraße	Zuckschwertstraße	11	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Triftstraße	beide Richtungen	12,19,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Universitätsklinikum	beide Richtungen	12,15,19,21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Varrentrappstraße	beide Richtungen	16,17	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Vogelweidstraße	beide Richtungen	12,15,19, 21	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Waldau	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Waldfriedhof Goldstein	beide Richtungen	12,19	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Waldschmidtstraße	beide Richtungen	14	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Waldschulstraße	beide Richtungen	11,21	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Walter-Kolb-Siedlung	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	erfüllt	geeignet	
Wasserpark	beide Richtungen	18	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Weser-/Münchener Straße	beide Richtungen	11,12,14	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Wickerer Straße	beide Richtungen	11,21	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Wiener Straße	beide Richtungen	15,16	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	Behinderung des fließenden Verkehrs
Willy-Brandt-Platz	beide Richtungen	11,12,14	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	ungeeignet	
Zobelstraße	beide Richtungen	11	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Zoo	beide Richtungen	14	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	
Zoo (Wendeschleife)	-	-	erfüllt	erfüllt	erfüllt	bedingt geeignet	Einstiegshöhe nicht ebenerdig
Zuckschwerdtstraße	Bolongaropalast	11	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	ungeeignet	

Anlage 5: Interviewleitfaden

LastMileTram – Leitfragebogen - VGF

Chancen und Risiken

1. Aufgabe eines kommunalen Verkehrsunternehmens ist die Personenbeförderung. Welche Chancen sehen Sie durch die Beförderung von Gütern und Waren für das Unternehmen?
2. Welche Rolle und Aufgaben sehen Sie hier bei der VGF, und welche nicht?
3. Sehen Sie Risiken für den regulären Verkehrsbetrieb? Welche? Gibt es Lösungen?
4. Lassen das Schienennetz, der Fahrplan und die Taktzeiten weitere Fahrten in Frankfurt zu? Was sind die kritischen Punkte?
5. Gibt es hier Unterschiede zwischen Tram und U-Bahn?
6. Kann jede Haltestelle mit jedem Schienenfahrzeug angefahren werden? (Differenzierung Tram/U-Bahn)
7. Wäre es möglich, das Schienenfahrzeug gleichzeitig als Mikrodepot zu nutzen?

Rechtliche Rahmenbedingungen

8. Gibt es (rechtliche) Regelungen, Restriktionen, die den gleichzeitigen Transport von Gütern und Personen definieren?
9. Ist das gleichzeitige transportieren von Personen und Gütern möglich?
 - a. Wenn ja, wie im Detail?
 - b. Wenn nein, warum nicht? Was müsste erfüllt sein?
10. Welche Anforderungen werden an die transportierten Waren gestellt? (Größe, Sicherung, Art der Ware (Gefahrgut, Lebensmittel))
11. Wer würde aus Ihrer Sicht im Schadensfall für die Kosten aufkommen?
 - a. Beschädigungen des Schienenfahrzeugs beim Ein- oder Ausladen
 - b. Unsachgemäße Ladungssicherung
 - c. Störungen, Verspätung oder Ausfall einer Fahrt

Fahrzeuge, Umschlagpunkte und Kosten

12. Welche vorhandenen Schienenfahrzeuge wären für den Transport von Gütern- oder Waren geeignet? (Tram- und U-Bahn)
13. Welche Art von Haltestellen eignet sich aus Ihrer Sicht für den Umschlag von Waren vom Lkw auf die Tram oder U-Bahn und warum?
 - a. Mehrgleisige Endhaltestellen, Wendeschleifen, Depots, Haltestellen mit längeren Wartezeiten
14. Welche Kosten entstehen ca. pro Kilometer oder pro Stunde Bahnbetrieb? (Faustregel)
15. Wieviel kostet ein neuer Triebwagen?

Packstationen

16. Ist es möglich Packstationen an Haltestellen zu positionieren?
17. Was für Bedingungen gibt es für die Aufstellung?
 - a. Kann hier auf bestehende Infrastruktur zurückgegriffen werden? (Stromanschluss und Internet des Kartenautomaten?)

LastMileTram – Leitfragebogen - Hermes

1. Welchen Mehrwert würde sich für Hermes durch die Zustellung in die Innenstadt mit dem Schienenverkehr ergeben?
2. An welchen Standorten sind die Subunternehmer angesiedelt?
3. Wie sieht die Aufteilung der Zustellungsgebiete aus?
4. Wie werden die Pakete im Depot vorsortiert?
 - a. Ist es möglich Änderungen im Sortierungsprozess vorzunehmen?
 - b. Ist es möglich einen weiteren Sortierungsprozess einzubauen?
 - c. Bis zu welchem Volumen (m³ und kg) ist es möglich Pakete mit dem Fahrrad zuzustellen?
 - d. Welches Volumen müsste aus Ihrer Sicht pro Tour mit dem Lastenrad für einen wirtschaftlichen Betrieb ausgeliefert werden?
 - e. Kann direkt aus Hanau ins Depot geliefert werden?
 - f. Wie fein ist die Sortierung in Hanau?
5. Welche Anforderungen haben Sie an ein Lastenfahrrad (Diebstahlsicherheit, Vandalismus, Wasserdichtigkeit, Volumen, Zugriff von oben von der Seite, etc...)
 - a. Muss es in bestimmte Fahrzeuge hineinpassen?
 - b. Welche Lastenfahräder haben sich bereits als geeignet bewährt?
6. Welche Fahrzeuge werden künftig genutzt?
7. Was ist die direkte Belieferung in ein Mikro-Depot „wert“?
8. Ist die Abholung von Sendungen wichtig?
9. Wie hoch ist der B2B und B2C – Anteil?
10. Sind zeitliche Zustellfenster ein Thema / werden bedeutender?
11. Wäre auch eine Belieferung Tram – Hermes-Shop und retour denkbar?
12. Wer würde den Umschlagevorgang durchführen?
13. Wer würde aus Ihrer Sicht im Schadensfall für Kosten aufkommen?
 - a. Beschädigungen des Schienenfahrzeugs beim Ein- oder Ausladen
 - b. Unsachgemäße Ladungssicherung
 - c. Störungen, Verspätung oder Ausfall einer Fahrt

LastMileTram – Leitfragebogen - Bäckereien

Aktuelle Belieferung

14. Wie beliefern Sie aktuell Ihre Filialen?
 - a. Mit welchen Fahrzeugen?
 - b. Mit welchen Transportkisten?
 - c. Gibt es Corletten, in denen Sie die Ware transportieren?
 - d. Wie viel bekommt jede Filiale?
 - e. Wie oft wird jede Filiale pro Tag beliefert?
 - f. Wie gut sind die täglichen Touren planbar?
 - g. Was wiegt eine voll beladene Transportkiste?
 - h. Um wie viel Uhr beliefern Sie die Filialen?
 - i. Ist hier eine nächtliche Belieferung denkbar?
 - j. Gibt es „Express-Nachlieferungen“, wenn die Filiale „leer“ ist?
 - k. Wie wird entschieden, was noch geliefert wird?
 - l. Bei der Belieferung der Filiale: wie viele Personen arbeiten zu diesem Zeitpunkt in der Filiale und wie viele Personen führen die Belieferung durch?
 - m. Wie voll sind die Lieferfahrzeuge?
15. Wie viele Filialen haben Sie?
16. Wird an einer zentralen Stelle produziert oder produziert jede Filiale selbst? Wenn ja, wo?
17. Welche Art von Lieferfahrzeuge verwenden Sie (Anzahl, Emissionsklassen, Name des Fahrzeugs)?

Geplante Belieferung

1. Würde eine Belieferung mithilfe des ÖPNVs für Sie in Fragen kommen? Bitte erklären.
2. Welche Punkte sind besonders kritisch?
3. Kann durch eine passiv gekühlte Transportbox der Transport abgewickelt werden?
4. Welche hygienischen Regelungen müssen beachtet werden?

Literaturverzeichnis

- ACTiv fürs Klima: CO2-Emissionen im Individualverkehr. Online verfügbar unter http://www.aachen.de/DE/stadt_buerger/energie/activfuersklima/start/co2_einsparung_mobilitaet.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2020.
- ADAC (2019): ADAC Autokosten Herbst/Winter 2019/2020. Online verfügbar unter https://www.adac.de/_mmm/pdf/autokostenuuebersicht_m-r_47088.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2020.
- adfc (o.J.): Fahrrad-Mietboxen. Online verfügbar unter <https://www.adfc-bw.de/bodenseekreis/service/fahrradboxen/>, zuletzt geprüft am 26.02.2020.
- Allianz pro Schiene 2018 - Treibhausgasemissionen.
- Arbeitstage.org (2020): Arbeitstage 2020 Hessen. Online verfügbar unter <https://www.arbeitstage.org/hessen/arbeitstage-2020-hessen/>, zuletzt geprüft am 26.02.2020.
- Arvidsson, Niklas (2010): New perspectives on sustainable urban freight distribution: a potential zero emission concept using electric vehicles on trams. University of Gothenburg. Online verfügbar unter <http://www.wctrs-society.com/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/selected/02565.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2017.
- Beckmann, Holger (2004): Supply Chain Management. Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bogdanski, Ralf; Bayer, Marius; Seidenkranz, Markus (2018): Pilotprojekt zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste mit dem Mikro-Depot-Konzept auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014): Verkehrsprognose 2030.
- Bürger PRO CITYBAHN Wiesbaden (o. J.): Energieverbrauch von Straßenbahnen. Online verfügbar unter <https://procitybahn.de/energieverbrauch-von-strassenbahnen/#advgb-toc-1735447c-5ad1-4f85-91e1-6ad53b3ac266>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.
- Chiffi, Cosimo (2015): Delivering goods by cargo tram in Amsterdam (Netherlands). Online verfügbar unter <https://www.eltis.org/discover/case-studies/delivering-goods-cargo-tram-amsterdam-netherlands>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.
- Dampier, Alex; Marinov, Marin (2015): A Study of the Feasibility and Potential Implementation of Metro-Based Freight Transportation in Newcastle upon Tyne (3).
- Delhi Metro Rail Corporation Ltd.: Delhi metro to start cargo services on the airport express line on an experimental basis. Online verfügbar unter http://www.delhimetrorail.com/press_reldetails.aspx?id=7GS2nclwuyBuclld, zuletzt geprüft am 13.02.2020.
- Dresdner Verkehrsbetriebe AG (2010): Zehn Jahre "CarGoTram" der Gläsernen Manufaktur. Online verfügbar unter <https://www.dvb.de/de-de/meta/presse/pressemitteilungen/2010/11/10/zehn-jahrecargotramder-glaesernen-manufaktur/>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.
- Drewitz, Markus (2012): Transportlogistik mittels Güterstraßenbahn: Einsatzmöglichkeiten im RVR: AkademikerVerlag.
- Efficacy (2017): Testing TramFret on the Sain-Etienne tram network. Online verfügbar unter <https://www.efficacy.com/wp-content/uploads/2018/01/18-EN.pdf>, zuletzt aktualisiert am 13.02.2020.
- FIAT (2015): FIAT SCUDDO. Versionen und Preise. Online verfügbar unter https://www.fiat-koenig.de/fileadmin/downloads/pdf/preislisten/fiat-professional/Fiat_Scudo_PL-2015-01.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2020.
- Fochler, Vera (2006): Die GüterBim wird zur PackerlBim. Online verfügbar unter https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20061204_OTSO047/die-gueterbim-wird-zur-packerlbim, zuletzt aktualisiert am 28.01.2020.
- Forrest, Adam (2017): The electric trams shuttling car parts and groceries around European cities. French and German cities using trams to move products show how to cut congestion while making a profit from the network. Hg. v. The Guardian. Online verfügbar unter <https://www.theguardian.com/sustainable->

business/2017/jul/21/electric-trams-cities-groceries-europe-edinburgh-dresden, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Genta, Simone; Marangon, Flavio; Messina, Gabriella; Valentini, Maria Pia (2006): TADIRAM project: Organizational and technical proposals for Freight Distribution in the Sustainable City. Online verfügbar unter file:///C:/Users/L390Yoga/Downloads/tadiram_project_or1584.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Gerstl, Sonja (2019): Die Wiener "GüterBim": Das kurze Gastspiel der Transport-Straßenbahn. *Industrie Magazin*. Online verfügbar unter <https://industriemagazin.at/a/die-wiener-gueterbim-das-kurze-gastspiel-der-transport-strassenbahn>, zuletzt geprüft am 28.01.2020.

Gladel, Roswitha (o.J.): Was kostet ein Lkw im Monat? - Kalkulation der laufenden Kosten. Online verfügbar unter https://www.helpster.de/was-kostet-ein-lkw-im-monat-kalkulation-der-laufenden-kosten_134391, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Gorcun, Omer Faruk (2014): Efficiency Analysis Of Cargo Tram For City Logistics Compared To Road Freight Transportation: A Case Study Of Istanbul City. Online verfügbar unter <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/plusm/issue/view/166>, zuletzt geprüft am 12.02.2020.

Gutmann; Joachim (2017): Personalmanagement. 2. Auflage: HAUFE.

HEBEWERK e.V. (o.J.): Lastenräder für Eberswalde. Online verfügbar unter <https://lastenrad-eberswalde.de/wp-content/uploads/2019/08/Lastenrad-Info-Zusammenstellung.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2020.

Heinemann, Gerrit (2017): Der neue Online-Handel. Geschäftsmodell und Kanalexzellenz im Digital Commerce. 8., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.

Hessisches Ministerium für Umwelt; Klimaschutz; Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025, zuletzt geprüft am 16.10.2019.

Holtbrügge, Dirk (2018): Personalmanagement: Springer Berlin Heidelberg.

Icha, Petra (2019): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018. Unter Mitarbeit von Geschäftsstelle der AGEE Stat und Gunter Kuhs. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-10_cc_10-2019_strommix_2019.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

Japan for Sustainability (2011): Yamato Starts Using Streetcars for Low-Carbon Parcel Transport. Online verfügbar unter https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id031255.html, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Japan Visitor: Keifuku Randen Tram Line Kyoto. Online verfügbar unter <https://www.japanvisitor.com/kyoto/randen-tram>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

juris - Fachportal Steuerrecht: AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter. Online verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.pdf;jsessionid=8E7849AC1CB69770F46494F7D792A361.delivery1-master?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Karowski, Sascha (2018): Packerl-Tram: Bekommt München eine bahnbrechende Neuerung? Online verfügbar unter <https://www.tz.de/muenchen/stadt/muenchen-ort29098/cargo-trambahn-bekommt-muenchen-bahnbrechende-neuerung-10542161.html>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

KE-CONSULT Kurte & Esser GbR (2018): Kurier-Express-Paketdienste. Digitaler, Effizienter. Unter Mitarbeit von Klaus Esser und Judith Kurte. Hg. v. Bundesverband Paket & Express Logistik BIEK. Köln. Online verfügbar unter https://www.biek.de/files/biek/downloads/papiere/BIEK_KEP-Studie_2018.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2018.

KE-CONSULT Kurte & Esser GbR (2019): Kurier-Express-Paketdienste. Clever verpackt - effizient zugestellt. Hg. v. Bundesverband Paket & Express Logistik BIEK. Online verfügbar unter <https://www.biek.de/publikationen/studien.html>, zuletzt geprüft am 20.01.2020.

Kikuta, Jun; Ito, Tatsuhide; Tomiyama, Izuru; Yamamoto, Shu; Yamada, Tadashi (2012): New Subway-Integrated City Logistics System.

Kundenorientierter und behindertenfreundlicher ÖPNV. Teil 2: Betrieb nach BOSTrab.

Landeshauptstadt München (2018): Rathaus Umschau. Online verfügbar unter <https://ru.muenchen.de/pdf/2018/ru-2018-11-08.pdf>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Ligterink, N. E.; van Zyl, P. S.; Heijne, V.A.M. (2016): Dutch CO2 emission factors for road vehicles. Hg. v. Earth, Life & Social Sciences (TNO report). Online verfügbar unter [file:///C:/Users/L390Yoga/Downloads/TNO-2016-R10449%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/L390Yoga/Downloads/TNO-2016-R10449%20(7).pdf), zuletzt aktualisiert am 11.02.2020.

Malindretos, George; Abeliotis, Konstandinos (2011): City Solid Waste Logistics. The Case of Nea Smirni, Greece. Online verfügbar unter <http://www.fm-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-112-0/papers/MIC4139.pdf>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Neuhold, Gottfried (2005): Cargo Tram Zurich – The environmental savings of using other modes by Gottfried Neuhold – CEO. Hg. v. ERZ Entsorgung + Recycling Zürich. Online verfügbar unter http://www.bestufs.net/download/conferences/Amsterdam_Jun05/BESTUFS_Amsterdam_June05_Neuhold_ERZ.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2020.

Novak, Axel (2018): Berliner City-Hub: Güter-Trambahn ins Glück? Online verfügbar unter <https://logistik-aktuell.com/2018/06/21/berliner-city-hub-mit-der-tram/>, zuletzt geprüft am 12.02.2020.

o. V. (2018): Elektrofahrräder, unsere Rettung? Hg. v. Elektrofahrrad24. Online verfügbar unter <https://www.elektrofahrrad24.de/blog/elektrofahrraeder-unsere-rettung>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) (2010): Fahrstil. Kapitel 7: Fahrstil. Online verfügbar unter http://auto-umwelt.at/_print/7_Fahrstil.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Railway Gazette (01.03.2016): Delhi Metro launches experimental freight service. Online verfügbar unter <https://www.railwaygazette.com/42136.article>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Regué, Robert; Bristow, Abigail (2013): Appraising Freight Tram Schemes: A Case Study of Barcelona. Online verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/4256/e1cddebc80e02ec2ef3230810cc46dbf7e37.pdf>, zuletzt geprüft am 12.02.2020.

Riemann Produktdesign (o.J.): Logistiktram. Online verfügbar unter <http://www.logistiktram.de/index.html>.

Schäfer, Petra; Schocke, Kai-Oliver; Höhl, Silke; Quitta, Antje (2017): Wirtschaftsverkehr 2.0. Analyse und Empfehlungen für Belieferungsstrategien der KEP-Branche im innerstädtischen Bereich. Frankfurt am Main.

Spedition Kobusch: Fuhrpark. Online verfügbar unter <http://www.spedition-kobusch.de/unternehmen/fuhrpark/>, zuletzt geprüft am 16.01.2020.

Stadt Zürich (2020a): Cargo- und E-Tram. Online verfügbar unter https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/de/index/die_vbz/services/cargo_tram_und_etram.html, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Stadt Zürich (2020b): Entsorgungs-Kalender 2020. Online verfügbar unter https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/sauberes_zuerich/wo_%2B_wann_entsorgen/cargo-tram_und_e-tram.html, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Stadt Zürich Tiefbau- und Entsorgungsdepartement: Cargo-Tram und E-Tram. Online verfügbar unter https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/sauberes_zuerich/wo_%2B_wann_entsorgen/cargo-tram_und_e-tram.html, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2010): Kostenanteile einer Handwerkerstunde. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36642/umfrage/kostenanteile-einer-handwerkerstunde/>, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2018): Verdienste und Arbeitskosten. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitskosten-Lohnnebenkosten/Publikationen/Downloads-Arbeits-und-Lohnnebenkosten/arbeitskosten-bund-2163201169004.pdf;jsessionid=8B8FD355C4268D336136AF59B13DC99.internet742?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019): Verdienste und Arbeitskosten. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Verdienste-Verdienstunterschiede/Publikationen/Downloads-Verdienste-und-Verdienstunterschiede/arbeitnehmerverdienste-lange-reihe-pdf-2160240.pdf;jsessionid=8B8FDD355C4268D336136AF59B13DC99.internet742?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 26.02.2020.

Strale Mathieu (2014): The Cargo Tram: Current Status and Perspectives, the Example of Brussels. In: Sustainable Logistics, Bd. 6: Emerald Group Publishing Limited (Transport and Sustainability), S. 245–263.

SUGAR (2011): Sustainable Urban Goods Logistics Achieved by Regional and Local Policies. City Logistics Best Practices: a Handbook for Authorities. Online verfügbar unter www.sugarlogistics.eu, zuletzt geprüft am 28.01.2020.

Tadic, Snezana; Zecevic, Slobodan; Krstic, Mladen (2013): City Logistics Concepts of Belgrade. Online verfügbar unter <file:///C:/Users/L390Yoga/Downloads/CitylogisticsconceptsofBelgrade.pdf>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

The Japan Times (2016): Tokyo Metro to test parcel delivery services. Online verfügbar unter <https://www.japantimes.co.jp/news/2016/08/27/business/tokyo-metro-test-parcel-delivery-services/#.XkVrLGhKhaT>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

TU Harburg: Dresden: Güterstraßenbahn. Online verfügbar unter <http://www.vsl.tu-harburg.de/gv/4/test?menu=4c&inhalt=4c3>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Velove (o.J.): Produktdetails. Online verfügbar unter <https://www.velove.se/product-details>, zuletzt geprüft am 16.01.2020.

Vollmer, Julia (2017): Die Cargo-Tram ist wieder da. Hg. v. Sächsische SZ DE. Online verfügbar unter <https://www.saechsische.de/die-cargo-tram-ist-wieder-da-3644803.html>, zuletzt geprüft am 28.01.2020.

Zick, Florian (2018): Lieferverkehr auf Schienen. Kommen die Pakete bald mit der Tram. Online verfügbar unter <https://www.abendzeitung-muenchen.de/inhalt.lieferverkehr-auf-schienen-kommen-die-pakete-bald-mit-der-tram.fc95f4fd-336e-4e90-9d63-ca88424eaf34.html>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Zych, Maria (2014): Identification of Potential Implementation of the Cargo Tram in Warsaw. A First Overview.

