

DIPLOMARBEIT

Städtische Logistik in den Untergrund?

Problemfelder der städtischen Logistik
und Lösungspotenziale durch unterirdischen Güterverkehr

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Martin Berger
E280-05 | IVS
Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Jonathan Fetka

0931637

Wien am 10.09.2020

Abstract Deutsch

Zwischen 10% und 20% der straßengebundenen Verkehrsleistung in Städten ist auf den Güterverkehr zurückzuführen. Die verursachten externen Kosten des Güterverkehrs sind dabei deutlich höher als jene anderer Verkehre. Damit ist die städtische Logistik überproportional für durch den Verkehr verursachten Probleme wie Staus, Unfälle und Emissionen mitverantwortlich. Gleichzeitig gehen Prognosen von einem weiteren Städtewachstum, einem wachsenden Verkehrsvolumen wie einem zunehmenden Güterverkehr aus. Es ist also in Zukunft von keiner Besserung der Problematik auszugehen. Dagegen versuchen Städte mit Instrumenten wie City-Logistik-Projekten zu steuern. Ebenso wird sich von Trends wie der Digitalisierung, der Elektrifizierung, der Automatisierung ein großer Beitrag zu einer zukunftsfähigen, nachhaltigen Logistik erwartet. Die positiven Wirkungen sind jedoch – aufgrund struktureller wie technologischer Hürden – fraglich. Aus diesem Grund untersucht diese Arbeit die Möglichkeit der Verlagerung von Güterströmen in den Untergrund der Städte. Eine Verlagerung von Güterströmen in den städtischen Untergrund kann für eine Stadt große Vorteile bringen, weil so Leitungen gebündelt und Baustellen an der Oberfläche reduziert werden können. Anhand einer Beschreibung historischer Beispiele wie aktueller Projekte werden deren Wirkungsweise, Potenziale und Risiken beschrieben. Die Erkenntnisse werden anschließend am Beispiel Wien untersucht und in ein Modell übertragen, in welchem Verlagerungspotenziale und der Beitrag eines unterirdischen Gütersystems zu einer nachhaltigen Stadtlogistik abgeschätzt wird. Zum Abschluss werden die Ergebnisse mit Kennwerten anderer Projekte und weiterführenden Fragen in Bezug gesetzt. Es wird gezeigt, dass bei einem Gesamtnetz von 150 km bereits um die 70% der Lieferungen in den Untergrund verlagert werden könnten. Insbesondere durch die Einbeziehung der Versorgungseinrichtungen in den für die Instandhaltung zugänglichen Tunneln scheint der Bau mittel- und langfristig wirtschaftlich machbar zu sein. Durch die Förderung neuer und nachhaltiger Transportmittel auf der letzten Meile kann ein unterirdisches Logistiksystem die externen Effekte deutlich reduzieren, im prototypischen Beispiel Wiens um bis zu 60%

Abstract English

Between 10% and 20% of road transport performance in cities is attributable to freight transport. The external costs caused by freight transport are significantly higher than those of other forms of transport. This means that urban logistics are disproportionately responsible for problems caused by traffic such as congestion, accidents and emissions. At the same time, forecasts assume further urban growth, growing traffic volumes and increasing freight traffic. So, without measures taken, the situation seems likely to worsen rather than to improve. Cities are trying to counteract these dynamics with instruments of city logistics. Besides political measures, Trends such as digitalization, electrification and automation are also expected to contribute to sustainable logistics. However, the positive effects are questionable due to structural and technological hurdles. For this reason, this thesis examines the possibility of shifting the flow of goods to the underground of cities. Shifting freight flows into the urban underground can bring great advantages for a city, as it allows the bundling of good flows and the reduction of external effects on the surface. By means of a description of historical examples and current projects, the effects, potentials and risks of underground logistics tunnels are described. The findings are then examined by using Vienna as an example and transferred to a model in which the potential for relocation and the contribution of an underground freight system to sustainable urban logistics is assessed. Finally, the results will be related to parameters of other projects and fields of further research. It is shown that with a total network of 150 km, about 70% of the deliveries could be shifted underground. Especially by including utilities in tunnels accessible for maintenance, the construction seems economically feasible in the middle and long term. In fostering new and sustainable means of transportation on the last mile, an underground logistics system can significantly reduce the external effects, in a prototypical system in Vienna up to 60%.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich auf meinem Weg durch das Studium begleitet, mein Wissen erweitert sowie einen erfolgreichen Abschluss ermöglicht haben.

Allen voran sei Prof. Martin Berger für seine Begleitung, seine Inputs und sein Feedback gedankt.

Ein weiterer Dank geht an meine Studien- und ArbeitskollegInnen, die mir schöne (und lange) Jahre des Studierens ermöglicht haben. Shoutout auch an die Tigerbande und die Hedonismus Hacienda.

Ohne meinen Onkel Rudolf und meine Mutter Heidi wäre mir das Studieren bedeutend schwerer gefallen, ihre Unterstützung ist nicht selbstverständlich. Danke an meine Nichte Lea für den Motivationsschub. Und danke an meinen Vater Gerhard für die große Unterstützung in der Finalisierung dieser Arbeit.

Und letztlich ein Danke an meine Lena, die es während der Erstellung dieser Arbeit nicht immer leicht mit mir hatte und mich immer toll unterstützt hat.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt bzw. die wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, am

.....

Jonathan Fetka

Einverständniserklärung zur Plagiatsprüfung

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch- technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der ausgegebenen der an der TU Wien geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis - „Code of Conduct“ (Mitteilungsblatt 2007, 26. Stück, Nr. 257 idgF.) an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, am

.....

Jonathan Fetka

1. INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
1. HERAUSFORDERUNGEN UND STRUKTURELLER ZUGANG	2
1.1. Ausgangslage und Problemstellung	3
1.2. Gütertransporte in den Untergrund	5
1.3. Problemstellung und Forschungsfrage	6
1.4. Aufbau und Methoden	7
1.5. Abgrenzung	10
2. URBANER GÜTERVERKEHR – STÄDTISCHE LOGISTIK	12
2.1. Das logistische System einer Stadt – Städtische Logistik aus der Perspektive der Planung	12
2.1.1. Funktionale Betrachtung	12
2.1.2. Stadträumliche Betrachtung	13
2.1.3. Stadtkontextuelle Betrachtung	14
2.2. Ausgestaltung und Herausforderungen der städtischen Güterverkehre	15
2.2.1. Nachfrage und Angebot von Güterverkehr	15
2.2.2. Anteil des städtischen Güterverkehrs	16
2.2.3. Der Modal Split der städtischen Logistik	17
2.2.4. Eingesetzte Fahrzeuge	17
2.2.5. Die Atomisierung von Lieferungen	18
2.2.6. Auslastung und Ineffizienzen	20
2.2.7. Gütermengen und Güterarten	20
2.3. Die externen Kosten und Effekte des städtischen Güterverkehrs	22
2.3.1. Der Anteil der Logistik an den externen Kosten des Verkehrs	25
2.3.2. Der Anteil der städtischen Logistik an den externen Kosten des Verkehrs	26
2.4. Städtische Logistik im Spannungsfeld zwischen systemimmanenten und stadtplanerischen Zielen	28
2.4.1. Sichtweise und Ziele der Stadt- und Verkehrsplanung	29
2.4.2. Problemfelder und Maßnahmen	30
2.4.3. Ein System aus Subsystemen: Betreibervielfalt und Konkurrenz als Treiber negativer Effekte	38
2.5. Zusammenfassung und Bewertung von planerischen Maßnahmen	39
3. KONZEPTE, MASSNAHMEN UND INSTRUMENTE DER CITY-LOGISTIK	41
3.1. Die Entwicklung der „City-Logistik“ als Konzept	41
3.2. Die erste Generation der City-Logistik (transportlogistischer Ansatz)	42
3.3. Die zweite Generation der City-Logistik (dienstleistungsorientierter Ansatz)	42
3.4. Das Scheitern der City-Logistik	43

3.5.	Ordnungspolitik und technologischer Fortschritt als Grundpfeiler einer dritten Generation?	45
3.6.	Zusammenfassung und Ausblick auf die City-Logistik	47
4.	CITY-LOGISTIK DER ZUKUNFT: TRENDS, ENTWICKLUNGEN UND POTENZIALE	50
4.1.	Trends der urbanen Logistik	50
4.1.1.	<i>Digitalisierung</i>	52
4.1.2.	<i>Automatisierung</i>	53
4.1.3.	<i>Neue Antriebe – Elektrifizierung</i>	60
4.1.4.	<i>Schlussfolgerungen und Zusammenfassung</i>	63
4.2.	Entwicklungen – Von den Trends zu einer Reduktion des Fußabdrucks der Logistik	64
4.2.1.	<i>Sammel- und Verteilzentren</i>	65
4.2.2.	<i>Das Physical Internet</i>	68
4.2.3.	<i>Neue Transportmodi</i>	70
4.2.4.	<i>Schlussfolgerungen und Zusammenfassung</i>	76
4.3.	Untergrundlogistik als Chance?	77
4.3.1.	<i>Potenzial: Logistik in den Untergrund</i>	78
4.3.2.	<i>Bewertung der Potenziale</i>	80
4.3.3.	<i>Tabellarische Übersicht der unterschiedlichen Transportmodi</i>	81
4.3.4.	<i>Untergrundlogistik als Ergänzung zur herkömmlichen City-Logistik</i>	83
4.3.5.	<i>Projektionen einer zukünftigen Logistik</i>	84
5.	STÄDTISCHE LOGISTIK IM UNTERGRUND ALS INKUBATOR FÜR GANZHEITLICHE LÖSUNGSANSÄTZE	87
5.1.	Arten von Logistikinfrastrukturen im Untergrund	87
5.1.1.	<i>Urbanes Metrosystem</i>	89
5.1.2.	<i>Pipeline: Zentraler Antrieb</i>	90
5.1.3.	<i>Tunnel: Individueller Antrieb</i>	92
5.1.4.	<i>Tabellarische Zusammenfassung unterschiedlicher Modi der unterirdischen Logistik</i>	93
5.2.	Deskriptiv-analytischer Vergleich von Fallbeispielen	93
5.2.1.	<i>Der Pionier: Chicago</i>	95
5.2.2.	<i>Der Erfolgreiche: London. Post Office Railway</i>	98
5.2.3.	<i>Der Pragmatiker: Zürich: Die Post-U-Bahn</i>	99
5.2.4.	<i>Der Fundierte: Niederlande: OLS-ASH</i>	100
5.2.5.	<i>Der Visionär: Deutschland: CargoCap</i>	101
5.2.6.	<i>Der Moderne: Schweiz: Cargo Sous Terrain</i>	103
5.2.7.	<i>Die Hürden in der Implementierung eines neuen Transportsystems</i>	105
6.	MULTI UTILITY AND FREIGHT TUNNELS (MUFT) ALS NEUE STÄDTISCHE INFRASTRUKTUR	112
6.1.	Multi-Utility Tunnels als Element der Stadtplanung	112
6.1.1.	<i>Städtischer Untergrund: Eine begrenzte Ressource</i>	112
6.1.2.	<i>Die (langfristigen) Kosten einer mangelnden Strategie für den Untergrund</i>	113
6.1.3.	<i>Multi-Utility Tunnels als Lösungsansatz in der Praxis</i>	116
6.2.	Mögliche Funktionsweise eines unterirdischen Logistiksystems	118

6.3.	Wirkungen des MUFT: Analyse existierender praxisbezogener Studien und Daten	120
7.	POTENZIALANALYSE VON UNTERGRUNDLOGISTIK AM FALLBEISPIEL WIEN	124
7.1.	Zur Modellierung des städtischen Güterverkehrs	124
7.2.	Struktur von Bevölkerung und Beschäftigung in Wien	128
7.3.	Fahrten des Güterverkehrs in Wien	132
7.4.	Anteile und Kennwerte der NACE-Klassen am Güterverkehr	134
7.5.	Wirkungs- und Potenzialanalyse eines exemplarischen MUFT in Wien	140
7.5.1.	<i>Erschließungsstruktur und Trassierung</i>	140
7.5.2.	<i>Verlagerungs- und Einsparungspotenziale der Untergrundlogistik</i>	145
7.5.3.	<i>Bewertung der Wirkungen</i>	147
7.5.4.	<i>Abschließende Bewertung der Wirkungen</i>	150
7.5.5.	<i>Ausblick auf mögliche Folgen für das bestehende System</i>	151
7.5.6.	<i>Ausblick auf mögliche Einflussfaktoren für das zukünftige System</i>	152
8.	FAZIT UND AUSBLICK	155
9.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	162
10.	LITERATURVERZEICHNIS	169

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADE	Active disengagement – Eingriff in das Fahrverhalten
avV	automatisiertes und vernetztes Fahrzeug
BESTFACT	Best Practice Factory for Freight Transport
<i>BESTUFS</i>	<i>Best Urban Freight Solutions</i>
CCC	City Consolidation Center
CST	Cargo Sous Terrain
dB	Dezibel
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FMCG	Fast Moving Consumer Goods
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System
GüMoS	Gütermobilität in Städten
GV	Güterverkehr
GVZ	Güterverkehrszentrum
HGV	Heavy Goods Vehicle
IWT	Inland Waterway Transport
KEP	Kurier-, Express- und Paket-(Dienste)
Kfz	Kraftfahrzeug
Pkw	Personenkraftwagen
LCV	Light Commercial Vehicle
Lkw	Lastkraftwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MUFT	Multi Utility and Freight Tunnel
MUT	Multi-Utility Tunnel
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne; Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft

NMVO	Non-methane volatile organic compound – Nicht methanflüchtige organische Verbindung
NST 2007	Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport in der Revision von 2007
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
ODD	Operational Design Domain – (Fahr-)Umgebung eines Fahrzeugs
ÖNACE	Klassifikation wirtschaftlicher Tätigkeiten in Österreich, angelehnt an NACE
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	OpenStreetMap
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PDE	Passive disengagement – Eingriff in das Fahrverhalten
PI	Physical Internet
pkm	Personenkilometer
PM	Particulate Matter – Feinstaub
POI	Point of Interest
PV	Personenverkehr
SUMP	Sustainable Urban Mobility Plan
THG	Treibhausgas(e)
tkm	Tonnenkilometer
UCC	Urban Consolidation Center
UDC	Urban Distribution Center
ULS	Underground Logistics System(s)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
vkm	Vehikelkilometer
WKO	Wirtschaftskammer Österreich



Abbildung 01: Die Stadt will mit Gütern versorgt werden. Dabei entstehen Konflikte, die durch Maßnahmen der City-Logistik gelöst werden sollen. Quelle: Eigene Fotos

TU Wien Bibliothek verfügbar.
TU Wien Bibliothek

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TU Bibliothek
WIEN
Your knowledge hub

1. HERAUSFORDERUNGEN UND STRUKTURELLER ZUGANG

Städte und Stadtregionen stehen hinsichtlich ihrer zukünftigen Entwicklung vor vielfältigen Herausforderungen. Der Klimawandel, gesellschaftliche Prozesse und technischer Fortschritt verändern herkömmliche Paradigmen der Planung und zwingen Städte, neu über ihre Politik, Gesellschaft und gebaute Umwelt nachzudenken. Die Trends der Digitalisierung und der Automatisierung verstärken den Handlungsdruck auf Städte, die durch neoliberale Planungsmodelle, dezentralisierte Ökonomie und obsoletere administrative Grenzen ohnehin eingeschränkte (finanzielle wie gestalterische) Handlungsspielräume aufweisen. Währenddessen schreitet die Urbanisierung global voran – in Europa weisen die meisten urbanen Räume Wachstumsraten auf. Bevölkerungswachstum und ökologische, soziale wie technologische Entwicklungen treffen dabei auf ein in sich starres System der gebauten Umwelt Stadt. So deutet sich eine hohe Relevanz von hegemonialen Aushandlungsprozessen in der durch vielfältige Nutzungen und begrenzte Kapazitäten geprägten Stadt ab. Dies trifft vor allem auf das System der Straße zu. Hier kollidieren diverse Nutzungspotenziale mit einem steigenden Platzbedarf für Mobilität, öffentlichen Raum, Lebensqualität, Maßnahmen gegen den Klimawandel, Straßenrückbau etc. Durch die ökologischen, sozialen und ökonomischen Kosten des Straßenverkehrs ergibt sich so ein Spannungsfeld, welches einen schmalen Grat an möglichen ganzheitlich-nachhaltigen Lösungen bietet.

Ein im Vergleich zur Personenmobilität wenig behandeltes Thema stellt hierbei die Gütermobilität dar. Während es in der Personenmobilität deutliche Bestrebungen zur Verkehrsreduktion wie u.a. zum öffentlichen Verkehr, zu Fahrverboten, Ride- und Car-Sharing, autofreien Siedlungen, Maßnahmen zur Verhaltensänderung gibt, sind die Maßnahmen zur Reduktion des Güterverkehrs in Städten weniger sichtbar. Es gibt jedoch auch hier Instrumente, die auf eine Reduktion des Güterverkehrs und dessen Wirkungen auf die Stadt abzielen. Für die Zukunft sind technologische Entwicklungen wie Digitalisierung, Elektrifizierung und Automatisierung mit großen Hoffnungen bezüglich einer effizienteren und nachhaltigeren Mobilität verbunden. Angesichts der Unsicherheiten und langen Diffusionsphasen müssen diese Hoffnungen jedoch überprüft und evaluiert werden. Im Spannungsfeld aus nötigen Verkehrsreduktionen bei gleichzeitig notwendiger Versorgung mit Gütern und einer Reduktion der Belastung der Stadtbevölkerung fällt ein Beispiel besonders auf: der Lieferroboter auf den Gehsteigen San Franciscos.

Im Spätherbst 2017 verbannte die Stadt San Francisco autonome Lieferroboter von den Gehsteigen der Stadt mit dem Argument, dass öffentlicher Raum nicht länger eine Spielwiese für private Investoren sein dürfe. Die Verantwortlichen der Stadt reagierten damit auf die zunehmende Unzufriedenheit in der Bevölkerung – vor allem Polizei und BehindertenvertreterInnen artikulierten Bedenken zu Verkehrs- und Jobsicherheit sowie Barrierefreiheit. Das in raumplanerischem Sinne wesentlichste Argument war jedoch das der Verkehrsräume: Der ohnehin schon begrenzte Raum auf Gehsteigen musste plötzlich mit einem weiteren Verkehrsteilnehmer, dem autonomen Lieferroboter, geteilt werden (vgl. Wong 2017a; vgl. Wong 2017b). Exemplarisch spannt der Diskurs um die Lieferroboter San Franciscos somit das übergeordnete Thema dieser Arbeit auf: die Veränderungspotenziale im System der City-Logistik durch technologische Innovation.

Diese Diplomarbeit will einen Beitrag zur Debatte leisten, inwiefern Städte die sich bietenden technologischen Möglichkeiten nutzen können, um nachhaltige Systeme in lebenswerten Räumen zu ermöglichen. Es wird die Frage aufgegriffen, inwiefern ein Verkehrssystem etabliert werden kann, welches Emissionen und Verkehrsbelastung senkt. Dabei wird in der Arbeit der Teilaspekt der Logistik in Städten zuerst in seinen Ausprägungen und Auswirkungen untersucht und beschrieben, um in einem weiteren Schritt ein unterirdisches System der City-Logistik unter Einbindung der sich bietenden technologischen Möglichkeiten in seinen Ausgestaltungsmöglichkeiten und Wirkungen zu untersuchen.

1.1. AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG

Der Begriff der City-Logistik definiert grundsätzlich¹ ein Konzept zur Organisation und Optimierung von städtischen Güterverkehren nach ökonomischen, ökologischen, sozialen, energetischen, finanziellen und verkehrlichen Aspekten bei gleichzeitiger Betrachtung der Akteursnetzwerke. City-Logistik-Projekte können privat oder durch die öffentliche Hand organisiert sein (vgl. Taniguchi et al. 2001, S. 2–3; vgl. Ambrosini & Routhier 2004, S. 64). Städtische Güterverkehre beinhalten Güterbewegungen wie die „Zustellung eines Pakets an Online-KundInnen, die Belieferung des Supermarkts mit Frischgemüse, den Materialtransport von und zu Baustellen, die Abholung von Rest- und Wertstoffen, den Produktversand aus innerstädtischen Produktionsstandorten, den Botendienst zwischen Büros und vieles andere mehr“ (Schrapf et al. 2013, S. 17). Die Definition von städtischem Güterverkehr ist oftmals nicht einheitlich, was statistische Auswertungen hierzu erschwert. So werden private Güterverkehre bisher teilweise nicht als Güterverkehr gewertet².

Personenverkehr (PV)		Güterverkehr (GV)		
Privater PV (inkl. MIV, ÖPNV)	Wirtschaftsverkehr	Privater GV		
<ul style="list-style-type: none"> • Berufsverkehr • Freizeitverkehr • Bring- und Holfahrten • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Geschäftsreisen • Dienstreisen • Vertretungsfahrten • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Handwerkerfahrten • Notfalldienste • Taxiverkehr • Städtische Dienste • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Werksverkehr • Umzugsverkehr • Baustellenverkehr • Entsorgungsverkehr • Handelslogistik • Lieferdienste • Sondertransporte • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Privater Umzugsverkehr • Privater Entsorgungsverkehr • Einkaufsverkehr • ...

Abbildung 02: Gliederung städtischer Verkehre. Quelle: Eigene Darstellung nach Schaarschmidt 2011, S. 22; Schrapf et al. 2013, S. 31

Die Unterschiedlichkeit der Güter, der Wegeketten, der Transportmodi, der Transportgrößen, der Lieferzeitfenster, der Gewichte und Volumina, des Raums etc. stellen bei der gleichzeitigen Abhängigkeit vom mit anderen Verkehrsteilnehmern geteilten Straßenraum Hürden dar, die eine im semantischen Sinne funktionierende Logistik³ in der Stadt verhindern. Durch die Kumulierung unterschiedlichster Akteure und Warenströme auf begrenzten und mit anderen Nutzungen geteilten (Verkehrs-)Raum ist die städtische Logis-

1 Der Begriff der City-Logistik wird oft zur Beschreibung des allgemeinen städtischen Güterverkehrs allgemein verwendet. In dieser Arbeit referenziert City-Logistik explizit auf das System des Güterverkehrs nach einem konzeptuellen Eingriff.

2 Ambrosini und Routhier beschreiben die Verbindung aus räumlicher Dichte und Definition des Güterverkehrs. Während in Städten mit geringer Bevölkerungsdichte hauptsächlich gewerbliche Verkehre untersucht werden, inkludieren Städte mit höherer Dichte auch andere Verkehre (wie Entsorgung, private Güterverkehre) in deren Definition des städtischen Güterverkehrs (vgl. Ambrosini & Routhier 2004, S. 57–58).

3 Die Ziele der Logistik werden als die „6 R“ bezeichnet. Die R dienen als zu beachtende Regeln im Sinne einer optimalen Logistik sowohl als Dienstleistung als auch als System. Diese besagen, dass: die richtigen Gegenstände (Güter, Personen, Energie, Information), in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität/Zustand, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort (Quelle, Senke), zu den richtigen Kosten verfügbar bzw. transportiert werden sollen (vgl. Fortmann & Kallweit 2007, S. 24; vgl. Tchiendji 2015, S. 14–15). Durch technologische Innovation und ein sich veränderndes Verständnis der Logistik wird mittlerweile von den 7 R (der richtige Kunde) und den 8 R (die richtige Information) gesprochen. Diese gängigen Qualitätskriterien beschreiben somit die individuell anzustrebenden Ziele der Logistik, erschließen sich allerdings aus einer stark betrieblichen Sicht und lassen etwa Umwelteffekte oder stadtplanerische Ziele außer Acht.

tik eine hochkomplexe Materie (als System mit verschiedenen Subsystemen). Die Problematik der Koexistenz auf begrenztem Raum und negativen Effekten auf die Stadt ist allerdings keineswegs neu.

Schon bevor logistische Tätigkeit begrifflich abgegrenzt, explizit beforscht und als zu optimierendes Praxisfeld für Wirtschaft wie Planung gesehen wurde, war sie ein wesentlicher Teil unseres Gesellschaftssystems. Schon im antiken Rom war der Lieferverkehr untertags (von Sonnenaufgang bis 16 Uhr) verboten, im viktorianischen London wurden Tunnel für Postzüge gegraben, im Wien der Jahrhundertwende ein Rohrpostsystem für Leichentransporte entworfen (siehe S. 90). Es ist also bedeutend anzumerken, dass die City-Logistik, obgleich sie heute vielfach mit neuen Begriffen und ganzheitlicheren Konzepten operiert, keineswegs eine neue Disziplin darstellt.

Die beschriebene Dynamik von urbanen Nutzungs- und Interessenskonflikten zwischen Logistik und Stadtplanung sind also keineswegs neu, allerdings verschärft sie sich zusehends. Durch das Fortschreiten der Urbanisierung bzw. das Wachstum von Städten und Stadtregionen, durch die zunehmende Kleinteiligkeit von Last-Mile-Lieferungen und durch den konstanten Anstieg von Logistikströmen im urbanen Bereich nimmt der Anpassungsdruck auf die städtische Logistik weiter zu (vgl. Assmann & Behrendt 2016, S. 10). Die steigende Attraktivität der Städte hat zur Folge, dass innerstädtische Logistikflächen unter immer stärkerem Druck geraten. Mit den Stichworten der Nachverdichtung und der Flächenaktivierung werden innerstädtische Logistikflächen immer öfter zu den Haupttreibern städtischer Wohnraum- und Stadtteilentwicklung. So sind etwa in Wien auf den ehemaligen Logistikflächen des Nord- und des Nordwestbahnhofes große Stadtentwicklungsprojekte geplant. Abseits dieser großen Stadtentwicklungsgebiete weichen aufgrund steigender Grundstückspreise kleinere und singulär organisierte Logistikflächen wie Lager und Umschlagplätze zunehmend in das Stadt-Umland aus. Dieses Phänomen wird als „Logistics Sprawl“ beschrieben und durchaus kritisch diskutiert, da den positiven Aspekten der Nachverdichtung längere und räumlich konzentriertere Lieferwege gegenüberstehen können (siehe S. 35). Unter den Aspekten des Klimaschutzes und der Rückgewinnung von Straßenräumen für sanfte Mobilitätsformen und lebendigen öffentlichen Raum baut sich somit neuer Druck für den Logistiksektor in Städten auf.

Da Güter jedoch wesentlich zur Funktion einer Stadt beitragen und in die und aus den Städten gelangen, beziehungsweise sich in diesen bewegen müssen, steigt die Bedeutung von City-Logistik-Konzepten. Wurden diese zu Beginn der 1990er Jahre noch fast ausschließlich aus einer betriebswirtschaftlichen Sicht gedacht, hat sich mittlerweile die Bedeutung einer ganzheitlicheren, die Stadtplanung inkludierenden, Sichtweise bewiesen. Ein Blick auf aktuelle City-Logistik-Konzepte oder diesbezügliche Studien⁴ (etwa Basel, vgl. Wittenbrink et al. 2016) zeigt den Fokus auf die Entwicklung von Maßnahmen und Projekten unter einem möglichst holistisch denkenden Gesamtkonzept. Die Bemühungen zur Etablierung wirkungsvoller und funktionaler Konzepte werden durch die technische Entwicklung gestützt. Technologische Innovationen der Antriebe, in der Automatisierung und der Digitalisierung versprechen neue Lösungen für alte Probleme, wie ineffiziente Routenplanung, geringe Auslastung, ein hoher Anteil an Leerfahrten, hohe Emissionen und Kosten der Fahrzeuge bzw. Lieferungen. Bei genauerer Betrachtung der technologischen Entwicklung und Erkenntnisse bisheriger City-Logistik-Konzepte drängt sich jedoch die Frage auf, inwiefern die beschriebenen neuen Modelle die drängenden Probleme der städtischen Logistik tatsächlich umfassend lösen können. Oftmals als Einzelmaßnahmen gesetzte Entwicklungen, wie etwa die Umstellung von fossil betriebenen Lkw auf E-Motoren, die kleinteilige Lieferung von Gütern via Bots auf Gehsteigen oder die Nutzung von urbanen Hubs zur Etablierung von Lastenrädern lösen oder lindern zwar partikular bestimmte Probleme, stellen aber keine Lösung für weitere drängende Probleme des städtischen Güterverkehrs dar bzw. stehen

4 Zur weiterführenden Information: Ab Seite 44 wird in der „Urban Freight research roadmap“ von ERTRAC (vgl. ERTRAC 2015) eine Vielzahl an europäischen Projekten und somit Maßnahmen aufgelistet.

teilweise diametral zu stadtplanerischen Zielen⁵. Außerdem ist die technologische Reife gewisser Entwicklungen entweder noch fern oder lässt nur einen stark begrenzten Einsatz zu.

Problematisch ist der Fokus auf solche Lösungen zur Symptombekämpfung, da sich die Lage auf den Straßen (und damit die Effekte auf Stadt und Umwelt) durch die ursächliche Problematik der bestehenden Struktur des Güterverkehrs keinesfalls zu entspannen scheint. Im Gegenteil, für den straßengebundenen Logistikverkehr ist in der Centropo-Region für den Zeitraum 2005 bis 2030 ein Wachstum von 100% prognostiziert (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 10). Durch die Atomisierung von Lieferungen können neue Probleme entstehen. Treiber dieses Trends ist die starke Entwicklung des E-Commerce und damit des KEP-Sektors. Schon 2006 betrug der Anteil an KEP-Diensten am Logistikverkehr in deutschen Städten mehr als 35% (vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 3). Seit damals (bis 2018) wuchs die Zahl an Sendungen um 66% auf rund 3,5 Milliarden Sendungen pro Jahr an, was einem jährlichen Wachstum von 4,1% entspricht (vgl. BIEK 2019, S. 11). Über 80% der Sendungsmengen in diesem Bereich entfallen auf Pakete, die wiederum zu etwa 58% dem Bereich B2C (Business-to-Consumer) zuzuordnen sind (vgl. Zanker 2018, S. 107f.). Angesichts der dadurch verursachten zusätzlichen Fahrten bei geringen Sendungsgewichten erhält die Frage nach einer Verkehrsvermeidung und -verlagerung weiter Relevanz. Hier stellt die Verlagerung von Güterverkehren in den Untergrund eine mögliche Lösung dar.

1.2. GÜTERTRANSPORTE IN DEN UNTERGRUND

Mehrere Städte und Unternehmen haben im Verlauf der Jahrhunderte die Problematik des begrenzten Raums an der Oberfläche erkannt und mit einer Verlagerung bestimmter Verkehre in den Untergrund reagiert. Wie am Beispiel der U-Bahn im Personenverkehr existieren Projekte von Logistikverkehren, welche in den Untergrund verlagert wurden. So entstanden Infrastrukturen, die bestimmte Güter schnell, sicher und mit wenig Auswirkungen auf der Oberfläche zwischen bestimmten Orten transportieren sollten. In Chicago wurde etwa im frühen 20. Jahrhundert das gesamte Stadtzentrum in der Innenstadt untertunnelt, um Verkehr aus dem Stadtzentrum zu verbannen. In London errichtete die Post 1927 eine 10,5 km lange (damals schon fahrerlose) Untergrundstrecke, um den verstopften Straßen zu entkommen und in der Schweiz baute ebenfalls die Post einen Tunnel vom Bahnhof zum Hauptpostamt zum schnelleren Transport von postalischen Gütern (siehe S. 99). Das Beispiel der Rohrpost soll hier ebenfalls erwähnt sein: Es wurden Systeme auf der ganzen Welt erbaut – sie bestehen teilweise bis heute (wenn auch vor allem nur mehr innerbetrieblich). All diese Projekte eint ein begrenzter Einsatzraum, eine Begrenzung auf bestimmte Frachtgüter und eine nicht bis in die heutige Zeit andauernde Erfolgsgeschichte (obwohl sich solche Projekte historisch durchaus über längere Zeiträume bewährt haben). Einen neuen und konzeptuell erweiterten Anlauf gab es in jüngerer Zeit mit der Entwicklung der Projekte „CargoCap“ (ab 1998, Ruhrgebiet) und „Cargo Sous Terrain“ (ab 2013, Schweiz), bei denen der Fokus auf eine breitere Güterpalette ein gänzlich neues Verkehrssystem ermöglichen soll, um eine „5. Transportalternative für den Güterverkehr in Städten und Ballungsräumen als Ergänzung zu Straße, Schiene, Wasser und Luft“ (CargoCap o.J.a) zu schaffen.

Bei einer Logistikinfrastruktur im Untergrund ist von einem neuen System der Organisation von Lieferungen, Transportmodi und Umschlagflächen sowie einem erweiterten policy-getriebenen Handlungsspielraum der öffentlichen Hand durch Ausschreibungen, Gesetzgebungen und Förderungen auszugehen. Mit dem Ansatz eines gänzlich neuen Verkehrssystems kann so neben einer Entlastung des Straßenverkehrs und einer Reduktion von Emissionsbelastungen eines der größten Hindernisse einer erfolgreichen City-Logistik (bzw. eines nachhaltigen und effizienten Güterverkehrs) gelöst werden: nämlich, dass

⁵ Stadtplanerische Ziele werden hierbei als ein ganzheitlicher Ansatz definiert, der neben der bloßen Verbesserung der Auslastung und Effizienz des Güterverkehrs auch eine Reduktion der negativen sozialen und ökologischen Effekte des Güterverkehrs (wie Treibhausgasemissionen, Flächenverbrauch, Lärm etc.) anstrebt.

mangelndes Vertrauen zwischen Unternehmen Kooperationen, Zusammenarbeit und damit erfolgreiche Konzeptumsetzungen massiv erschwert. Doch sind moderne, umgesetzte Projekte rar gesät. Zwar nähert sich „Cargo Sous Terrain“ stetig einer erfolgreichen Umsetzung an, „CargoCap“ jedoch kam trotz vielversprechender Aussichten bisher nicht über den Projektstatus hinaus. Neben den USA (vgl. Shahooei et al. 2018) werden in China mögliche unterirdische Logistikinfrastrukturen als Verbindung von Logistik-POIs diskutiert (vgl. Chen et al. 2017, S. 201).

Obwohl sich die Verlagerung des Güterverkehrs in den Untergrund seit der Eröffnung der ersten Rohrpost in London im Jahr 1853 nie großflächig durchgesetzt hat, werden also weiterhin Projekte und Weiterentwicklungen hierzu durchgeführt. Dennoch: Neue Fracht-tunnelprojekte werden und wurden kaum errichtet, kommen selten über den Projektstatus hinaus oder wurden mittlerweile aufgrund mangelnder Rentabilität aufgelassen. Auch wenn unterirdische Güterinfrastrukturen also im Grunde (technisch wie systemisch) funktionieren und Entlastungen für die Oberfläche bringen, sind diese weit davon entfernt, wesentlicher Grundpfeiler städtischer Logistiksysteme sein. Dies liegt teilweise an den Kosten, teilweise an disruptiven Innovationen in der Kommunikations- wie Transporttechnologie, aber auch am mangelnden Umsetzungsdruck für Städte und Logistikunternehmen. Anhaltendes Städtewachstum, technologischer Fortschritt und die Klimakrise stellen jedoch Faktoren dar, die der Idee der Untergrundlogistik neuen Auftrieb verleihen können.

1.3. PROBLEMSTELLUNG UND FORSCHUNGSFRAGE

Aufgrund der sich abzeichnenden Verschärfung der Verkehrssituation an der Oberfläche und den aktuellen Trends und Möglichkeiten durch alternative Antriebe, Automatisierung und Digitalisierung lohnt sich ein erneuter Blick in den Untergrund – eine solche Verlagerung kann langfristig nicht nur aus (stadt)ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen sinnvoll sein (vgl. u.a. Allen 1929, S. 3; vgl. Hai et al. 2020, S. 12). Auch wenn gemeinhin davon ausgegangen wird, dass zukunftsfähige Konzepte der städtischen Logistik nicht aus einem Guss, sondern inkrementell umgesetzt und vielmehr einzeln, regional und situativ abgestimmt werden müssen (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 25), wird im Rahmen dieser Arbeit der Versuch gestaltet, doch ein möglichst ganzheitliches System der städtischen Logistik zu untersuchen und zu skizzieren. Dafür spricht, dass die Lerneffekte aus vielen City-Logistik-Projekten zeigen, dass kleine Projekte zwar für sich durchaus erfolgreich im Sinne einer Effizienzsteigerung sein können, aber aufwendig und kostenintensiv zu organisieren und implementieren sind und somit auf die Gesamtbilanz der Logistik in Städten nur geringe Auswirkungen haben (siehe S. 43). Es wird außerdem klar, dass politisch verordnete Programme und geförderte Infrastrukturmaßnahmen durchaus ein wesentlicher Indikator für erfolgreiche City-Logistik-Projekte sind (vgl. Vogel 2018, S. 5). Warum kehren Städte ihre Verkehrs- und Emissionsprobleme also nicht unter den buchstäblichen Teppich und verlagern die Logistik in den Untergrund, wie es durch die Errichtung von U-Bahnen schon mit dem Personenverkehr erfolgte?

Es stellt sich also angesichts historischer Lerneffekte die Frage, inwiefern einerseits breitere Produktpaletten in den Untergrund verlagert und wie die unter Berücksichtigung neuer technologischer Möglichkeiten und unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit (also unter Berücksichtigung von externen Kosten des Güterverkehrs) eine ökonomische Machbarkeit gegeben sein kann. Diese Arbeit lenkt den Blick auch auf die unter den Städten verlegten Utilities (wie Gas, Wasser, Telekommunikations- und Stromleitungen) sowie exemplarisch auf Wien. Dadurch soll das Potenzial für eine Verlagerung von Güterverkehr in den Untergrund abgeschätzt und die damit verbundenen Reduktionen der sozialen, ökonomischen und ökologischen Kosten diskutiert werden. Zurückgreifend auf die Ausgangslage der heutigen Herausforderungen, mit denen die städtische Logistik konfrontiert ist, soll damit eruiert werden, inwiefern ein unterirdisches Logistiksystem zu einer effizienten und nachhaltigen City-Logistik beitragen kann – und wie dieses dafür ausgestaltet sein muss.

Daher ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- 1) **Wie stellen sich die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen des Güterverkehrs in Städten dar?**
 - a. Welche Ziele formuliert die Stadtplanung an den städtischen Güterverkehr?
 - b. Wo existieren Zielkonflikte im Spannungsfeld wirtschaftlicher und stadtplanerischer Interessen und Maßnahmen der City-Logistik?
 - c. Welches Potenzial haben bestehende oder zukünftige Maßnahmen und Konzepte, um die negativen externen Effekte der Stadtlogistik zu reduzieren?

- 2) **Welchen Beitrag zu einer nachhaltigen Stadtlogistik kann eine unterirdische Infrastruktur für den Güterverkehr leisten?**
 - a. Welches Konzept bzw. System kristallisiert sich als sinnvoll heraus?
 - b. Welche modalen Verlagerungseffekte können sich am Fallbeispiel Wien ergeben?
 - c. Welches Reduktionspotenzial weist eine unterirdische Logistikinfrastruktur hinsichtlich der externen Effekte am Fallbeispiel Wien auf?

1.4. AUFBAU UND METHODEN



Abbildung 03: Externe Effekte und die zukünftige Entwicklung von Stadt, Gesellschaft und Logistik als Klammer der Betrachtung. Quelle: Eigene Darstellung

Im Zentrum der Arbeit steht eine Untersuchung der städtischen Logistik unter Berücksichtigung der externen Effekte des Verkehrs und der Entwicklung von Stadt und Logistik (siehe Abbildung 02). Dabei wird vor allem das System unter Berücksichtigung der systemlogischen Wechselbeziehungen betrachtet. Im Fokus der Arbeit stehen daher eher die Zusammenhänge und Wechselwirkungen sowie der Wirkungen von Teilelementen im und auf

das System. Nach der Typologie von Forschungs-, Technologie- und Innovationsprojekten (FTI-Projekte) der Logistik kann dieser Ansatz somit einer der komplexen, system-betrachtenden Stufen zugeordnet werden, womit die Arbeit eine raumplanerische und ganzheitliche Perspektive zum Fokus hat. Damit wird auf eine tiefgehende Analyse technischer wie ökonomischer Aspekte der städtischen Logistik verzichtet – Wechselwirkungen und System werden vor allem auf makroskopischer Ebene beschrieben.

Darunterliegende Abstufungen in der Komplexität – wie die Betrachtung von Prozessen, Komponenten, neuen Antrieben, neuen Verkehrsträgern, neuen Infrastrukturen sowie Synergien in der Logistik – werden in die systemlogische Betrachtung jedoch grundsätzlich mit einbezogen (vgl. Dörr et al. 2015, S. 150). Die Arbeit sucht damit nach einer Möglichkeit, die oft getrennt bearbeiteten Ansätze der Infrastruktur, Organisation und Transportmodi (vgl. Malindretos et al. 2018, S. 6f.) zu Optimierungsmöglichkeiten in der städtischen Logistik gemeinsam zu betrachten.



Abbildung 04: Einordnung der Arbeit in die Komplexitätstypologie von FTI-Projekten in der Logistik. Die Blau markierten Felder stellen den Hauptfokus der Arbeit dar. Quelle: Eigene Darstellung nach Dörr et al. 2015, S. 149.

Zu Beginn wird das logistische System der Stadt sowohl funktional als auch kontextuell wie historisch beschrieben. In dieser generalisierten Betrachtung soll die Bandbreite an logistischen Aktivitäten und Herausforderungen beleuchtet werden, was vorwiegend durch eine Desk Research bzw. eine Literaturanalyse geschieht. Anhand eines Datensatzes aus dem „Handbook on the external costs of transport“ der Europäischen Kommission (vgl. DG Move 2019) werden anschließend die vom Güterverkehr verursachten externen Kosten in Bezug zum Personenverkehr gesetzt und Ziele der Stadtplanung zur Mitigation dieser erklärt. Nach einem Ausblick auf aktuelle Maßnahmen der City-Logistik werden exemplarisch ein paar dieser Ziele bzw. Lösungen vorgestellt und analytisch eingeordnet (Kapitel 2).

In Kapitel 3 werden Konzepte und Maßnahmen der City-Logistik historisch und funktional erläutert. Nach einer Betrachtung der Gründe für Erfolg und Misserfolg von City-Logistik-Projekten werden Gründe für das Scheitern erörtert und Beispiele aus der heutigen Zeit an diesen Gründen verortet. Darauf baut ein Ausblick auf die Zukunft der City-Logistik und die sich zuspitzenden Themen der städtischen Güterverkehre auf. Anhand dessen werden bestehende und zukünftig angedachte Maßnahmen der City-Logistik analytisch verglichen und bewertet.

Nach dieser Reflexion der bisherigen Bemühungen in der City-Logistik und einer Analyse der zukünftig angedachten Lösungen richtet sich der Fokus in Kapitel 4 auf die sich abzeichnenden Trends und Entwicklungen, welchen Potenzial zugesprochen wird, die städtische Logistik positiv zu beeinflussen. Durch eine systematische, deskriptiv-analytische Bewertung werden die tatsächlichen Veränderungs- und Wirkpotenziale diskutiert. Anhand dieser Erkenntnisse wird sodann das Potenzial der Verlagerung von Gütern in den Untergrund unter Bezugnahme mehrerer Publikationen und unter Berücksichtigung der Möglichkeiten durch Trends und Entwicklungen beschrieben.

In Kapitel 5 werden verschiedene Arten von unterirdischen Gütertransportinfrastrukturen anhand von Fallbeispielen im historischen Zeitraffer vorgestellt und untersucht. Fünf Beispiele werden detaillierter beschrieben. In einer Gegenüberstellung werden dann Gemeinsamkeiten – wie die Herausforderungen der Verlagerung von Logistik in den Untergrund bzw. die Schaffung neuer Verkehrsinfrastrukturen – dargestellt. Dies erfolgt neben einer Analyse der Fallbeispiele und der Literatur ein Exkurs über die Diffusionstheorie, um so Risiken und Hürden aus einer historischen Sicht abschätzen zu können.

In Kapitel 6 wird nach möglichen Synergien im Untergrund gesucht und das Konzept der Multi-Utility Tunnels (MUT) vorgestellt. In diesen, in zahlreichen Städten bereits existierenden Infrastrukturen, werden Leitungen und Kabel gebündelt in zugänglichen Tunneln verlegt, was bereits jetzt einen langfristig kostensparenden Faktor für Städte darstellt. Mittels Literatur werden diese Potenziale ergründet und dargestellt. Die gesammelten Erkenntnisse werden in einem theoretischen Modell einer unterirdischen Güterverkehrsinfrastruktur zusammengefasst und das System der Verteilung, Verlagerung und Bündelung erklärt. Ebenso werden grundlegende Wirkungen skizziert.

In Kapitel 7 werden die durch Literaturrecherche und Interviews erlangten Erkenntnisse am Beispiel Wien verräumlicht. Anhand von statistischen Daten zum Güterverkehrsaufkommen und zu Gütermengen nach NST 2007 und NACE bzw. ÖNACE⁶ wird ein lokales Abbild der stadtspezifischen Logistik-POIs in Wien mittels Geoinformationssystem (GIS) dargestellt. In Rastern von 250 x 250 Metern wird sich dann dem Logistikaufkommen Wiens angenähert – es werden Zonen mit hohem Aufkommen identifiziert. Die aus der quantitativen und grafischen Datenanalyse gewonnenen Erkenntnisse beziehen sich exemplarisch auf Untergrunddaten des zentralen Leitungskatasters der Stadt Wien, um Potenzialflächen für städtische Untergrundlogistik zu eruieren und zu begründen. Darauf aufbauend wird das theoretische Konzept der Logistiktunnel räumlich angewandt und es werden die Verlagerungs- und Einsparungspotenziale bezüglich der Verkehre an der Oberfläche und der möglichen Reduktion von externen Kosten (sozial, ökonomisch, ökologisch) beschrieben. Anschließend werden auch die verschiedenen Aspekte der Machbarkeit in Errichtung und Betrieb diskutiert. Ebenso werden mögliche systemische Effekte und Wirkungen der zukünftigen Entwicklung auf das, und des Systems dargestellt.

Im abschließenden Fazit (Kapitel 8) werden in Bezug auf die Forschungsfragen die Arbeit zusammengefasst und Aspekte der Raumwirkungen, des Forschungsbedarf und der Datengrundlagen beschrieben. Somit kann ein Überblick samt räumlicher Konkretisierung sowie abgeschätzten Auswirkungen gegeben werden.

6 NST 2007: Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik; NACE Rev. 2 (folgend immer als NACE betitelt): Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft; ÖNACE: Wie NACE, nur an die Besonderheiten der österreichischen Wirtschaftstätigkeiten angepasst.

	Kapitelname	Inhalt	Methoden
1	Herausforderungen und struktureller Zugang	Thematischer Überblick, Heranführen an die Forschungsfrage, Darstellung abgewandter Methoden und Überblick der Struktur der Arbeit	Literaturrecherche, Teilnahme an Workshops, Interviews
2	Urbaner Güterverkehr – Städtische Logistik	Darstellung der (externen) Effekte des Güterverkehrs auf Stadt, Gesellschaft und Umwelt	Literaturrecherche, Berechnungen anhand eines Datensatzes der Europäischen Union, systemische Bewertung von Effekten
3	Konzepte, Maßnahmen und Instrumente der City-Logistik	Erklärung des Konzepts wie Darstellung der Evolution von Maßnahmen der City-Logistik	Literaturrecherche, deskriptive Analyse
4	City-Logistik der Zukunft: Trends, Entwicklungen und Potenziale	Ausblick auf die mögliche Zukunft der City-Logistik und Bewertung der Veränderungspotenziale durch technologische Entwicklung	Vergleichende Literaturrecherche, systemische Bewertung der Trends und Entwicklungen anhand der 3 V der Verkehrsplanung sowie anhand von Zielen der Stadtplanung
5	Städtische Logistik im Untergrund als Inkubator für ganzheitliche Lösungsansätze	Erklärung und Darstellung der grundsätzlichen Potenziale einer Verlagerung der Gütertransporte in den Untergrund hinsichtlich der negativen externen Effekte des Güterverkehrs	Deskriptiv-vergleichende Analyse von Fallbeispielen aus der Literatur, Einordnung anhand der Diffusionstheorie
6	Multi Utility and Freight Tunnels (MUFT) als neue städtische Infrastruktur	Darstellung des Konzepts einer netzbildenden Güterinfrastruktur im Untergrund der Städte	Systemische Beschreibung
7	Potenzialanalyse von Untergrundlogistik am Fallbeispiel Wien	Analyse der Machbarkeit am Fallbeispiel Wien: Netzbildung, Analyse und Bewertung möglicher Effekte und Einflussfaktoren	Modellierung und Bewertung anhand verschiedener Datensätze (u.a. KiT 2010) auf der Ebene der Verkehrserzeugung, Bewertung anhand eines GIS-Modells und Fallbeispielen aus der Literatur
8	Fazit und Ausblick	Reflexion der möglichen Wirkungen von unterirdischen Gütertransporten angesichts von Stadtwachstum und Klimawandel	Aus- und Rückblick

Abbildung 05: Aufbau, Inhalt und Methoden der Arbeit. Quelle: Eigene Darstellung

1.5. ABGRENZUNG

Wie auch schon in Abbildung 03 beschrieben, fokussiert die Arbeit vor allem auf Wechselwirkungen und Einflussfaktoren im System der städtischen Logistik anhand einer system-internen Logik und anhand exogener Ziele. Der daraus abgeleitete, und im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtete Faktor, ist die Logistik im Untergrund.

Eine Evaluierung hinsichtlich der u.a. Betreiberkonzepte und organisatorischen, rechtlichen, planungspolitischen, bautechnischen wie volks- und betriebswirtschaftlichen Machbarkeiten steht dabei nicht im Fokus. Es wird vielmehr ein Versuch unternommen, mögliche Wirkungen einer unterirdischen Logistik im Stadtraum räumlich strukturiert und quantitativ wie qualitativ hinsichtlich der modalen Verlagerungseffekte und der Reduktionspotenziale externer Effekte zu eruieren. Dies soll durch ein Abbild des lokalen Logistikaufkommens erreicht werden, anhand dessen weitere Analysen durchgeführt werden. So wird ein räumliches Modell der Logistikintensität erstellt, was sowohl qualitative (neue Logistikkonzepte, verbesserte Aufenthaltsqualität in Straßenräumen, Wirkungen auf den Stadtraum u.a.) als

auch quantitative (verursachte km, Emissionen, Straßenbelegung u.a.) Rückschlüsse zu einer möglichen unterirdischen Belieferung zulässt. Diese Untersuchung erfolgt am Fallbeispiel Wien. Da bisher nur wenige Studien die Potenziale von Untergrundlogistik in Städte untersucht haben und im Rahmen dieser Arbeit keine Untersuchung zu netzbildenden Infrastrukturen im Untergrund bekannt waren, können den Erkenntnissen aus dem Modell und Fallbeispiel Wiens nur wenige Daten gegenübergestellt werden⁷.

Die Arbeit orientiert sich damit inhaltlich, strukturell und methodisch an:

- a. der Verfügbarkeit und Anwendbarkeit von Daten
- b. den durch Literatur und Inhalt vorgegebenen thematischen Abgrenzungen
- c. einer dem Bearbeitungsaufwand einer Diplomarbeit angemessenen Vorgangsweise.

Im Rahmen der Arbeit einbezogen		Fokus
Verlagerungspotenziale	Analyse und Bewertung der möglichen Verlagerungs- und Einsparungspotenziale an Fahrten und externen Kosten	●
Ökologische Wirkungen	Berechnung der möglichen Reduktion an externen Kosten unter Berücksichtigung der Ermöglichung modaler Verlagerungen	●
Systemische Wirkungen	Betrachtung der Wirkungen im Gesamtsystem der städtischen Logistik	●
Ökonomische Machbarkeit	Annäherung durch deskriptive Beschreibung und Vergleich von Fallbeispielen	●
Judikative Machbarkeit	Blitzlichter, Bezugnahme und Erfahrungen aus bisherigen Projekten	●
Politische Machbarkeit	Darstellung möglicher Steuerungseffekte, Implikationen und der Stakeholderlandschaft	●
Geologische Machbarkeit	Hinweise auf den Einfluss der Geologie auf die Kostenstruktur	●
Bautechnische Machbarkeit	Hinweise auf bautechnische Möglichkeiten und weiterführende Literatur	●
Betriebskonzepte	Hinweise auf mögliche Betriebskonzepte und diesbezügliche Herausforderungen	●
Stakeholderintegration und Planungsprozess	Hinweise auf die unterschiedlichen Zielsetzungen der Stakeholder und daraus entstehende Herausforderungen	●
Zeitliche Komponente	Die Verlagerungspotenziale berufen sich auf einen Ist-Zustand. Hinweise auf Synergie- und weiterführende Effekte in der Zukunft	●
Räumliche Komponente	Die Verlagerungseffekte wurden exemplarisch für Wien untersucht. Hinweise auf Studien anderer Metropolregionen	●

Großer Kreis: Hauptfokus, ausgiebig beschrieben; Mittlerer Kreis: Mitfokus, weitreichend beschrieben; Kleiner Kreis: Nicht im Fokus, Hauptelemente beschrieben

Abbildung 06: Thematische Abgrenzungen und Bearbeitungsumfang des Themas der Untergrundlogistik. Quelle: Eigene Darstellung

⁷ Untersuchungen wie Machbarkeitsstudien existieren u.a. zu ökonomischen (vgl. Maibach et al. 2016; vgl. Stein 2014b), zu judikativen (vgl. Stein 2014b), bautechnischen (etwa durch die Machbarkeitsstudie zu Cargo Sous Terrain, referenziert in Maibach et al. 2016; vgl. Stein 2014b) und systemisch-politischen (vgl. Chen et al. 2017; vgl. Hai et al. 2020) Aspekten.

2. URBANER GÜTERVERKEHR – STÄDTISCHE LOGISTIK



Abbildung 07: Verkehrsoptimierung oder grüne, lebenswerte Städte? Seit langem ein Diskurs der praxisorientierten Stadtplanung. Quelle: Zur Verfügung gestellt von Ernst Lung (bmvit). Viktor Grün (links), unbekannt (aus dem Archiv des Instituts für ökologische Stadtentwicklung, rechts).

2.1. DAS LOGISTISCHE SYSTEM EINER STADT – STÄDTISCHE LOGISTIK AUS DER PERSPEKTIVE DER PLANUNG

Durch die Verschiedenheiten der Betrachtungstiefe und der Definition der Fachdisziplin der Logistik vor allem aus städtischer Sicht wird klar, wie unterschiedlich die (Raum-)Wirkungen und Herausforderungen aufgrund der vielen Teilbereiche der Logistik sein können. Die große Bandbreite an logistischen Aufgaben und disziplinären Teilbereichen und deren Wirkung und Abhängigkeit von verschiedenen Teilräumen ergibt eine große Varianz des jeweilig spezifischen lokalen Kontexts und damit der Handlungsfelder für die Raum- bzw. Stadtplanung (vgl. BMVBS 2010, S. 56).

Aufgrund der bisher oft isolierten Ansicht der Logistik als betriebliche Aufgabe, Wirtschaftsfaktor und/oder verkehrsplanerische Herausforderung, hat sich aus Sicht der Raumplanung noch keine eindeutige Definition und damit kein eindeutiges Aufgabenspektrum herauskristallisiert (vgl. Vallée 2012, S. 1ff.), wobei der Trend in Richtung einer stärkeren Inklusion stadtplanerischer Agenden in die logistischen Konzepte geht. Um die Logistik aus einer raumplanerischen Sicht zu erfassen, ist daher die Betrachtung der Vielfältigkeit des Begriffes und die Unterteilung in Teilbereiche sowie ein historischer Blick auf die Entwicklung von City-Logistik-Konzepten notwendig. Erst dadurch wird ein klarerer Überblick zu Teilbereichen, Wirkungen und Maßnahmen in bestimmten Räumen möglich und man kann sich der Aufgabe der „*Quadratur des Kreises*“ (Vogel 2018, S. 1) widmen.

Die städtischen Güterverkehre sind von mehreren Komponenten abhängig, welche die Wirkkraft von Maßnahmen und Instrumenten ebenso wie die Problemlagen spezifisch beeinflussen. Die Elemente können als funktionale, stadträumliche und stadtkontextuelle Spezifika beschrieben werden.

2.1.1. FUNKTIONALE BETRACHTUNG

Logistik kann auf unterschiedliche Weisen betrachtet, abgegliedert und beschrieben werden. Die folgende funktionale Abbildung gibt einen Überblick über die funktionale Gliederung der in einem holistischen Sinn zu beachtenden Elemente:

Distinktionsmerkmal	Beschreibung	Weiterführende Quellen
Logistikobjekte und Eigenschaft	Welche Güter werden transportiert? Wie sind diese beschaffen?	vgl. Schrapf et al. 2013, S. 32; vgl. Gérardin et al. 2000, S. 24ff.
Transportbehälter	Wie werden die Güter transportiert?	vgl. Martin 2011, S. 59–96; vgl. Lackner & Zsifkovits 2006
Verkehrsträger und Modus	Womit werden die Güter transportiert?	vgl. Kummer et al. 2014, S. 55; vgl. WKO 2019, S. 59; KiD 2002; KiD 2010
Transport- bzw. Verkehrsraum	Wo/Wohin werden die Güter transportiert?	
Zeitliche Begrenzung	Wann/In welchem Zeitraum sollen die Güter transportiert werden?	vgl. Schrapf et al. 2013, S. 32
Nachfrage (Senke)	Wer fragt die Güter nach?	vgl. Schrapf et al. 2013, S. 28f.; vgl. Oexler 2002, S. 60
Angebot (Quelle)	Wer transportiert Güter?	

Abbildung 08: Distinktionsmerkmale in der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung.

2.1.2. STADTRÄUMLICHE BETRACHTUNG

In einer stadträumlichen Betrachtung werden die teilräumlichen Unterschiede für den Güterverkehr (vor allem aufgrund der Quelle/Senken und verkehrsräumlichen Situation) klar:

Die räumliche Unterschiedlichkeit im Logistikaufkommen erschwert Modellbildungen und City-Logistik-Projekte, da der lokale Kontext oft neu erfasst werden muss. Viele Projekte sind daher auf bestimmte Teilbereiche der Stadt, etwa die Innenstädte, beschränkt, da eine Erfassung aller Teilbereiche einen zu hohen Komplexitätsgrad aufweisen und die erfolgreiche Umsetzung erschweren würde.

Raum	Eigenschaften
Innenstadt & Nebenzentren:	Durch die hohe Konzentration des Handels und der Gastronomie sowie die Heterogenität und Kleinteiligkeit von Lieferungen erfolgt eine räumliche Konzentration eines großen Teils des innerstädtischen Verkehrsaufkommens.
Gewerbegebiete/ Mischgebiete:	Durch die hohe gewerbliche Dichte bzw. den gewerblichen Besatz entsteht eine hohe Konzentration von Quell- und Senkenverkehren. Relevante Akteure sind hier die produzierende Industrie sowie teils der Handel (durch Fachmarktzentren & Großhandel).
Transport-gewerbegebiete	Hier befinden sich die großen Logistikumschlagplätze, wie Frachtzentren, Güterbahnhöfe, Standorte von Logistikunternehmen. Durch Optimierungsprozesse und billigere Grundstückskosten haben sich in den letzten Jahren zunehmend große Flächen im Umland der Städte gebildet (Logistics Sprawl).
Konstante & wechselnde Einzelstandorte:	Neben den konstanten Einzelstandorten großer Unternehmen bilden sich etwa durch Baustellen wechselnde Quellpunkte der Logistik heraus. Während die einen Schwerpunkte historisch gewachsen und Logistikströme oft infrastrukturell abgebildet sind, wirken inkonstante Verkehre immer wieder irritierend auf das Gesamtverkehrssystem einer Stadt.
Wohn- & Mischgebiete:	Diese Gebiete sind vor allem Ziele des Kleinliefer- (wie KEP-Dienste) und Dienstleistungsverkehrs (Handwerker, etc.). Zunehmende Relevanz erhalten diese Gebiete durch den anhaltenden Boom der KEP-Dienste & des E-Commerce. Die Transporte erfolgen hier kleinteilig und weisen eine erhöhte Nachfrage in Nachmittags-/Abendstunden auf.

Abbildung 09: Räumliche Gliederung nach Merkmalen der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung nach Hatzfeld & Hesse 1996, S. 406–407.

2.1.3. STADTKONTEXTUELLE BETRACHTUNG

Zur Beschreibung und Analyse des spezifischen lokalen Kontexts eines Viertels, einer Stadt oder einer Region sind laut Allen, Thorne und Browne folgende Faktoren wesentlich:

- Die jeweilige Branchenstruktur und die Standorte von liefernden und belieferten Unternehmen
- Die Organisation und Zusammensetzung der jeweiligen unternehmensspezifischen Supply Chains
- Die Art und Qualität der vorhandenen Transportinfrastruktur
- Die Größe und Lage der Lager und Umschlagplätze
- Die jeweiligen transportrelevanten lokalen Policies wie Fahrverbote/Beschränkungen für Fahrzeuge im Stadtverkehr oder konkrete City-Logistik-Projekte
- Die lokal-spezifische Verkehrssituation und Verkehrsbelastung entlang verschiedener Straßen- und Stadträume
- Die Affinität der Bevölkerung zum E-Commerce (vgl. Allen et al. 2007, S. 6).

Es lässt sich also feststellen, dass die Akteursvielfalt, die räumlich-strukturellen Spezifika und gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Gegebenheiten die Stadtlogistik zu einem System aus räumlich und modal wie strukturell fragmentierten, aber eng verwobenen Subsystemen formen. Es herrschen starke Wechselwirkungen zwischen verkehrlichen Anforderungen und der gebauten Umwelt. Gleichzeitig bietet jeder Teilraum, in welcher Skalierung er auch immer betrachtet wird, Eigenarten und Potenziale für nachhaltigere Formen der Logistik. Dies erschwert eine einheitliche Lösungsfindung bzw. erfordert eine ständige Anpassung von Instrumenten der City-Logistik.

Abgesehen davon beeinflusst die Logistik den Raum. Während in dicht bebauten Gebieten auf Gehsteigen oder in der zweiten Reihe parkende Lieferwägen das Raumbild und die Raumnutzung mitbestimmen, ist es auch der Lieferverkehr, der Außenbezirke oft zu Transitzonen macht, in denen der Verkehr wenige Ziele aufweist und nur die Infrastruktur nutzt.

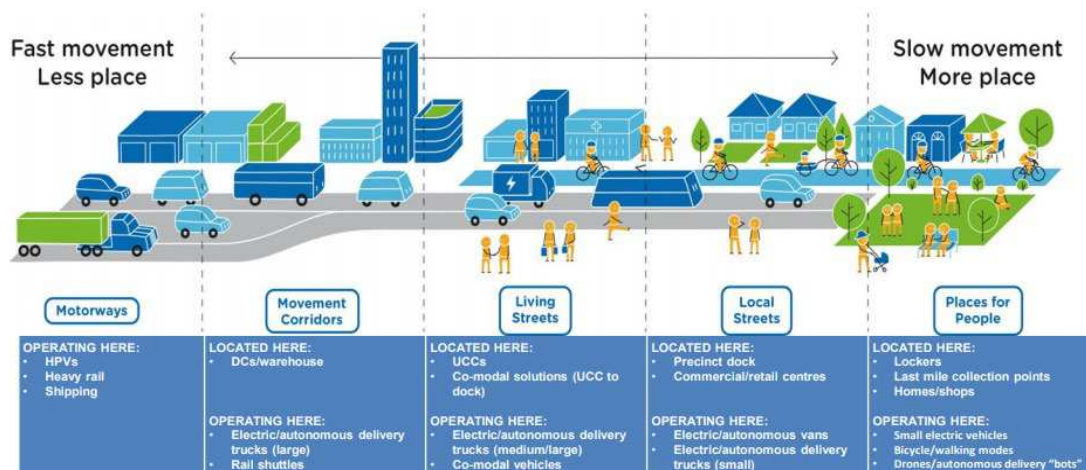


Abbildung 10: Räumlich-logistische Wechselwirkungen: Unterschiedliche Raumstrukturen bedingen unterschiedliche Verkehre. Quelle: Stokoe 2018, S. 8.

2.2. AUSGESTALTUNG UND HERAUSFORDERUNGEN DER STÄDTISCHEN GÜTERVERKEHRE

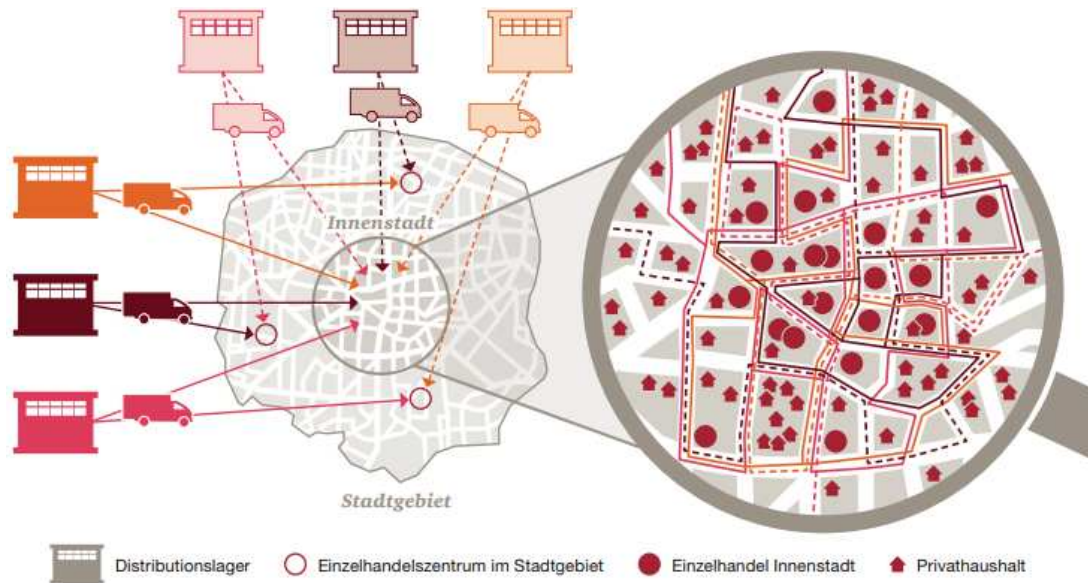


Abbildung 11: Redundante Distributionsstrukturen in der heutigen städtischen Logistik. Quelle: Prümm et al. 2017, S. 11

2.2.1. NACHFRAGE UND ANGEBOT VON GÜTERVERKEHR

In Städten fragen KonsumentInnen, Handel, Gastronomie, Produktion, Baustellen, Handwerker, städtische Dienste etc. Güter nach (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 28f.; vgl. Oexler 2002, S. 60). Der Ort der Nachfrage (der Zielort des Gütertransports) wird als „Senke“ bezeichnet, der Ausgangsort einer Lieferung als „Quelle“. Die jeweilige räumliche Konzentration und die Verteilung innerhalb dieser Gruppe sind entscheidend für den lokalen Kontext. So stehen Wohngebiete durch das Wachstum des Onlinehandels vor einer Neuordnung des transportlogistischen Systems. In Wien werden beispielsweise pro Person monatlich rund 60 kg an Verbrauchsgütern konsumiert (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 28). Der Anteil jener, die Lebensmittel (diese bilden den großen Hauptanteil in der Gruppe der Verbrauchsgüter) ab und an online bestellen, liegt mit 6% jedoch an 16. Stelle (etwa hinter Textilien, Büchern, Kosmetik, Möbeln, Schmuck, etc., vgl. Gittenberger et al. 2018). Dies zeigt exemplarisch die enormen weiteren Wachstumsmöglichkeiten für den KEP-Sektor in diesen Stadtgebieten auf. Weiters prägen die Spezifika der Nachfragenden die Logistikströme in der Stadt durch ihre jeweilige Struktur. In Österreich zum Beispiel weist der Einzelhandel große Verkaufsflächen und eine Kumulierung vieler verschiedener Waren auf (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 28), wohingegen in südlicheren Ländern Europas der Einzelhandel in Innenstädten oft noch kleinteiliger strukturiert ist. Diese großen Supermärkte erzeugen konstant hohe Logistikströme, die gegenüber dem Einzelhandel gebündelter und damit effizienter gestaltet sind. Kumuliert ist der Einzelhandel in manchen Städten für bis zu 40% der täglichen Lieferungen verantwortlich, während etwa der Bausektor für rund 30% der transportierten Tonnen – und damit für einen großen Teil der Schäden am Straßenbelag – verantwortlich zeichnet (vgl. Dablanc 2009, S. 10–11). Auch die Gastronomie weist durch die spezifische Nachfrage nach etwa tiefgekühlten bestimmten Produktsegmenten eigene Anforderungen an die Logistik auf (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 28). Dieses Potpourri aus verschiedenen Nachfragearten und Bedürfnissen schafft ein komplexes logistisches System in einer Stadt, wobei vielmehr von vielen Subsystemen zu sprechen ist, die aufgrund ihrer Eigenheiten oft getrennt voneinander operieren und funktionieren.

Den Logistknachfragenden stehen die Anbieter gegenüber, welche anhand der Nachfrage die Transportlogistik organisieren. Es kann grob in Werk-, Fuhr- und Privatverkehre unterschieden werden, wobei der Werkverkehr die innerbetriebliche und der Fuhrverkehr die außerbetriebliche Logistik definiert. Diese werden vor allem in der Distributions-, Kommissions- oder Entsorgungslogistik von Transportdienstleistern organisiert (vgl. Oexler 2002, S. 60). Weitere Segmente in den Logistikverkehren von Städten stellen Umzugsverkehr, Baustellenverkehr, Entsorgungsverkehr und Lieferverkehr, wobei diese gewerblich oder privat organisiert sein können (siehe S. 40), dar. Die Logistiksparten, die so entstehen, sind etwa Handelslogistik, Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP), Werksverkehr, Speditionsverkehr, Entsorgungslogistik, Baustellenlogistik, Service-Verkehre und Sondertransporte (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 31).

2.2.2. ANTEIL DES STÄDTISCHEN GÜTERVERKEHRS

Diese Struktur sorgt für eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Supply Chains. Durch die Betreiber Vielfalt, differenzierte Warenströme, die Atomisierung der letzten Meile und ökonomische Gründe werden Güter im städtischen Raum heute vor allem durch von Verbrennungsmotoren betriebenen Fahrzeuge auf der Straße transportiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Güterverkehrsanteil am straßengebundenen Verkehr in Städten zwischen 8% (vgl. Wittenbrink et al. 2016, S. 28–29)⁸, 10% (vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 3; vgl. Dablanc et al. 2018, S. 56) und 20% (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 13; vgl. Boschidar 2017) liegt⁹. Die Schwankungen und Ungenauigkeiten sind durch den spezifischen lokalen Kontext und die Erhebungsart bedingt. In vielen Erhebungen sind städtische Ver- und Entsorgungsdienste, private Einkäufe, Umzüge etc. nicht einbezogen. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Güterverkehrsanteil über 10% liegt, aber nur in Extremfällen die 20% erreicht. Der Anteil in den verschiedenen Teil- und Straßenräumen einer Stadt schwankt dabei erheblich. Die vorher genannte Studie aus Basel erhebt für die Innenstadt Anteile des Güterverkehrs von 4,2% auf Hauptsammelstraßen und bis zu 23,6% auf Quartiersstraßen (vgl. Wittenbrink et al. 2016, S. 28).

Der Anteil der städtischen Logistik am Gesamtverkehrsaufkommen auf der Straße wird hauptsächlich auf zwei Arten ermittelt. Einerseits wird das Verhältnis von Fahrten im Güterverkehr (für den es unterschiedliche Definitionen und Messgrößen gibt) zu Gesamtfahrten im städtischen Verkehr erhoben – andererseits der GV-Anteil an zurückgelegten Kilometern. Erhebungen zum Verhältnis kommen auf einen geringeren Anteil der Logistik am städtischen Verkehr, bei einer Messung der zurückgelegten Kilometer steigt der Logistkanteil am Gesamtverkehr an. So kommt etwa die Studie zu Paris „The environmental social cost of urban road freight: Evidence from the Paris region“ (vgl. Coulombel et al. 2018, S. 514–532) auf einen Anteil des Güterverkehrs an den Fahrten von ca. 13%, gemessen an den im Straßennetz zurückgelegten Kilometern beträgt der Anteil jedoch schon 15,8% (vgl. Dablanc et al. 2018, S. 56–60¹⁰). Angesichts der vom Logistikverkehr mitverursachten Belastungen wie etwa Emissionen scheint die Messung des Werts der zurückgelegten Kilometer sinnvoller. Bis 2050 wird prognostiziert, dass zwei Drittel aller im Straßenraum zurückgelegten Tonnenkilometer im asiatischen Raum zurückgelegt werden, während gleichzeitig mit deren Verdreifachung gerechnet wird. Davon entfällt wiederum die Hälfte auf den städtischen Raum (vgl. Visser 2018, S. 123). Auf Städte kommt hier generell also erstens eine Steigerung und zweitens eine große Aufgabe zu, da in Städten bisher der Großteil der Transportwege straßengebunden zurückgelegt wird.

8 Hier wurde der Anteil an Lieferwägen und Lkw berechnet, allerdings die Hochleistungsstraßen nicht mitgezählt (vgl. Wittenbrink et al. 2016, S. 28). Teile des privaten Güterverkehrs wurden nicht miteinbezogen. Im werktäglichen Durchschnitt steigt der Anteil auf 12,5% an (vgl. ebda, S. 30).

9 Prümm, Kauschke & Peiseler nennen sogar Zahlen in der Größenordnung von bis zu 30% (vgl. Prümm et al. 2017, S. 11). Dieser Wert wird jedoch durch keine andere untersuchte Studie annähernd erreicht.

10 Diese Studie umfasst allerdings nur Transporte im Großraum Paris (Ile de France). Transporte aus dem restlichen Frankreich und Transitverkehr durch die Region werden nicht berücksichtigt (vgl. Dablanc et al. 2018, S. 57). Auch hier werden Teile des privaten Güterverkehrs nicht in die Berechnung miteinbezogen.

2.2.3. DER MODAL SPLIT DER STÄDTISCHEN LOGISTIK

Der Modal Split der Logistik wird zwar national erhoben (vgl. Statistik Austria 2019a, S. 24–25), aber für Städte gibt es keine dem Autor bekannten Erhebungen¹¹. Österreichweit werden 68% aller Güter auf der Straße transportiert (vgl. WKO 2019, S. 37). Für Städte, in diesem Beispiel Wien, muss von einem deutlich höheren Wert ausgegangen werden. Klar ist: je kürzer die Transportstrecke und je höher die Ausdifferenzierung der Lieferziele, desto eher kommen straßengebundene Verkehrsträger zum Einsatz. Einen Hinweis liefert eine Betrachtung der Aufteilung des Verkehrsaufkommens nach Entfernungsstufen (siehe Abbildung 12). Diese zeigt, dass auf Kurzstrecken (bis 80 Kilometer) die Straße deutlich mehr Anteile als die Schiene aufweist.

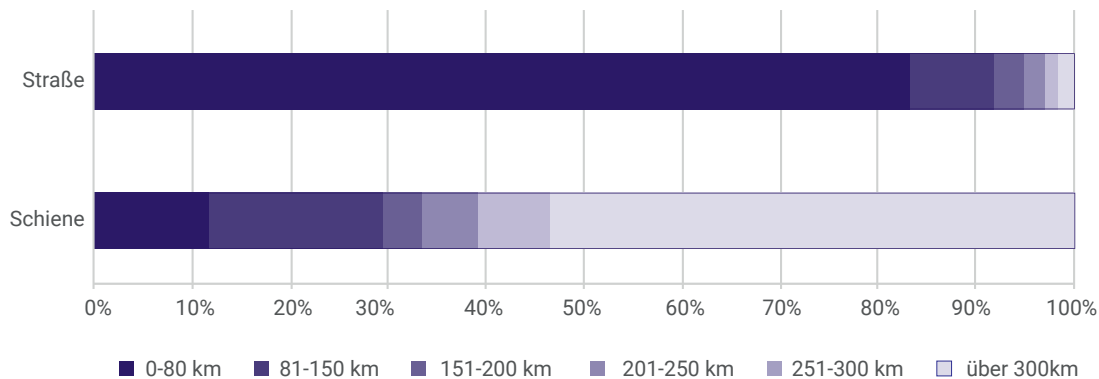


Abbildung 12: Aufteilung des Transportaufkommens österreichischer Unternehmen nach Entfernungsstufen im Inland in Prozent: Straße und Schiene, 2018. Quelle: Statistik Austria in WKO 2019, S. 38.

Auch der Logistics Sprawl lässt die Bedeutung der Schiene für die Logistik Wiens geringer erscheinen, werden Güter doch vermehrt am Stadtrand umgeschlagen und per straßengebundenen Fahrzeugen verteilt¹². Ein Indikator hierfür sind Ergebnisse der oben genannten Studie aus dem Großraum Paris: 30% der Fahrten auf Straßen von Paris ins Umland entfallen auf den Güterverkehr, was ein weiteres starkes Zeichen dafür ist, dass Güter in der Stadt hauptsächlich straßengebunden feinverteilt werden (vgl. Dablanc et al. 2018, S. 57).

2.2.4. EINGESETZTE FAHRZEUGE

Entsprechend der geringen Sendungsgrößen und großen Anzahl an verschiedenen Lieferzielen werden die meisten Fuhren im urbanen Bereich mit Nutzfahrzeugen bis 3,5t Gewicht zurückgelegt (Kombis, Kleintransporter & Lieferwägen; vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 4). Der durchschnittliche Anteil von Lieferwägen im Wiener Straßennetz beträgt in etwa 11 % (vgl. Grosse et al. 2016, S. 21). Eine im Vorfeld des Münchner City-Logistik-Konzepts in den späten 90er Jahren (ein Projekt der zweiten City-Logistik-Generation) durchgeführte Analyse kommt zu ähnlichen Zahlen, klassifiziert die Lieferfahrzeugtypen jedoch anders (siehe Abbildung 13; vgl. Berg 1999, S. 58). Diese Werte eignen sich sogar grundsätzlich für eine Abschätzung des Modal Splits der Logistik, da innerhalb der Stadt klassischerweise wenige Güter auf etwa der Schiene transportiert werden. Allerdings war diese Erhebung auf einen Teilraum der Münchner Innenstadt beschränkt.

¹¹ Ein einfacher Modal Split des städtischen Güterverkehrs wäre weiters gar nicht so aussagekräftig. Er sollte aufgrund der Komplexität und großen Unterschiede in den Voraussetzungen für bestimmte Verkehrsträger und Transportmodi wohl zumindest nach Gütergruppen erhoben werden, um fundierte Schlüsse ziehen zu können.

¹² Das Volumen an KEP-Sendungen in Wien betrug im Jahr 2016 62 Millionen transportierte Pakete, deren Depots sich vor allem am Stadtrand befinden und die vor allem mit von Verbrennungsmotoren betriebenen Lkw bewegt werden (vgl. Dorner et al. 2020, S. 2).

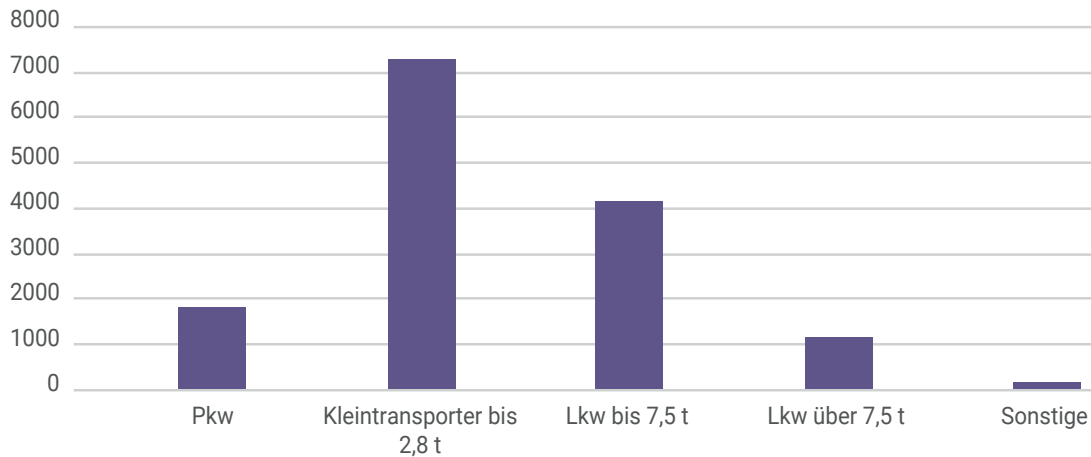


Abbildung 13: Zahl der Anlieferungen je Fahrzeugtyp im Untersuchungsgebiet Münchens 1999. Quelle: Berg 1999, S. 58

Die KiD 2010 liefert Datengrundlagen, mit denen ebenfalls eine Verteilung von Verkehren auf verschiedene Fahrzeugarten dargestellt werden kann (siehe Abbildung 14). Es wird klar, dass die Verteilungen aufgrund des Untersuchungsraums und des Studiendesigns schwanken, sich aber dennoch eine Tendenz abzeichnet.

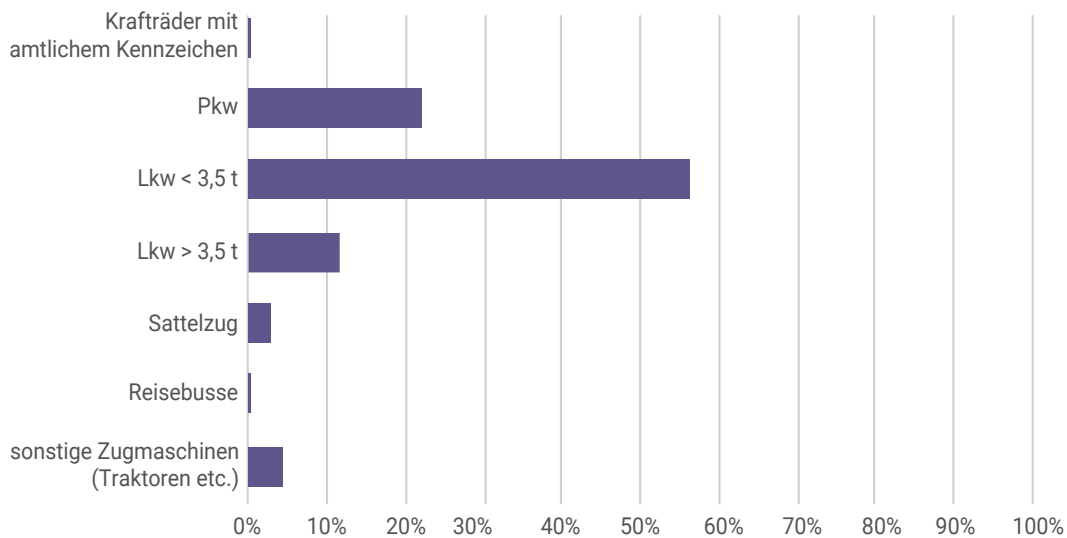


Abbildung 14: Transportmodi in städtischen Räumen Deutschlands. Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung nach KiT 2010

2.2.5. DIE ATOMISIERUNG VON LIEFERUNGEN

Der Güterverkehr in Städten wird also vor allem von Pkw und Lieferwägen unter 3,5 Tonnen dominiert. Da Kurier-, Express- und Paketdienste für über 35% des statistisch erfassten und klassifizierten Logistikverkehrs in Städten verantwortlich sind (vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 3), sind die im städtischen Güterverkehr bewegten Güter schon jetzt nach der Anzahl der Fahrten mehrheitlich kleinteilig und bedürfen kleinerer Verkehrsmittel. Der Anteil von Kurier-, Express- und Paketdiensten an der städtischen Gesamtlogistik hat sich seit der Erhebung dieser Zahlen im Jahr 2000 in Deutschland von 1,69 Milliarden Sendungen pro Jahr auf 3,52 Milliarden im Jahr 2018 gesteigert, wobei in diesem (international gültigen) Trend kein Ende abzusehen ist (vgl. BIEK 2019, S. 11). Diese Kleinteiligkeit (auch bezeichnet als die „Atomisierung“ von Lieferungen), wird also in Zukunft verstärkt, was bedeutet, dass mehr Fahrzeuge mehr Wege mit weniger Ladung zurücklegen. Ein Blick auf den wachsen-

den E-Commerce bestätigt dies, da durch einen Wandel von privat erledigten Einkäufen hin zu Onlinebestellungen und Lieferdiensten einerseits Fahrten in die statistisch erfasste Logistik fallen und andererseits zu einem Plus an Wegen führen könnten.

25% der Ausgangswege der WienerInnen entstehen nur aufgrund des Einkaufs (wobei der Modal Split dieser Verkehre unklar bleibt) (vgl. Herry et al. 2012, S. 106). In Österreich fielen 2014 bereits um die 10% des Einzelhandels in den Bereich des E-Commerce (vgl. Gregori 2014, S. 9). Es ist von einer weiteren Steigerung auszugehen. Durch den weitestgehenden Lockdown und die Appelle zum Social Distancing im Zuge der Krise durch COVID-19 bekamen Lieferdienste und der Onlinehandel einen deutlichen Schub, indem der Handel und die Gastronomie vermehrt auf Onlinelieferungen setzten. Inwiefern diese bei einer Normalisierung der Situation wieder zurückgehen, wird sich weisen. Allerdings kamen dadurch viele Menschen erstmals in Kontakt mit den Möglichkeiten des Onlinehandels. Deswegen geht der Bundesverband E-Commerce und Versandhandel von einem dauerhaften Trend aus (vgl. Saß 2020). Beispiele aus China im Zuge der SARS-Krise 2003 weisen darauf hin, dass dieser Erstkontakt dazu geführt haben könnte, dass der vermehrte Zugriff auf E-Commerce einen dauerhaften Trend bildete und die chinesischen Onlineriesen wie Alibaba dadurch wirklich in Schwung kamen¹³ (vgl. Huddleston 2020). Ebenso zeigt sich, dass der Trend zur Robotik durch Pandemien vertstärkt wird (vgl. Mitregerger 2020).

Durch den im E-Commerce hohen Anteil an Retourensendungen wird die Zahl an Fahrten in der Logistik zusätzlich erhöht. In gewissen Sparten beträgt der Anteil an Rücksendungen über 70%, der Durchschnitt liegt bei rund 50% (vgl. Mészáros 2014, S. 5). Diese können in heutigen City-Logistik-Konzepten aufgrund ihrer Unplanbarkeit oft nicht aufgenommen werden (vgl. Benjelloun & Crainic 2009, S. 47). Dies wirkt sich negativ auf die (Klima-)Effizienz von Güterverkehr aus.

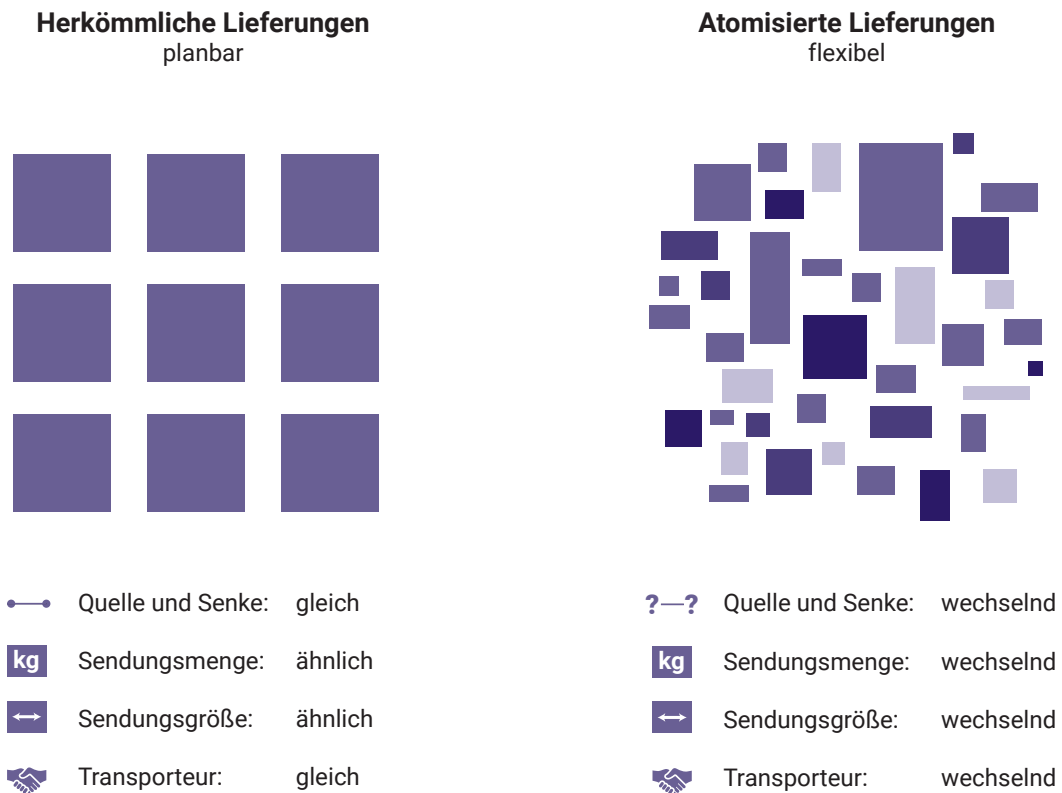


Abbildung 15: Die Atomisierung von Lieferungen verändert die Logistik und erschwert die Planung und Organisation von Lieferungen. Quelle: Eigene Darstellung

¹³ Diese Aussage ist nicht unumstritten, da zur selben Zeit wichtige neue Plattformen online gingen (vgl. Gregori 2020).

2.2.6. AUSLASTUNG UND INEFFIZIENZEN

Neben den Retourensendungen stellen Leerfahrten oder geringe Auslastungen ein Distinktionsmerkmal in der Logistik dar. Lieferfahrzeuge in Österreich wiesen 2015 durchschnittlich einen Auslastungsgrad von 69,5% im Transport auf. Durch Leerfahrten reduziert sich die Auslastung eines durchschnittlichen Lieferfahrzeugs in Österreich auf 43,6% (vgl. Statistik Austria 2016). In der City-Logistik divergieren die Auslastungsgrade aufgrund differenzierter Sektoren und Lieferarten, allerdings kann hier von niedrigen Auslastungsgraden ausgegangen werden (vgl. AustriaTech 2014, S. 6f.; vgl. Lierow 2012, S. 5). Niedrige Auslastungsgrade sind in der City-Logistik nicht per se negativ zu bewerten. Das Projekt „Green City Hub“ berechnete den klimatologischen Mehrwert von auf schnelle Entladung forcierenden Lieferketten und kam zu Ergebnissen, die *„zeigen, dass kurze Strecken mit schwerer Ladung zu Beginn der Tour und längere Strecken mit geringer Ladung am Ende der Tour bereits zu erheblicher Reduktion des Energiekonsums führen können“* (i-Log 2016, S. 18). Dies setzt jedoch schon ein hohes Maß an Planung und Steuerung voraus, das zwar in einzelnen Lieferketten (etwa des Handels) leichter umgesetzt, auf die gesamten Verkehre der Stadt betrachtet aber lediglich ein (aufwändig auszuschöpfendes) Potenzial darstellen kann.

Weil jedes Logistikunternehmen seine Routen bisher selbst plant und die Unternehmen in Konkurrenz zueinander stehen, ist ein gesamtheitlicher Überblick über die Organisation von Warenströmen schwer zu erlangen. Mehr Kooperation kann zu einer Effizienzverbesserung führen, schon jetzt gibt es unter bestimmten Logistikbetreibern Absprachen und Möglichkeiten, Leerfahrten neu zu organisieren und damit zu reduzieren – etwa durch Frachtbörsen. Von Seiten der Stadt gibt es den Ansatz, den Effekt der vermehrten Bündelung und Auslastung etwa mit Lizenzsystemen zu generieren, in denen Güterströme hoheitlich organisiert werden. Die daraus resultierenden räumlichen Monopole werden jedoch vor allem von kleineren Logistikunternehmen kritisch gesehen. Ein Ansatz, der Kooperation durch sanfte Regulierung fördert, wäre etwa die „Einrichtung von effizienzabhängigen Zufahrtsrestriktionen“ (vgl. Schrapf et al. 2013, S. 40). Im Punkt der geringen Auslastung subsumieren sich auf jeden Fall viele Handlungsansätze in der städtischen Logistik.

2.2.7. GÜTERMENGEN UND GÜTERARTEN

Fast 50% der in Wien nachgefragten Gütermenge fallen auf die beiden Kategorien der Erze, Steine und Erden sowie sonstige Mineralerzeugnisse (vgl. Eurostat 2020a). Diese Gütermengen werden vor allem in der Bauwirtschaft bewegt, die meist nur kurzfristige Standorte haben, weshalb ein An- oder Abtransport dieser großen Mengen per Schiene oftmals nicht möglich ist. Allerdings gibt es hier Bemühungen, den Abtransport der Güter mit minimalem Impact auf der Oberfläche per Schiene oder per Untergrund zu bewerkstelligen. So wurden etwa beim Projekt „Smart Campus“, bei dem die Wiener Netze eine neue Unternehmenszentrale für bis zu 1400 Mitarbeiter errichteten, 31,6% des Aushubmaterials per Bahn abtransportiert und so über 66.000 Lkw-Kilometer eingespart (vgl. Wiener Stadtwerke 2020). Beim Bau der neuen U-Bahnlinie U5 wurde versucht, Lkw-Fahrten in der Innenstadt zu verhindern, indem Aushubmaterial durch die neu gegrabenen U-Bahn-Tunnel mittels Förderbänder zu einem dezentraleren, besser angebundenen Standort (dem Matzleinsdorfer Platz) transportiert und erst dort auf Lkw verladen wurde (vgl. Der Standard 2017). Die hier erzielte Einsparung an Lkw-Fahrten ist zwar wertvoll, aber letztlich nur an wenige Projekte gebunden – und gemessen am gesamtlogistischen Verkehrsaufkommen äußerst gering. Dies ist vor allem bei Betrachtung der durch den Güterverkehr verursachten Tonnenkilometer offensichtlich, verursachen diese Fahrten doch aufgrund größerer Transportvolumina (bedeutet weniger Tonnenkilometer) wesentlich weniger Verkehr als die kleinteiligeren Last-Mile- und Handelslogistikverkehre (siehe folgende Abbildung).

NST-Code	NST-Kurzbezeichnung	Anteil an transportierten Tonnen 2017 (EU)	Anteil an den Tonnenkilometern 2017 (EU)	Anteil an transportierten Tonnen 2017 (AT)	Anteil an den Tonnenkilometern 2017 (AT)
01	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	9,0	10,8	6,3	10,4
02	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	0,8	0,6	0,2	0,4
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	24,8	7,6	40,6	14,6
04	Nahrungs- und Genussmittel	12,4	17,2	7,2	11,4
05	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	0,5	1,0	0,3	0,6
06	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	4,1	6,2	7,8	10,8
07	Kokerei- und Mineral-ölerzeugnisse	3,3	2,7	2,6	4,1
08	Chemische Erzeugnisse etc.	4,1	6,9	1,0	1,8
09	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	11,8	7,7	13,4	10,2
10	Metalle und Metallerzeugnisse	3,9	6,8	2,8	7,2
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	1,8	2,8	0,7	1,5
12	Fahrzeuge	2,2	4,1	1,0	1,2
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	0,9	2,0	2,7	4,8
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	7,2	3,9	4,1	3,1
15	Post, Pakete	1,5	2,5	0,3	0,4
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	2,2	2,3	2,3	4,4
17	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	1,1	0,8	1,6	3,1
18	Sammelgut	5,8	10,3	3,3	6,5
19	Gutart unbekannt	1,1	1,3	1,8	3,5
20	Sonstige Güter a.n.g.	1,5	2,6	k.A.	k.A.

Abbildung 16: Unterschiede im Güterverkehrsaufkommen nach Güterart und zurückgelegten Kilometern in der EU (ohne Malta) und AT in Prozent. Quelle: Eigene Berechnung nach Eurostat 2020b.

2.3. DIE EXTERNEN KOSTEN UND EFFEKTE DES STÄDTISCHEN GÜTERVERKEHRS

Verkehre (in diesem Falle werden vor allem die straßengebundenen betrachtet) verursachen *ökologische, soziale und ökonomische* Wirkungen auf die Umwelt, die folgend genauer beschrieben werden. Eine Möglichkeit zur Annäherung an diese Wirkungen ist jene über die externen und sozialen Kosten, zu denen national und EU-weit verschiedene Kosten- und Methodensets existieren (vgl. Matthey & Bünger 2019; vgl. van Essen et al. 2019¹⁴). Die folgende Darstellung der externen Kosten ist lediglich eine Annäherung, da die beschriebenen Werte lediglich Unterschiede deutlich machen, nicht jedoch stabile, absolute und anwendbare Zahlen liefern. Dazu gibt es zu viele Unschärfen in der Ermittlung und der Definitionsbreite des Begriffs der externen Kosten¹⁵ (vgl. van Essen et al. 2019; vgl. Ahrens et al. 2010, S. 8ff.).

Vor allem werden Luftverschmutzung, Emissionen von Treibhausgasen, Lärmemissionen, Unfälle und die Folgen von Verkehrsbelastungen untersucht (vgl. Matthey & Bünger 2019; vgl. van Essen et al. 2019). Dabei wird versucht, auf den gesamten Produktzyklus eines Fahrzeugs und der Infrastruktur einzugehen und somit vor- sowie nachgelagerte Prozesse zu monetarisieren. Die Monetarisierungen sind methodisch unterschiedlich und in verschiedenen Betrachtungstiefen erstellt, weshalb sie im Rahmen dieser Arbeit lediglich als Proxy zur Bewertung und Übersicht der Effekte von Güterverkehr dienen.

Die Clusterung, auf die im Folgenden weitestgehend zurückgegriffen werden soll, wird etwa von Deutschland zur Messung der externen Kosten verwendet und gliedert sich wie folgt in:

- **Unfallkosten:** Verkehrsunfälle (Schadenskostenansatz)
- **Luftverschmutzung:** Die Umweltkosten infolge der Emissionen von Luftschadstoffen umfassen folgende vier Teilkategorien: Gesundheitskosten, Ernteauffälle, Gebäude- und Materialschäden sowie Biodiversitätsverluste
- **Klimakosten:** Kosten infolge der Emission von Treibhausgasen (THG-Emissionen) und der daraus folgenden Klimaveränderung (Schadenskostenansatz)
- **Lärmkosten:** Lärmbedingte Gesundheitskosten und Kosten durch Lärmbelästigung (Schadenskosten)
- **Staukosten:** Durch Verspätungen verursachte volks- und betriebswirtschaftlich verursachte Kosten.
- **Vor- und nachgelagerte Prozesse:** Folgekosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen aus Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Energieträgern (Treibstoffe, Strom), Fahrzeugen, Verkehrsinfrastruktur
- **Natur und Landschaft:** Habitatverluste (durch Flächenverbrauch) und Habitatfragmentierung (Zerschneidung) (vgl. Bieler & Sutter 2019, S. 10; vgl. van Essen et al. 2019).

14 Die Modelle CopCete und TREMOD eignen sich auch für die Berechnung gewisser externer Effekte und werden immer wieder genannt (etwa in Dablanc et al. 2018).

15 Die hier verwendeten Zahlen entspringen hauptsächlich dem „Handbook on the external costs of transport“ (vgl. DG Move 2019). Kosteninternalisierungen sind in den angegebenen Werten noch nicht einberechnet. Somit liefern diese eine Übersicht über die Bruttoeffekte vor jeweiligen stadt- oder länderspezifischen Internalisierungsstrategien und gelten, so nicht anders angegeben, für EU28 (vgl. van Essen et al. 2019, S. 23ff.).

Es zeigt sich, dass – gemessen an den externen Kosten pro Tonnenkilometer – Lkw (hier als HGV – englisch für Heavy Goods Vehicle – bezeichnet) für die höchsten negativen Wirkungen im Logistikverkehr sorgen. Dies ist vor allem, aber nicht nur, auf die Unfallgefahr zurückzuführen (siehe Abbildung 17). Es kann davon ausgegangen werden, dass im städtischen Bereich auch der emittierte Lärm (siehe S. 33) zu einer wesentlichen Quelle für negative externe Wirkungen des Güterverkehrs wird.

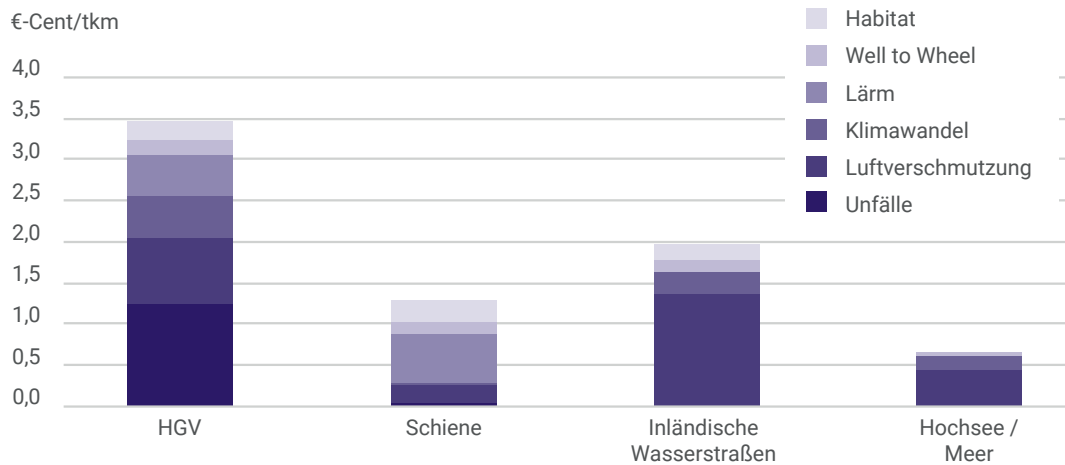


Abbildung 17: Externe Kosten des Güterverkehrs. Quelle: Eigene Darstellung nach CE Delft 2019.

Im Straßenverkehr ist der Güterverkehr EU-weit für rund 24% der verursachten externen Kosten verantwortlich. In Teilbereichen wie etwa der Emission von Luftschadstoffen oder Klimagasen weist der Güterverkehr noch deutlich höhere Anteile auf (siehe Abbildung 18).

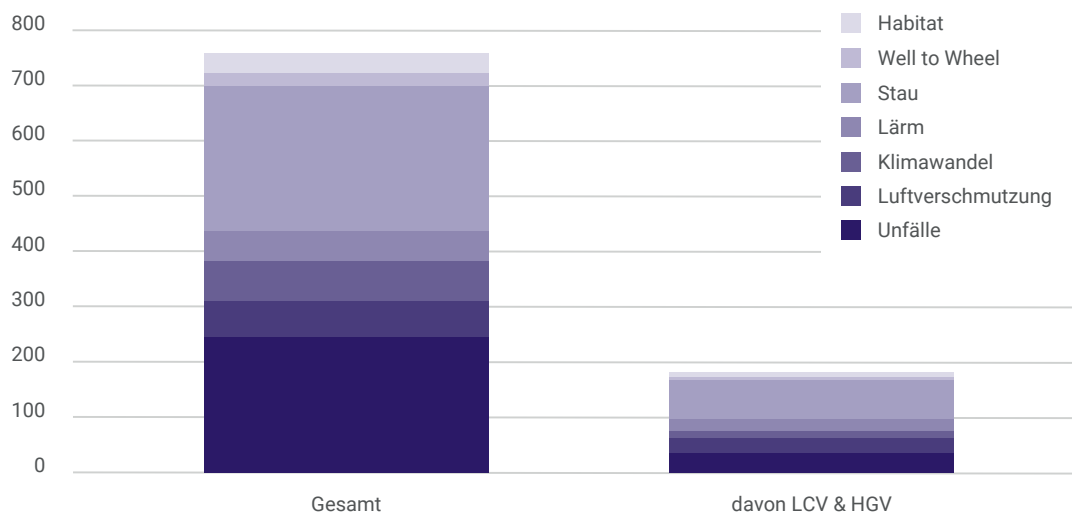


Abbildung 18: Anteil des Güterverkehrs an den externen Kosten des Straßenverkehrs. Quelle: Eigene Darstellung nach CE Delft 2019.

Es wird deutlich, dass die externen Kostenanteile des straßengebundenen Güterverkehrs unterschiedlich an jenen des restlichen Straßenverkehrs beteiligt sind. Vor allem in Bezug zu Luftverschmutzung und Emissionen fällt auf, dass der Güterverkehr augenscheinlich schwerwiegendere Auswirkungen als der sonstige Verkehr aufweist. Auch die vor- und nachgelagerten Prozesse sowie die im „Handbook on the external costs of transport“ (vgl. DG Move 2019) als marginalisiert ausgewiesenen Kosten weisen hier einen höheren Anteil auf (vgl. van Essen et al. 2019).

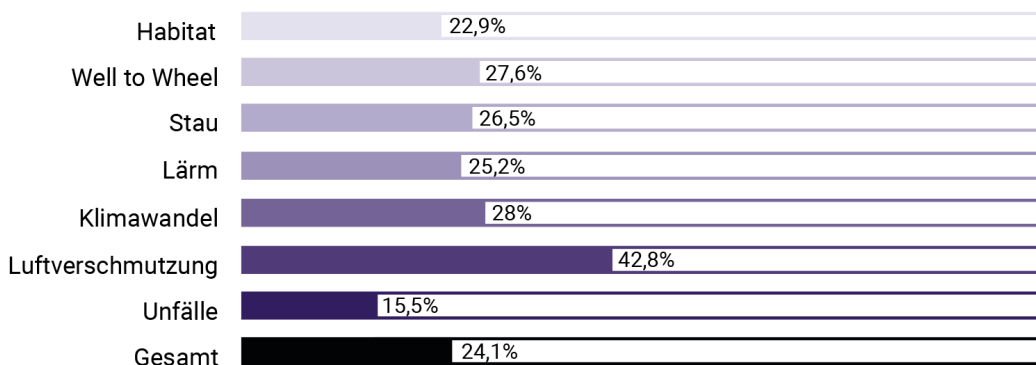


Abbildung 19: Anteil des Güterverkehrs an Kostenkategorien. Quelle: Eigene Darstellung nach Bieler & Sutter 2019, S. 22

Außerdem stellen schwerere Vehikel überproportional hohe Anforderungen an die Infrastruktur. Schätzungen in Großbritannien gehen etwa davon aus, dass bis zu 90% der Schäden im Straßennetz durch Lkw verursacht werden (vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 4). Pkw spielen in der Belastung generell eine untergeordnete Rolle, da die Straßenbelastung potenziell mit dem Gewicht ansteigt. Die Lkw-induzierte Belastung für die Straße und den Unterbau kann das 10.000 bis 160.000fache eines Pkw darstellen: 4. Potenzgesetz (vgl. Schäfer 2005). Durch Vibrationen (und schwerer werdende Lkw¹⁶) werden Elemente des Untergrunds wie etwa Kanäle (oder Rohrpostsysteme, (siehe S. 90) beschädigt (vgl. FIS 2019, S. 1). Weiters werden Lkw oft als die Lebensqualität mindernd und störend gesehen – ein schwer in die monetäre Bewertungslogik zu integrierender Effekt.



Abbildung 20: Neben den Emissionen hat die Logistik noch andere negative Effekte. Sie beansprucht Flächen (wie hier etwa Teile des Radwegs), sorgt für gefährliche Verkehrssituationen (wie hier durch schlechte Einsicht des Zebrastreifens) und sorgt für Nutzungskonflikte (wie hier durch die Beanspruchung einer innerstädtischen Ladezone). Quelle: Eigenes Foto

16 Das Höchstgewicht von Lkw wurde etwa von Seiten der Europäischen Union von 40 auf 44 Tonnen angehoben, um Emissionseinsparungen zu realisieren (vgl. Europäische Union 2015). Dafür würde aber – durch das Potenzgesetz – die Abnutzung der Straßen überproportional steigen. Gesetzte Maßnahmen ziehen also oft kaskadische und teils gegenläufige Effekte nach sich.

2.3.1. DER ANTEIL DER LOGISTIK AN DEN EXTERNEN KOSTEN DES VERKEHRS

Aufgrund des Anteils der Logistik am städtischen Verkehr von bis zu 20% fokussiert die Stadt- und Verkehrsplanung in Konzepten oft auf den Personenverkehr. Während der Anteil des Güterverkehrs zwar tatsächlich nur einen geringeren Teil des gesamten Straßenverkehrs darstellt, zeichnen die Auswirkungen des Güterverkehrs ein anderes Bild. Durch die kombinierten Effekte von Lärm, Abgasen, Vibrationen und Verkehrsbelastung weist der Güterverkehr externe Belastungen auf Stadt und Bevölkerung auf, die höher sind, als der Verkehrsanteil zunächst vermuten lässt.

So zeigt etwa eine Studie der Schweizer ProgTrans, dass der Güterverkehrsanteil an den externen Kosten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung bei einem österreichweiten Anteil an der Verkehrsleistung von 14% etwa höher als ein Drittel liegt (vgl. Auf der Maur et al. 2013). Generell sind die negativen externen Wirkungen des straßengebundenen Güterverkehrs größer als sein Anteil (siehe Abbildung 21).

Anteil GV am gesamten Straßenverkehr		
	Anteil in Österreich (Gesamt)	14%
	Anteil in Österreich (Ortsgebiet)	11%
Anteil GV an externen Kosten	Unfälle	12%*
	PM 2,5	25%
	PM 10	18%
	NO _x	41%
	NMVOG	6%
	CO ₂	26%
	Lärm	40%

** Für Ortsgebiete wird für den Güterverkehr ein deutlich höherer Wert an externen Kosten ausgewiesen als in sonstigen Arealen. Damit liegt der Anteil im urbanen Raum höher als 12%.*

Abbildung 21: Verkehrs- und Emissionsanteile des Güterverkehrs am Straßenverkehr. Quelle: Eigene Darstellung nach Auf der Maur et al. 2013.

Einen breiteren Ansatz verfolgt eine Studie von INFRAS aus dem Jahr 2019. Laut dieser beträgt der Anteil der externen Kosten des Güterverkehrs an den Gesamtwirkungen deutschlandweit rund 20% (vgl. Bieler & Sutter 2019, S. 22). Daraus ergibt sich ein überproportionaler Wert des straßengebundenen Güterverkehrs (abgesehen vom Wert der Unfälle, siehe Abbildung 22).

Anteile des Güterverkehrs an den externen Kosten nach...	Personenverkehr	Güterverkehr
Unfälle	90%	10%
Luftschadstoffe	69%	31%
Klima	67%	33%
Lärm	61%	39%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	78%	22%
Natur und Landschaft	75%	25%
Gesamt	80%	20%

Abbildung 22: Anteile des Güterverkehrs an den Kategorien der externen Kosten in Deutschland 2017. Quelle: Eigene Berechnung nach Bieler & Sutter 2019.

Die Europäische Union kommt in ihrem „Handbook on the external costs of transport“ (vgl. DG Move 2019) zu einem ähnlichen Ergebnis:

Anteile des Güterverkehrs an den externen Kosten nach...	Personenverkehr	Güterverkehr
Unfälle	84,5%	15,5%
Luftverschmutzung	57,2%	42,8%
Klimawandel	72,0%	28,0%
Lärm	74,8%	25,2%
Stau	73,5%	26,5%
Well-to-Wheel-Emissionen	72,4%	27,6%
Habitat	77,1%	22,9%
Gesamt	75,9%	24,1%

Abbildung 23: Anteile des Güterverkehrs an den Kategorien der externen Kosten in der Europäischen Union. Quelle: Eigene Darstellung nach CE Delft 2019

2.3.2. DER ANTEIL DER STÄDTISCHEN LOGISTIK AN DEN EXTERNEN KOSTEN DES VERKEHRS

Diese Ergebnisse sind jedoch nur für den nationalen oder EU-weiten Maßstab erhoben. Für Städte gibt es keine dem Autor bekannten, umfassenden, einer stringenten Methodik unter Einbezug lokaler Spezifika folgenden Studien zu den externen Kosten. Aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte sind die externen Kosten in urbanen Räumen jedoch teilweise deutlich höher zu bewerten. Andere Fahrtenmuster, eine höhere Anzahl an Stopps und eine niedrigere Geschwindigkeit tragen überdies zu höheren Emissionen in Städten bei (vgl. Koning et al. 2017, S. 9). So steigen die externen Kostensätze bei einem Ausgangswert des ländlichen Raums teilweise um ein Vielfaches (siehe Abbildung 24). Im Durchschnitt sind die externen Kosten in der Stadt pro vkm oder tkm im Vergleich zum ländlichen Raum rund 2,3 Mal höher (vgl. van Essen et al. 2019, S. 272–277).

	Unfälle	Luftverschmutzung	Klimawandel	Lärm	Stau	Well-to-Wheel	Habitat
Pkw	5,64	1,75	1,16	12,5	2,26	1,13	k.A.
LCV	2,05	1,14	1,29	170	2,26	1,3	k.A.
HGV (3,5t-7,5t)	1,43	5,67	1	150	2,26	0,96	k.A.
HGV (7,5t-16t)	1,43	4,67	1,35	70	2,26	1,36	k.A.
HGV (16t-32t)	1,43	4,67	1,57	120	2,26	1,56	k.A.
HGV (>32t)	1,43	3,67	1,61	120	2,26	1,5	k.A.

Abbildung 24: Faktoren der externen Kosten (€-Cent/km) in Metropolregionen im Vergleich zu ländlichen Regionen. Pkw (in vkm): Benzin, Euro 6, fuel-efficient; LCV (in vkm): Euro 6, fuel-efficient; HGV (in tkm): Diesel, Euro 6, fuel-efficient. Quelle: Eigene Berechnung nach van Essen et al. 2019, S. 272–277.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die negativen Wirkungen des Gütertransports in Städten im Bezug zum Verkehrsanteil vor allem bei der Luftverschmutzung, beim Lärm und bei den THG-Emissionen überproportional hoch sind. Die bereits mehrfach genannte Studie

zum erweiterten Großraum Paris kommt bei einem Güterverkehrsanteil von 6% und bei 8% an zurückgelegten Kilometern im Straßenraum auf einen Anteil von 36% an den Emissionen (vgl. Coulombel et al. 2018). In Paris selbst zeichnet der straßengebundene Güterverkehr gar für 53,3% der negativen Effekte der Luftverschmutzung verantwortlich (vgl. Dablanc et al. 2018, S. 61; vgl. Koning et al. 2017, S. 31).

Konkreten Verhältnissen der Wirkungen von Personen- und Güterverkehr in Städten kann sich hier nur angenähert werden. Die Daten der EU zu den einzelnen Effektkategorien unterscheiden sich stark und erschweren direkte Vergleiche. Das dem „Handbook on the external costs of transport“ (vgl. DG Move 2019) beiliegende Excelfile etwa enthält keine Rohdaten zum Verhältnis zwischen Stadt und Land. Erschwerend kommt hinzu, dass sich Differenzierungen ständig unterschiedlicher Fahrzeugkategorien bedienen. Wesentliche Kennzahlen sind abwechselnd in vkm, pkm, oder tkm angegeben, was – ohne Kenntnis der Ausgangswerte – Vergleiche unmöglich macht. In den verschiedenen Effektbeschreibungen können jedoch Verhältnisse zwischen pkm und tkm zu vkm für Pkw, LCV und HGV berechnet werden. Diese unterscheiden sich untereinander zwar, aber bewegen sich in ähnlichen Größenordnungen (siehe Abbildung 25).

	Unfälle	Luftverschmutzung	Klimawandel	Lärm	Stau (Ver-spätungen)	Stau (Folgekosten)	Well-to-Wheel	Habitat
Pkw	1,60	1,61	1,61	k.A.	1,61	1,61	1,63	1,64
LCV	0,68	0,69	0,69	k.A.	0,69	0,69	0,69	0,67
HGV	11,92	12,34	12,23	k.A.	13,63	13,38	12,50	12,63

Abbildung 25: Verhältnis der externen Kosten zwischen pkm und tkm zu vkm. Quelle: Eigene Berechnung nach van Essen et al. 2019

Im Kapitel zu den Lärmwirkungen werden die HGV im „Handbook on the external costs of transport“ noch weiter unterschieden (vgl. van Essen et al. 2019, S. 81). Dies macht eine Zuordnung zu Datentabellen, welche die marginalen Werte für einzelne Fahrzeuge nach Kostengruppen wiedergeben, möglich. Die Annäherung zeigt die Mehrbelastungen pro Fahrzeuggruppe ausgehend vom Wert der Pkw (Wert =1). Es wird evident, dass Güterfahrzeuge im europäischen Schnitt in Metropolen (Städte über 500.000 EinwohnerInnen, vgl. van Essen et al. 2019, S. 56) tendenziell deutlich höhere externe negative Wirkungen aufweisen als Pkw (siehe Abbildung 26).

	Unfälle	Luftverschmutzung	Klimawandel	Lärm	Stau	Well-to-Wheel	Habitat
Pkw	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	k.A.
LCV	0,5	0,5	1,7	3,4	2,4	1,9	k.A.
HGV (3,5t-7,5t)	0,2	3,7	3,5	10,0	0,8	2,9	k.A.
HGV (7,5t-16t)	0,5	3,3	4,9	10,0	1,7	4,2	k.A.
HGV (16t-32t)	1,2	7,5	9,8	19,5	3,8	9,0	k.A.
HGV (>32t)	1,3	6,5	12,3	21,6	4,2	10,7	k.A.

Für alle Fahrzeuge wurde mit den effizientesten Fahrzeugen nach Euronorm 6 gerechnet. In „Pkw“ ist der Anteil für Benzin- und Dieselantrieb wiedergegeben, wobei dieser nach den Verhältnissen der im „Handbook on the external costs of transport“ (vgl. DG Move 2019) angegebenen Werte berechnet ist. Da kein Wert für zurückgelegte Kilometer existiert, kann kein Gesamtverhältnis der Wirkungen beschrieben werden.

Abbildung 26: Anteil der Belastungen ausgehend vom Pkw nach Fahrzeugtyp in Städten (EU-Schnitt). Quelle: Eigene Berechnung nach van Essen et al. 2019

Die Studie „Greening Transport“¹⁷ weist statt den bisher genannten sieben Kategorien (Unfälle, Luftverschmutzung, Klimawandel, Lärm, Stau, Well-to-wheel und Habitat) insgesamt zehn auf. Eine Kategorie trägt den Namen „urban effects“. Sie zeigt Werte zu den monetarisierten Wirkungen auf nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer wie FußgängerInnen oder RadfahrerInnen in der Stadt auf und ist damit für die Bewertung externer Effekte des Verkehrs auf die Stadt aus einer ganzheitlichen Sicht wertvoll. Damit werden Trenneffekte des Verkehrs oder die Interdependenz zur Fahrradtauglichkeit in die Bewertung miteinbezogen (vgl. Domergue & Markovic-Chénais 2012, S. 3).

Urbane Effekte des Verkehrs		
	€/(1000 p&tkm*a)	€/(1000 vkm*a)*
Pkw	1	1,61
LCV	3,1	2,14
HGV	0,5	6,25

**Berechnet nach dem Umrechnungsschlüssel aus Abbildung 24*

Abbildung 27: Bewertung und Umrechnungsschlüssel der urbanen Effekte des Verkehrs. Quelle: Domergue & Markovic-Chénais 2012, S. 23.

Es wird also deutlich, dass der Güterverkehr auf der Straße im Status quo überproportional hohe bzw. negative Effekte auf Lebensqualität, Umwelt und Ressourcen aufweist. Dies erhöht den Handlungsdruck in Städten, den Güterverkehr zu kontrollieren und Instrumente zur Eindämmung negativer Effekte zu entwickeln. So lassen sich Problem- bzw. Handlungsfelder ableiten. Diese betreffen in unterschiedlicher Weise einerseits die Stadt und andererseits die Logistik selbst. Maßnahmen werden folglich in diesem Spannungsfeld entwickelt und sind in diesem zu bewerten.

2.4. STÄDTISCHE LOGISTIK IM SPANNUNGSFELD ZWISCHEN SYSTEMIMMANENTEN UND STADTPLANERISCHEN ZIELEN

„Das Problem nachhaltig zu lösen [...] ist sehr, sehr schwierig, meistens verlagert man es einfach bis zum nächsten Flaschenhals und man hat es nicht nachhaltig gelöst“ (Körber 2013, 6:33–6:44).

Die Logistik in Städten ist ein divergentes Feld mit unterschiedlichen Herausforderungen in jeweiligen (Teil-)Räumen. Das erschwert ganzheitlich und flächendeckend wirksame Lösungen. Verschiedene Akteure artikulieren verschiedene Ziele an die Logistik. Während etwa aus einer ökonomischen Perspektive vermehrte Flächenausweisungen für Ladetätigkeiten im Straßenraum sinnvoll sein können, muss die Stadt versuchen, negative Folgen der Logistik (unter anderem eben jenen Flächenverbrauch) ehest zu mitigieren. Im Spannungsfeld von durch die Logistik (mit)verursachten und die Logistik betreffenden Probleme und einer ausgewogenen Stadtentwicklung ist es wichtig, sich über die Ziele und Handlungswerkzeuge der verschiedenen Akteure klarzuwerden. Diese Betrachtung ist wesentlich, um die Diskrepanz aus den Zielen der beiden Akteure hervorzuarbeiten und auch um den breiten Maßnahmenkatalog – der sowohl von Städten als auch Logistiktreibern immer wieder in unterschiedlichen Variationen bedient wird – zu bewerten. Im weiteren Verlauf soll vor allem auf die Ziele und Anforderungen der Stadtplanung an eine funktionierende Logistik referenziert werden.

17 Die Daten für die hier beschriebene Studie werden großteils einer anderen Studie entnommen, der „External costs of Transport in Europe: Update study 2008“ von CE Delft, INFRAS und Fraunhofer ISI (vgl. CE Delft 2019).

2.4.1. SICHTWEISE UND ZIELE DER STADT- UND VERKEHRSPPLANUNG

Aus den nun dargestellten Kennzahlen und Grundinformationen zur städtischen Logistik lässt sich unschwer erkennen, dass diese in der Stadt vor Problemfeldern und Herausforderungen steht. Dabei unterscheiden sich die Sichtweisen und Problemstellungen der Logistik und der Stadtplanung voneinander. Dieser Diskurs hat große Relevanz für die Stadtplanung, da eine aus der Logistiksicht gewünschte Effizienzsteigerung oft Ziele der Stadtplanung nicht unterstützt. Es kann unterschieden werden in Probleme, vor denen die Logistik steht, und in Probleme, welche die Stadt mit ihrer Logistik hat. Schrapf, Zvokelj und Hartmann kategorisieren zehn Problemfelder¹⁸, vor denen Logistikbetreiber in Städten stehen. Diese sind jedoch vornehmlich aus einer inneren (betriebswirtschaftlichen, funktionalen) Logik beschrieben und lassen dabei Anforderungen der Stadt an ihre Logistik (aus einer stadtplanerischen Sicht) außer Acht (vgl. Schrapf et al. 2013, S. 18–21).

Durch die von der Logistik hauptsächlich genutzte Infrastruktur der Straße, durch einen hohen Anteil an Last-Mile-Lieferungen in der Stadt, eine große Akteursvielfalt und eine sich abzeichnende zunehmende Atomisierung von Lieferungen durch den E-Commerce lässt sich erahnen, dass die Logistik durchaus in konfliktärem Bezug zu stadtplanerischen Zielen steht und gleichzeitig schwer zu steuern ist. Eine Befragung von 66 Städten im Rahmen des Projekts Gütermobilität in Städten (kurz: „GüMoS“)¹⁹ hat ergeben, dass die Stadtverwaltung vor allem die Interessen der Bevölkerung gewahrt wissen will, „wobei die Berücksichtigung der Stadtstrategie, der städtischen Infrastruktur und der Folgekostenabdeckung für die Stadt dominieren“ (Frohner 2016, S. 4). Von Seiten der logistischen Betreiber stehen dagegen wirtschaftliche, technische und rechtliche Machbarkeit sowie Marktzugang im Vordergrund (vgl. ebda, S. 5). Eine im stadtplanerischen Sinne funktionierende City-Logistik hat somit zum Ziel, dass Güter in der Stadt (schnell) verfügbar sind und dabei die Belastungen für die (jetzigen und zukünftigen) Stadt-BewohnerInnen, die Infrastruktur und das Stadtbudget minimiert werden (vgl. Wirtschaftsagentur Wien 2016, S. 7). Eine starke Rolle spielt dabei vor allem die Verkehrsbelastung, die durch die niedrige Auslastung der Fahrzeuge noch verschärft wird. Prof. Dr. Karl-Heinz Schweig definiert die Ziele der City- und Stadtlogistik als ein Zusammenspiel aus einer Vermeidung und Reduzierung von Verkehrsbelastung und externen Effekten (Schadstoff- und Lärmbelastungen, Flächenverbrauch und Störungen des Verkehrsablaufs) und einer anvisierten Förderung und Steigerung des Wirtschafts- und Logistikstandortes (vgl. Schweig o.J., S. 9–10).

Die Ziel- bzw. Problemfelder der städtischen Logistik können wie folgt kategorisiert werden:

Problemstellungen aus Breibersicht	Gemeinsame Problemstellungen	Problemstellungen aus Stadtplanungssicht
• Verkehrsflächenknappheit	• Nicht verfügbare Ladezonen	• Lärmemissionen
• Lieferzeitbeschränkungen	• Interdependenzen zum restlichen Verkehr	• Luftschadstoffemissionen
• Lieferortbeschränkungen	• Flächenverbrauch, Entwicklungsdruck	• THG-Emissionen
• Schnittstellenprobleme	• Verkehrsbelastungen/Staus • Geringe Auslastung	• Verminderung von Lebensqualität

18 Verkehrsflächenknappheit, Lieferzeitbeschränkungen, Lieferortbeschränkungen, Schnittstellenprobleme, Veränderungen der Sendungsstruktur, Wettbewerb, hohe Treibstoff- und Personalkosten, eine notwendige Emissionsreduktion, Auswirkungen auf Wohnqualität und Interdependenz zur Individualmobilität.

19 Im Rahmen dieses Projekts wurde unter anderem ein öffentlich verfügbares Bewertungstool erarbeitet. An diesem zeigt sich exemplarisch ein interessanter Zugang zu Projektanforderungen, Zielen der Stadtplanung und Zielen der Betreiber (vgl. FFG 2012).

• Veränderungen der Sendungsstruktur	• Unfallgefahr
• Wettbewerb	
• hohe Treibstoff- und Personalkosten	
• notwendige Emissionsreduktion	
• Auswirkungen auf Wohnqualität	

Abbildung 28: Ziel- und Problemfelder der Logistik aus Sicht der Betreiber und der Planung. Quelle: Eigene Darstellung nach Schrampf et al. 2013, S. 18–21; Schweig o.J., S. 9–10.

Dabei wird klar, dass die Sichtweisen zwischen Stadt und Logistikbetreibern differieren, Lösungen stehen daher immer im Spannungsfeld zwischen dem exogenen (Planerisch-politische Ziele - Zielen der Stadtplanung) und endogenen (ökonomisch-strategische Ziele - betriebswirtschaftlichen Interessen der Logistikbetreiber) Bereich (vgl. Schweig o.J., S. 11). Problemfelder im Sinne der Stadtplanung sind somit Verkehrs-, Emissions- und Infrastrukturbelastungen und deren sozialen, ökonomischen und ökologischen Folgen. Daraus ergeben sich die großen Themen der City-Logistik: Stau, Ladezonen, Emissionen, Auslastung, Infrastrukturbelastung. Es zeigt sich, dass die adressierten Themengebiete systemisch eng miteinander verflochten sind und durch diverse Maßnahmen (oft isoliert) bearbeitet werden. Aus den benannten Punkten, von welchen die städtischen Güterverkehre entweder direkt betroffen oder von diesen verursacht sind, ergeben sich die im nächsten Abschnitt behandelten Problem- bzw. Handlungsfelder.

2.4.2. PROBLEMFELDER UND MASSNAHMEN

Unfälle

Das Parken von Lieferfahrzeugen in der zweiten Reihe, auf Geh- und Radwegen sowie im Kreuzungsbereich stellt einen Gefahrenherd für „schwache“ Verkehrsteilnehmer, wie FußgängerInnen oder RadfahrerInnen, dar. So wird Fußgängern der Blick auf den fließenden Verkehr genommen, mobilitätseingeschränkte Personen werden beim Queren gehindert, Radfahrer zu riskanten Ausweichmanövern gezwungen und Stauungen des Verkehrs verursacht (vgl. BIEK 2019, S. 45–46; vgl. Agora Verkehrswende, S. 2). Ebenso sorgen die Schwerfälligkeit der Fahrzeuge und eine verminderte Übersicht über den restlichen Verkehr für logistikbedingte Unfälle im Straßenverkehr.

In Wien gab es im Jahr 2018 insgesamt 166 Unfälle (von 5200) mit Lkw (über 3,5t), bei denen 213 Menschen (von 6479) verunglückten, davon zwei tödlich (insgesamt 18, vgl. Statistik Austria 2019b). In deutschen Städten sind Lkw für 20% der tödlichen Unfälle verantwortlich (vgl. Agora Verkehrswende, S. 5). Lieferwägen scheinen hierbei noch nicht einberechnet²⁰. Während also die Anzahl der Unfälle durch Lkw in Städten gering erscheint, ist die Anteil an schweren Unfällen deutlich höher. Betroffen sind vor allem schwache VerkehrsteilnehmerInnen: 43% der Todesopfer im städtischen Verkehr in Österreich sind Fußgänger, 8% Radfahrer (vgl. ERSO 2018, S. 10). Während die Gruppe der schweren Lkw auf Autobahnen für rund 28% aller dort Verunglückten und Toten verantwortlich ist (bei einem Anteil an Verkehrsunfällen von 25%), sinkt dieser Wert in Städten (vgl. WKO 2019 S. 67f.). Es lässt sich also feststellen, dass bei Unfällen mit Lkw die Folgen deutlich schwerwiegender sind als mit Pkw. Ein positiver Trend sind die insgesamt sinkenden Zahlen der tödlich Verunglückten im städtischen Verkehr (vgl. ERSO 2018, S. 2–3).

²⁰ Im Jahr 2017 waren in den Niederlanden Lieferwägen für weitere 15% der tödlichen Unfälle verantwortlich. 58% der tödlichen Unfälle wurden von Pkw, 23% von Lkw verursacht (siehe Abbildung 29).

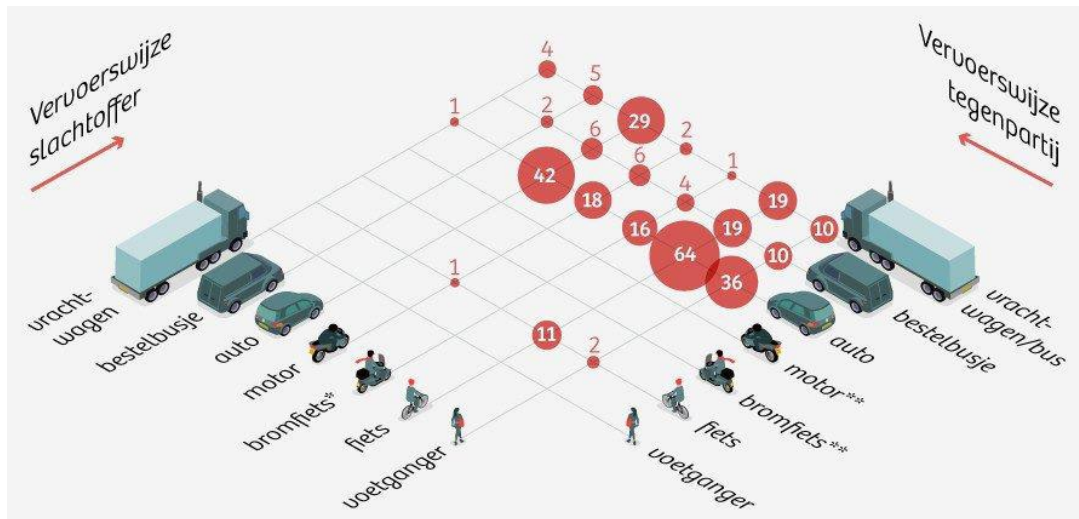


Abbildung 29: Opfer (links) und Verursacher (rechts) tödlicher Verkehrsunfälle nach Verkehrsmodus in den Niederlanden 2017. Quelle: Verkade & Te Brömmelstroet 2019.

Technologische Fortschritte machen es möglich, eine häufige Unfallquelle – das Abbiegen – mit einem Abbiegeassistenten zu entschärfen. In immer mehr Städten ist die Ausrüstung von Lkw mit dieser Technik vorgeschrieben. Die Stadt Wien plant beispielsweise ab Frühjahr 2021 mit einem Rechtsabbiegeverbot für Fahrzeuge über 7,5 t ohne diese Technologie (vgl. ORF 2019). Hier zeigt sich also, dass mittels neuer technologischer Möglichkeiten Gefahrenquellen durchaus reduziert werden können. Ein weiterer Hoffnungsfaktor liegt hier in der Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrsysteme, die durch eine konstante Überwachung der verkehrlichen Umwelt den größten Faktor für Unfälle – menschliche Fehler – minimieren sollen. Digitale Tools können im Routing oder im Ladezonenmanagement eingesetzt werden, um ein Parken in der zweiten Reihe zumindest partiell zu verhindern.

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Einführung von Abbiegeassistenten zur Vermeidung von Unfällen
- Förderung der Fahrzeugautomatisierung für sichereren Straßenverkehr
- Einführung eines Ladezonenmanagements zur Vermeidung des Parkens in zweiter Reihe...

Klimawandel und Luftverschmutzung

Die Belastungen durch Klimagas und Luftverschmutzung durch den Güterverkehr stellen sich überproportional zum Verkehrsanteil dar, vor allem in Städten. In Wien etwa zeichnet der Güterverkehr für grob 20% bis 30% der verkehrlichen Schadstoffemissionen verantwortlich (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 13). Die Treibhausgasemissionen aus dem Verkehr betragen weltweit ca. 15% der Gesamtemissionen (vgl. Straube et al. 2017, S. 29). Dies ist schon an sich aufgrund des Klimawandels relevant, an politischer Bedeutung haben die Emissionen aber vor allem durch das Pariser Klimaabkommen gewonnen. Städte stehen vor der Herausforderung, ihre Emissionen drastisch zu reduzieren. Dem Verkehrssektor kommt, nach einem Blick auf Klimadaten, hier besondere Bedeutung zu. Im Mai 2017 veröffentlichte die europäische Umweltagentur European Environment Agency (EEA) Daten, welche die Entwicklung der Treibhausgasemissionen Europas seit 1990 beschreiben. Die Reduktion in beinahe allen relevanten Sektoren wie Energie und industrielle Produktion wird dabei konterkariert von einem konstanten Anstieg der Emissionen aus dem straßengebundenen Verkehr. Die daraus resultierenden CO₂-Emissionen sind seit 1990 um mehr als 142 Millionen Tonnen gestiegen und zeichnen für 24% der CO₂-Emissionen der Europäischen Union inklusive Island verantwortlich (vgl. EEA 2017, S. 72).

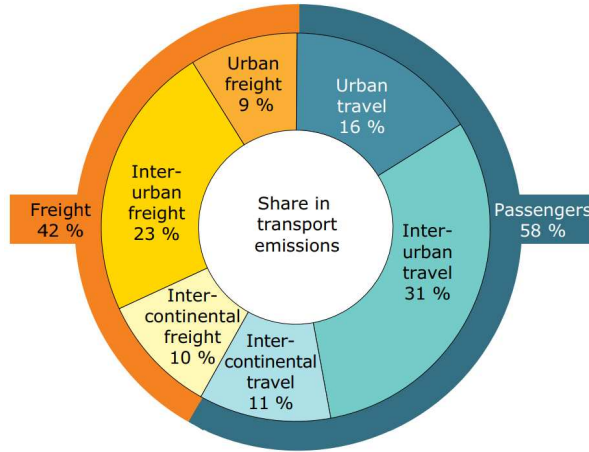


Abbildung 30: Geschätzter Anteil der Treibhausgas-Emissionen innerhalb des Transportsektors (in der EU 2010). Quelle: EEA 2013, S. 42

„CO₂ emissions from [...] Road Transportation is the second largest key source of all categories in the EU-28+ISL accounting for 21 % of total GHG emissions in 2015. Between 1990 and 2015, CO₂ emissions from road transportation increased by 20 % in the EU-28+ISL [...]. The emissions from this key source are due to fossil fuel consumption in road transport, which increased by 25 % between 1990 and 2015“ (EEA 2017, S. 247).

Relevant wird dieser Effekt hinsichtlich der Ziele der Europäischen Union zur Reduktion der Emissionen bis 2030 bzw. bis 2050. Bis 2030 sollen die CO₂-Emissionen anhand des Werts von 1990 um 55% reduziert, bis 2050 sogar gänzlich vermieden werden (vgl. Transport & Environment 2020, S. 8–10). Während, wie erwähnt, andere Sektoren ihre Emissionen reduzieren, steigen jene des Verkehrs. Abbildung 31 zeigt eine Aufschlüsselung nach Transportart. Es wird ersichtlich, dass der Emissionstrend der Logistik jenem der Reduktionsziele gegenläufig ist.

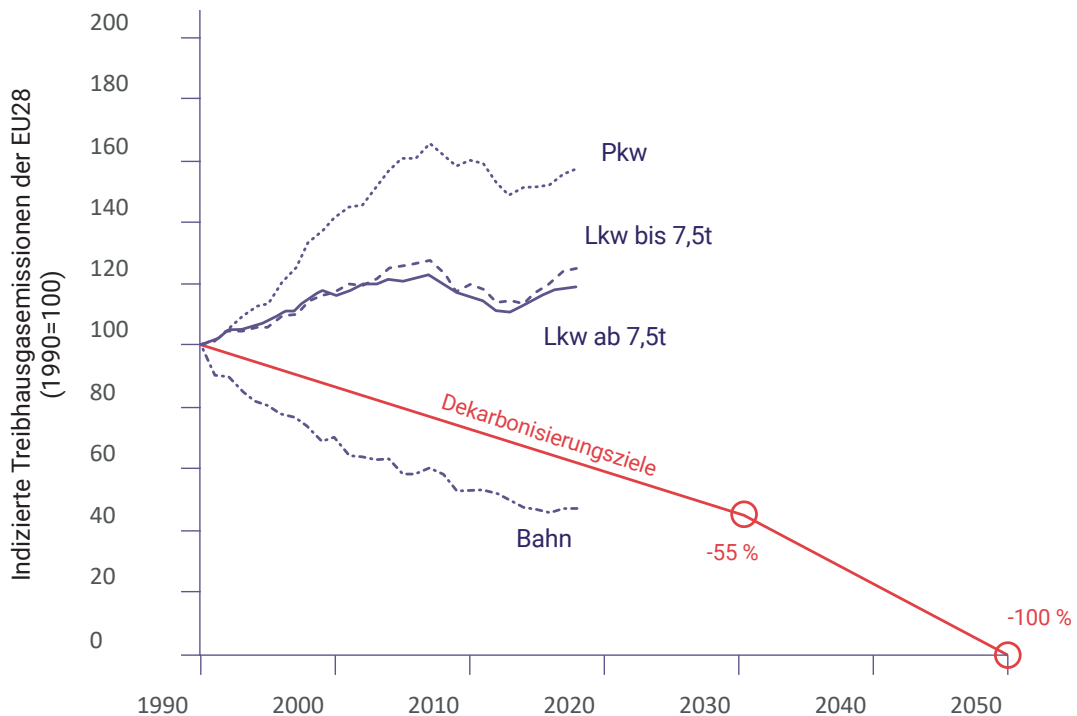


Abbildung 31: Treibhausgasemissionen nach Verkehrsart. Nur die Bahn scheint auf dem richtigen Weg, die Einsparungsziele zu erfüllen. Quelle: Darstellung von Mathias Mitregerger nach Transport & Environment 2020, S. 11

Doch nicht nur Treibhausgasemissionen sind ein Problem der City-Logistik. Auch Schwefel- und Nitrogenoxide verschlechtern – mit aufgewirbeltem Feinstaub, Abrieb und Lärm – die Lebens- und Gesundheitsbedingungen in verkehrlich belasteten Gebieten (vgl. Taniguchi et al. 2016, S. 5).

Für den KEP-Sektor wurden in Frankfurt am Main und in Nürnberg Daten zu CO₂-Emissionen erhoben. Eine Erhebung unter KEP-Dienstleistern ergab eine Anzahl von 269 Touren pro Tag. So wurde etwa in Nürnberg ein täglicher CO₂-Ausstoß von rund 7,5t CO₂ (Well-to-Wheel) durch die befragten KEP-Dienstleister identifiziert (vgl. Bogdanski 2015, S. 23). Auf die gesamte Stadt, den gesamten Güterverkehr und für größere Städte kann dementsprechend von einem weit höheren Wert ausgegangen werden. Diese exemplarischen Zahlen zeigen die Bedeutung von Maßnahmen zur Emissionsreduktion in Städten. Einfahrverbote (in Wien sind etwa nur Lkw der Abgasklasse 3 oder höher zugelassen, vgl. Stadt Wien o.J.a) oder Umweltzonen stellen regulative Instrumentarien dar. Auf organisatorischer Ebene werden Reduktionen von Touren, emissionsparende Routenplanungen, eine Neuanschaffung von Fahrzeugen (etwa durch die Förderung der Anschaffung von Lastenrädern oder Elektrofahrzeugen oder der Konzipierung von alternativen Mobilitätskonzepten) diskutiert und umgesetzt.

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Digitale Routenplanung zur Reduktion von Umwegen und Vermeidung von Verkehrsspitzen
- Einrichtung von Konsolidierungscetern zur Güterbündelung
- Moderne Fahrzeugflotten zur Emissionsreduktion (höhere Euroklassen)
- Förderung alternativer Antriebe zur Emissionsreduktion
- Förderung alternativer Verkehrsträger zur Verkehrsverlagerung...

Lärm

Auch wenn die Lärmemissionen von Fahrzeugen im Straßenverkehr stetig sinken (vgl. Lärm-info 2017), stellt vor allem Schwerverkehr immer noch eine ernstzunehmende Lärmquelle in Städten dar. Damit verbunden sind Auswirkungen auf Lebens- und Aufenthaltsqualität sowie auf die Gesundheit der Bevölkerung. Es gilt: je schwerer ein Fahrzeug, desto größer die Lärmemissionen.

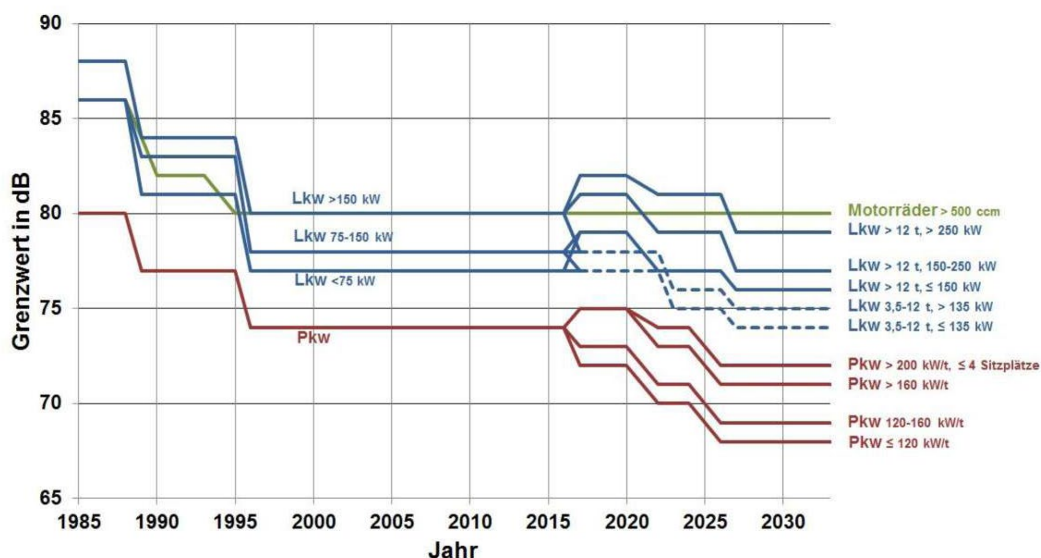


Abbildung 32: Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge in der EU. Quelle: Lärm-info 2017.

Ab 40 dB wird die menschliche Konzentration bereits gestört, ab 65 dB steigt das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen zunehmend an (vgl. HUG o.J.). Lautstärken ab 80 dB schließlich gelten als gesundheitsschädigend. Lieferwägen und Lkw weisen im Straßenverkehr oft Werte von über 80 dB auf (vgl. ADAC 2006, S. 18). Die Straßenlärmbelastungskarte Wiens zeigt, dass einige Bereiche der Stadt von einem zu hohen Lärmpegel betroffen sind. Dies hat Effekte auf das Stadtgefüge, sind verkehrsbelastete Lagen doch vor allem für Wohnnutzungen ungleich unattraktiver und setzen damit einkommensschwache Bevölkerungsgruppen in überproportionalem Maße gesundheitsschädigendem Lärm (und weiteren Emissionen) aus.



Abbildung 33: Straßenverkehrslärm in Wien. Quelle: Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt 2018.

Lärmemissionen stellen neben der Beeinträchtigung von Gesundheit und Lebensqualität auch ein Hindernis in der Implementierung von City-Logistik-Projekten dar. Sie erschweren etwa die Nutzung urbaner Infrastruktur in Zeiten einer Unterauslastung – in der Nacht würden Güterverkehr und dabei vor allem der Umschlag bzw. Lieferverkehr die Ruhe in ungebührlicher Weise stören.



Abbildung 34: Viele Faktoren beeinflussen die Lärmemissionen der Fahrzeuge. Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC 2006, S. 18

Emissionen wirken also lokal und global und entfalten unterschiedlichste Wirkungen. Klar ist jedoch, dass neue Ansätze in der City-Logistik durch die Diversität der Emissionen und deren Auswirkungen in unterschiedlichster Weise darauf Bedacht nehmen müssen. Durch eine Neuanschaffung von Fahrzeugen, eine Verringerung der Fahrten und durch partielle Fahrverbote und gesetzliche Emissionslimits können Lärmemissionen gesenkt werden. Gemäß den Prognosen eines weiteren Wachstums des straßengebundenen Logistiksektors ist jedoch – bei gleichbleibender Antriebsart – von keiner substanziellen Verbesserung der Situation auszugehen.

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Modernere Fahrzeugflotten zur Lärmreduktion
- Anpassung von Straßenbelägen zur Reduktion von Abrollgeräuschen
- Angepasste Rollcontainer zur Lärmreduktion beim Umlad
- Geschwindigkeitsbegrenzungen zur Reduktion des Abriebgeräuschs
- Partielle Fahrverbote zur Schaffung/Wahrung von Ruhezeiten/-zeiten...

Verkehrsbelastung und Staus

Abgesehen von den höheren Kosten für Logistikbetreiber, von den zusätzlichen Emissionen durch unproduktive Zeitverluste und von weiteren negativen Effekten auf die (Stadt-)Umwelt stellen unplanbare Verzögerungen im Lieferverkehr immer größere Probleme in der Planung von Lieferungen dar (vgl. ERTRAC 2015, S. 28). So scheitert etwa ein effizienteres Ladezonenmanagement (siehe S. 36) an den staubedingten Unwägbarkeiten in der Routenplanung. Durch den steigenden Anteil von E-Commerce im Retail-Bereich steigt die Bedeutung von Just-in-time-Lieferungen für Kundenfreundlichkeit ist pünktliche Lieferung von Gütern ein wichtiges Qualitätskriterium.

Kumuliert verschärfen Verkehrsbelastungen und Staus so die negativen Effekte der Logistik auf die Stadt und erschweren – in deren inhärenten Logik – das erfolgreiche Funktionieren. Durch das für die Zukunft prognostizierte Verkehrswachstum (sowohl im MIV als auch insbesondere in der städtischen Logistik) kann hier nicht mit einer automatischen Entspannung gerechnet werden – im Gegenteil: Es zeichnet sich eine Verschärfung der Situation ab.

Die Logistik ist allerdings keineswegs nur ein Opfer hohen Verkehrsaufkommens. Durch den Anteil von bis zu 20% am städtischen Güterverkehr (siehe S. 16), ist die Logistik ein Mitgrund für die Verkehrsprobleme von Städten (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 13; vgl. Boschidar 2017). Prümm, Kauschke & Peiseler gehen davon aus, dass 80% der städtischen Staus durch den Güterverkehr verursacht werden (vgl. Prümm et al. 2017, S. 11). Durch Ladetätigkeiten bzw. das Parken in zweiter Reihe verschlimmert der Güterverkehr obendrein bestehende Engpässe im Straßenverkehr. Außerdem wird die Staubildung durch die größere „Behäbigkeit“ von Lkw überproportional beeinflusst (vgl. Lierow 2012, S. 4). Durch die Etablierung von Logistikzentren im Stadt-Umland, dem Logistics Sprawl, wurden hohe Verkehrszuwächse an bestimmten Straßen geschaffen und in Teilen die Kilometerleistung von Lieferfahrzeugen erhöht (vgl. Dablanc & Rakotonarivo 2010, S. 6093–6094). Der Anteil an Lkw im Verkehr auf diesen Hauptverkehrsadern kann bis zu 30% betragen (vgl. Wirtschaftsagentur Wien 2016, S. 5).

Als Folge der Verzögerungen durch Staus wurden Forderungen²¹ laut, Lkw auf Busspuren zuzulassen (vgl. Der Standard 2018). Ebenso werden die partielle Aufhebung von Nacht-

²¹ Im zitierten Fall wurde die Forderungen von Mag. Davor Sertic, Spartenobmann der Wirtschaftskammer Österreichs für Transport und Verkehr, in einem Bericht der österreichischen Tageszeitung „Der Standard“ erhoben.

fahrverboten, ein effizienteres Routing und eine bessere Auslastung von Fahrzeugen als Lösung gesehen, die freilich in ihren jeweiligen Umsetzungen durchaus kompliziert umzusetzen sind. Auf regulatoriver Ebene hat die Stadt die Möglichkeit, mittels Einfahrverbote, City-Mauts etc. Maßnahmen zu setzen.

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Öffnung von Busspuren für besseren Verkehrsfluss der Logistik
- Partielle Aufhebung von Nachtfahrverboten
- Digitales Echtzeitrouting zur Umfahrung von Staus
- City-Maut zur Reduktion des Pendelverkehrs im MIV
- Einfahrverbote zur besseren Erreichbarkeit bestimmter Stadtteile...

Ladezonen

In einem im Rahmen des Projekts „Logistik 2030+“ abgehaltenen Workshop im Herbst 2018 und informellen Gesprächen mit Akteuren der Wiener und niederösterreichischen Logistikbranche wurde das Themenfeld der Ladezonen neben dem der Staus als eines der drängendsten urbanen Logistikprobleme genannt. Ladezonen sind vor allem für die Versorgung der Konsummärkte relevant und betreffen nur vordergründig Logistikbetreiber. Auch andere Sektoren sind von Ladezonen zumindest partiell abhängig bzw. hätten Bedarf an einer vermehrten Ausweisung derer. Lieferfahrzeuge verschiedenster Dienste – vor allem KEP-Dienste – sorgen durch Ladetätigkeiten auf Fahrspuren und Radwegen (in der 2. Reihe) oft für Erschwernisse und Risiken im Stadtverkehr (vgl. Agora Verkehrswende 2019, S. 2). In Wien existieren rund 3000 Ladezonen, die sich räumlich vor allem im Innenstadtraum verdichten (siehe Abbildung 35).

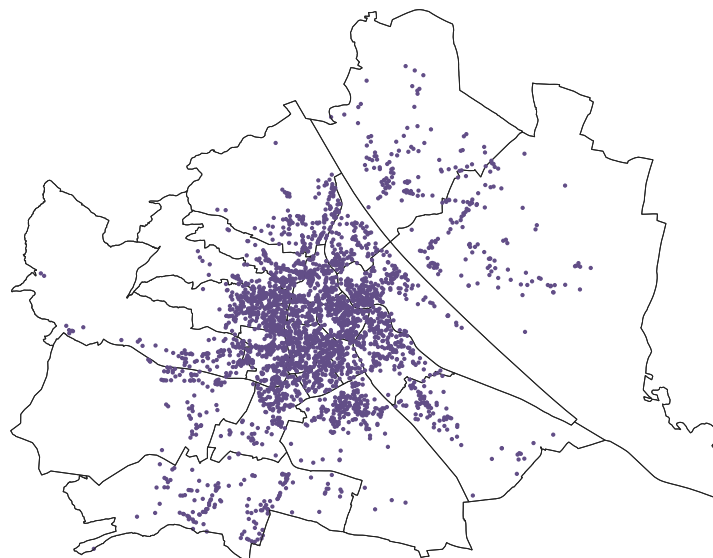


Abbildung 35: Ladezonen in Wien. Quelle: Eigene Darstellung nach Stadt Wien 2020a

Eine besondere Problematik der Ladezonen ergibt sich durch die – aufgrund von Beschränkungen etwa in der Größe oder Auslastung (etwa durch konkurrierende Unternehmen oder FalschparkerInnen) – oft ineffiziente Nutzung. Falschparker und schon besetzte Ladezonen verursachen oft das Parken in der zweiten Reihe, was zu einer Verzögerung bzw. Unplanbarkeit von Lieferungen führt. Das im Rahmen der von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderten Reihe „Mobilität der Zukunft“ umgesetzte Forschungsprojekt „Urban Loading“ hat sich mit dieser Thematik

beschäftigt und Ansätze beleuchtet, um Ladezonenmanagement effizienter zu gestalten. Als Hauptproblematik im Lösungsansatz wurde die Unplanbarkeit der Ankunftszeit von Lieferungen im gängigen System ermittelt (vgl. Prisma 2016). Dadurch können wiederum weitere Verzögerungen im Verkehr verursacht werden. Gemeinsam mit den entstehenden Zeitverlusten sind dies wichtige Bausteine, deren Entschärfung zu einer verbesserten Logistik in Städten beitragen kann.

Durch die notwendige gemeinsame Benutzung der Ladezonen und durch deren begrenztes Angebot entstehen negative Dynamiken in der Kooperation der Logistikbetreiber, die Stokoe mit jenen der Commons vergleicht. Er beschreibt, wie der Idee der Commons die Prinzipien der Kooperation und Aushandlung zugrundeliegen – und wie sehr diese Prinzipien am Beispiel der Ladezonen unter Druck geraten (vgl. Stokoe 2018, S. 16–17 – siehe Abbildung 36). Am Beispiel der Ladezonen zeigt sich so ein kleines Fenster aus Angebot, Nachfrage und Einflussfaktoren (wie Verkehr, Parkplätze etc.) in welchem eine effiziente Nutzung möglich ist. Je mehr Ladezonen nachgefragt werden, und umso größer der (gerechtfertigte) Druck ist, Straßenraum für Begrünungen, Radwege, Parkplätze etc. zu verwenden, desto größer der Wettbewerb um die mehr und mehr begrenzten Flächen. Dadurch können Innovationen entstehen (wie etwa kollaborative Buchungsplattformen, wie im nächsten Absatz beschrieben). Je umkämpfter der Raum, desto mehr unkollaborative Egoismen schreibt Stokoe den Logistikbetreibern und NutzerInnen des öffentlichen Raums zu. So entsteht ein Teufelskreis, der die Situation letztlich für alle verschlechtern kann.

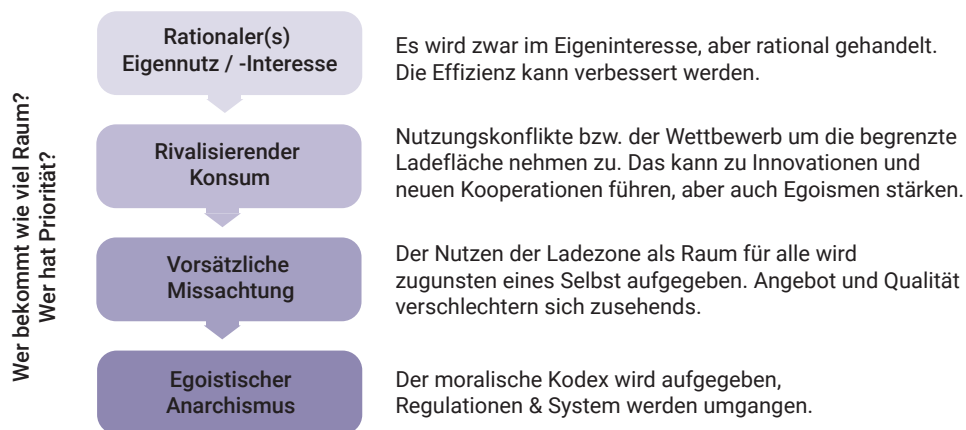


Abbildung 36: Die Problematik der Ladezonen in Analogie zur Problematik der Commons. Quelle: Eigene Darstellung nach Stokoe 2018, S. 16–17

Indirekt greift auch das „Urban Loading“-Projekt diese Problematik auf, indem drei Lösungsansätze diskutiert werden: ein regulativer, ein kooperativer und ein informativer. Während regulative Ansätze (wie fix zu buchende Anlieferzeiten) an der Unplanbarkeit von Ankunftszeiten und Falschparkern scheitern, bietet ein kooperativer Ansatz scheinbar zu wenig Anreize zur Schaffung eben dieser. Im informativen Ansatz werden in Echtzeit Belegungsdaten übermittelt, was eine bessere Planung der Belieferung möglich macht. Eine optimale Lösung müsste wohl all diese Ansätze in einer Form verbinden, um substantielle Verbesserungen zu erzielen (vgl. BMK 2016).

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Echtzeitübertragung von Belegungsdaten
- Buchungssysteme für Ladezonen
- Schaffung neuer (temporärer) Ladezonen...

Interdependenzen in der Inanspruchnahme von Flächen

Die Logistik hat – durch größere Fahrzeugbreiten und -längen – einen Einfluss auf die Ausgestaltung von Straßenquerschnitten; Kreuzungsabschnitte und Kurven benötigen ebenfalls größere Radien. Deren Dimensionierung orientiert sich wesentlich am Platzbedarf von Lkw, wodurch Trennwirkung verstärkt und als Effekt breiterer Straßen höhere Geschwindigkeiten im Straßenverkehr (samt negativer, sekundärer Effekte) möglich werden. Ebenso erhöhen sich die baulichen Anforderungen an Straßen und Brücken, was zu einer Zunahme der Errichtungs-, Unterhaltungs- und Instandhaltungskosten führt (vgl. Verkehrsclub Deutschland 2006, S. 4). Aber nicht nur im fließenden Verkehr werden Nutzungskonflikte sichtbar. Der Bedarf an zusätzlichen Ladezonen befindet sich in einem ständigen Spannungsfeld zwischen Parkplatznot und dem Wunsch des Rückbaus von Straßenraum hin zu sanfteren Mobilitäts- und Nutzungsformen. Auch die sonstigen von der Logistik beanspruchten Flächen, wie Umschlag- oder Lagerplätze, sind einem Spannungsfeld ausgesetzt. Durch steigende Grundstücks- und Mietpreise in den Städten wird die Innenentwicklung – und so die Absiedelung der Logistik in das Stadt-Umland – attraktiver (vgl. Hieslmair & Zinganel 2019, S. 5).

Die Ansiedlung logistikintensiver Funktionen im Umland der Stadt, an Standorten mit einer guten Anbindung an höherrangige Verkehrsnetze, ist politisch gewollt, um einerseits Innenentwicklung voranzutreiben und andererseits Güterverkehre besser zu bündeln. Dieser Logistics Sprawl hat wiederum Folgen auf den Verkehr an Einfallstraßen und zurückgelegten Kilometern im Straßennetz der Städte (siehe S. 35). In den Städten werden neue Hubs zur Verlagerung der Verkehrsströme vom Lkw hin zu kleineren Lieferwägen oder alternativen Verkehrsträgern (wie Lastenräder oder Drohnen) angedacht.

Mögliche Maßnahmen (u.a.):

- Errichtung von urbanen Verteilcentern (Mikro-Hubs, Logistikhochhäuser, Amazon-Zeppeline...)
- Zonierungen zur Eindämmung des Lkw-Verkehrs
- Verlagerungen von Umschlagzentren in das Stadt-Umland zur Verwertung innerstädtischer Flächen
- Etablierung neuer Infrastrukturen und Konzepte...

2.4.3. EIN SYSTEM AUS SUBSYSTEMEN: BETREIBERVIELFALT UND KONKURRENZ ALS TREIBER NEGATIVER EFFEKTE

Zu all diesen Punkten gesellt sich einer, durch dessen Lösung sich viele andere Probleme entschärfen können: Die Logistik hat ein Auslastungs- und Effizienzproblem. Weil jedes Logistikunternehmen seine Routen bisher selbst plant, ist ein gesamtheitlicher Überblick und eine Organisation der potenziellen Warenströme schwer zu realisieren. Mehr Kooperation kann zu einer Effizienzverbesserung führen, schon jetzt gibt es unter bestimmten Logistikbetreibern Absprachen und Möglichkeiten, Leerfahrten neu zu organisieren und so zu reduzieren, wie etwa Frachtbörsen. Diesem Punkt wird versucht, etwa mit Lizenzsystemen beizukommen, in denen Güterströme hoheitlich organisiert werden (vgl. u.a. Roland Berger 2018, S. 9). Diese würden allerdings in weiterer Folge räumliche Monopolisierungen bewirken und werden – vor allem von kleineren Betreibern – kritisch gesehen. Eine im Vergleich dazu sanftere Lösung wäre die „Einrichtung von effizienzabhängigen Zufahrtsrestriktionen“ (Schrapf et al. 2013, S. 40). Ebenso können Hubs (ob als Konsolidierungszentrum am Stadtrand oder als Mikro-Hub in einem Stadtviertel) eine Verbesserung in der Auslastung und der Routenplanung bewirken. Durch Verbesserungen in diesem Bereich könnten viele Verkehre und „leere Kilometer“ vermieden werden.

2.5. ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG VON PLANERISCHEN MASSNAHMEN

Sowohl von Seiten der Logistik als auch von Seiten der Stadtplanung existieren also Maßnahmen, um Problemfelder zu entschärfen und negative (externe) Effekte zu lindern. Dabei lassen sich diese vor allem in drei Themencluster einordnen, hinter denen unterschiedliche Handlungsansätze stehen:

Organisatorische Initiativen: Maßnahmen durch Government (Initiativen wie Gesetzgebungen, Verordnungen) und Governance (Projekte zur Neu/Umorganisation von Güterströmen)

Technische Initiativen: Maßnahmen durch technologische Ansätze/Innovationen und im Betrieb

Stadträumliche Initiativen: Maßnahmen durch neue Infrastrukturen und Management des öffentlichen (Straßen-)Raums

	Organisatorisch	Technisch	Stadträumlich
Unfälle	<ul style="list-style-type: none"> • Ladezonenmanagement • Einfahrverbote • Verbote von Lkw ohne Abbiegeassistenten 	<ul style="list-style-type: none"> • Abbiegeassistenten • Fahrzeugautomatisierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptionen im Straßenraum
Luft	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung moderner Fahrzeugflotten • Emissionsgrenzwerte • Umweltzonen • Förderung alternativer Antriebe 	<ul style="list-style-type: none"> • Routenplanung • Moderne Fahrzeuge • Alternative Antriebe 	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung von Hubs zur Bündelung von Gütern • Einrichtung von Hubs zur Ermöglichung alternativer Verkehrsträger
Lärm	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung moderner Fahrzeugflotten • Emissionsgrenzwerte • Fahrverbote • Ausweisung von Zonen (räumlich/zeitlich) • Geschwindigkeitsbegrenzungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationen bei Rollpaletten/Containern • Neuartige Transportbehältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung von Straßenbelägen
Stau/Verkehrsbelastung	<ul style="list-style-type: none"> • Öffnung von Busspuren • Aufhebung von Nachtfahrverboten • Einfahrregulierungen/Verbote (City-Maut u.a.) • Zustellfenster 	<ul style="list-style-type: none"> • Echtzeit-Routing • Verkehrsleitsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung von Hubs zur Bündelung von Gütern
Ladezone	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung temporärer Ladezonen 	<ul style="list-style-type: none"> • Belegungsdaten • Buchungssysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung neuer Ladezonen
Flächenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • Zonierungen • Flächenwidmungsplanung 		<ul style="list-style-type: none"> • Urbane Verteilzentren • Verlagerungen von Umschlagflächen in das Umland
Auslastung	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierte Transportbehälter 	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierte Transportbehälter 	

Abbildung 37: Einordnung von Maßnahmen in Handlungsspektren. Quelle: Eigene Darstellung nach Allen et al. 2007; Melo 2010, S. 35; Randelhoff 2018.

Diese Auswahl an Beispielen zeigen die große Bandbreite an Problemstellungen und Steuerungsmöglichkeiten. Die hohen externen Kosten des Logistikverkehrs steigern den Handlungsdruck für die öffentliche Hand, Lösungen zu gestalten. Die Wirkungen der einzelnen Maßnahmen auf Teilbereiche und deren Erfolge aus einer betrieblichen Sicht können durchaus gegeben sein. In einem Überblick auf die gesamten Ziele der Stadtplanung können aber durchaus kontradiktorische Effekte entstehen.

Diese Lösungen firmieren oft unter dem Begriff der City-Logistik-Konzepte. Die City-Logistik als Steuerungsinstrument ist in sich vielschichtig und hat in den vergangenen Jahrzehnten eine Evolution samt vieler Lerneffekte durchgemacht. Auf den folgenden Seiten sollen die Entwicklung der City-Logistik zu heutigen Konzepten (Smart Urban Logistics, Green Urban Logistics etc.) nachgezeichnet und heutige Werkzeuge zur Erreichung eines ressourcenschonenden, stadtverträglichen Logistikverkehrs aufgezeigt werden.

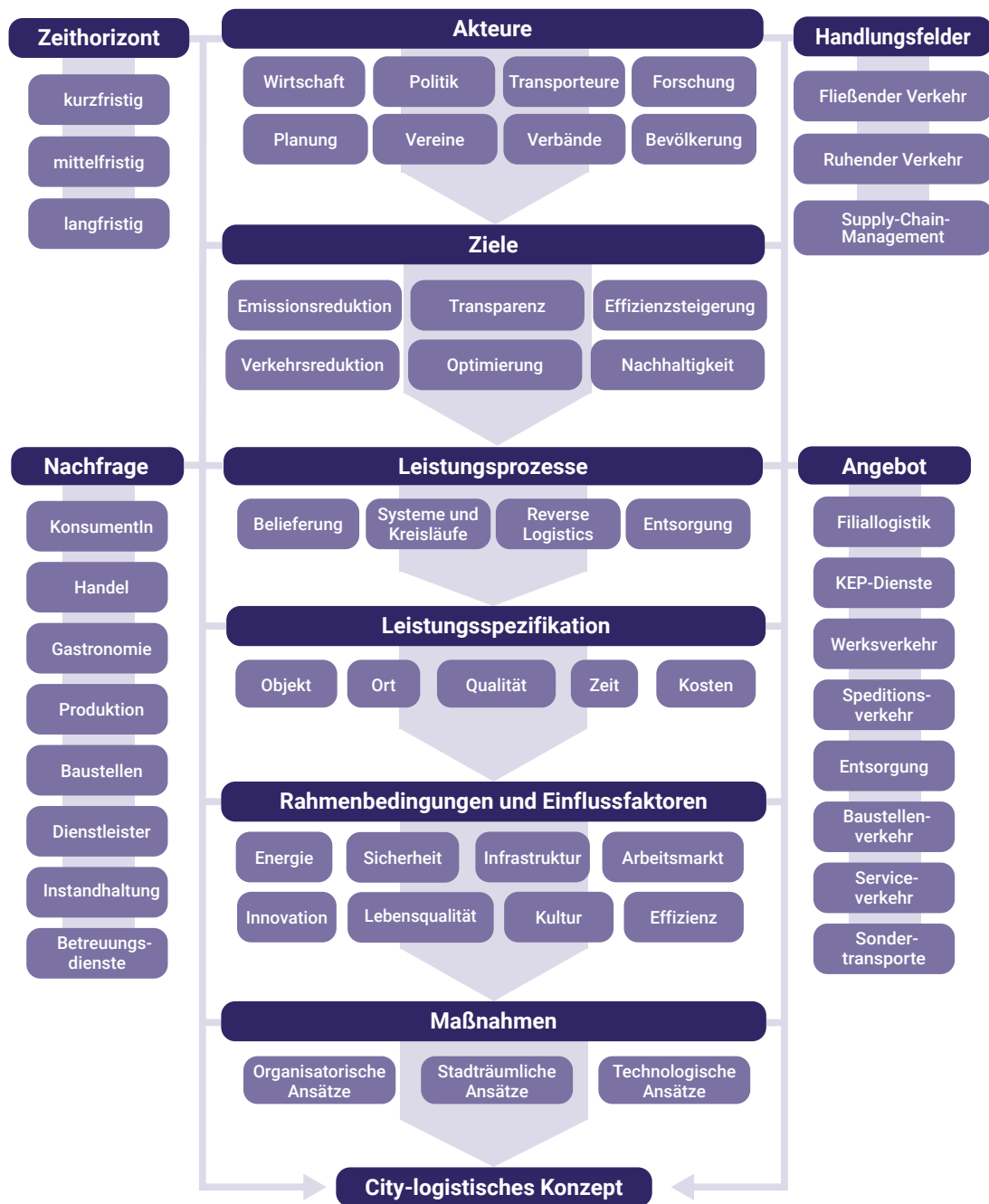


Abbildung 38: Von Elementen der städtischen Logistik hin zur City-Logistik: Diese geht über die Optimierung eines bestimmten Lieferwegs hinaus. Quelle: Eigene Darstellung nach der "Smart Urban Logistics" von Schrampf et al. 2013, S. 3.

3. KONZEPTE, MASSNAHMEN UND INSTRUMENTE DER CITY-LOGISTIK

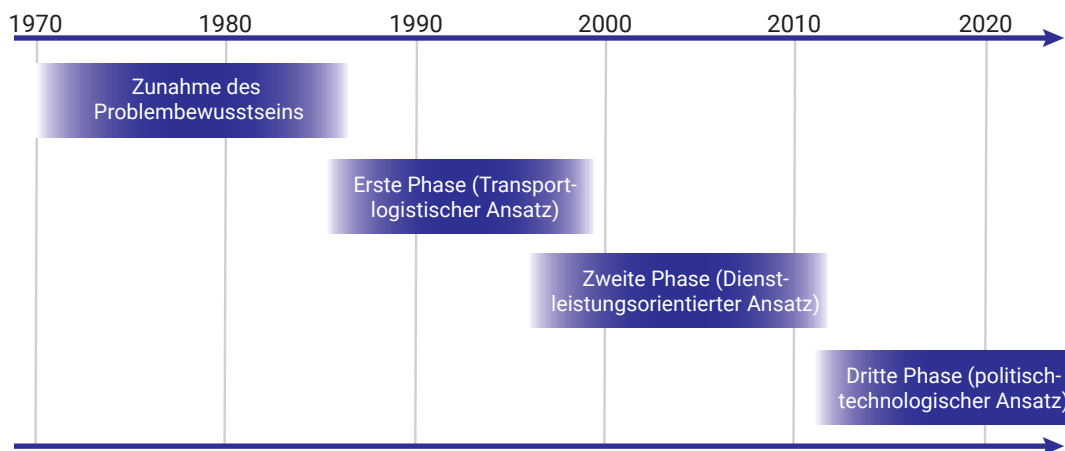


Abbildung 39: Zeitlicher Abriss der Entwicklung der City-Logistik. Quelle: Eigene Darstellung nach Erd 2015

3.1. DIE ENTWICKLUNG DER „CITY-LOGISTIK“ ALS KONZEPT

In den 1970er Jahren rückten Lkw und ihre Effekte auf die Stadt immer mehr in den Fokus der Stadtplanung (vgl. Segalou et al. 2004, S. 208). Die Fahrleistung von Lkw stieg stetig an (vgl. Statista 2019). Dadurch erlangte die Problematik der Umweltauswirkungen und der Verkehrsbelastung zunehmend an Relevanz. Mit den späten 80er Jahren wurden diese Zusammenhänge in Deutschland erstmals unter dem Begriff „City-Logistik“ systematischer erfasst und konzeptuell – etwa im Sinne einer Optimierung von Logistikströmen – bearbeitet (vgl. Allen et al. 2007, S. 4). Seit damals ist der städtische Wirtschaftsverkehr ein bedeutendes Untersuchungsobjekt der Verkehrswissenschaft und Stadtplanung (vgl. Oexler 2009, S. 295). City-Logistik-Projekte sind dabei meist auf bestimmte Teilbereiche einer Stadt beschränkt, vor allem Bereiche von Innenstädten und funktionieren durch eine Kooperation verschiedener Akteure (etwa bei RegLog in Regensburg, vgl. Schaarschmidt 2008).

Der ursprüngliche praktisch-operative Ansatz, die Logistik als notwendiges Übel zu betrachten, wurde durch die Bestimmung als eigene Disziplin, zunehmende Globalisierung und durch einen holistischeren Ansatz (Zusammenführung von Erkenntnissen aus Kriegs-, Ingenieurs- & Wirtschaftswissenschaften) theoretisch wesentlich erweitert (vgl. Gudehus 2010, S. xix). Gudehus definiert hier die Bedeutung einer analytisch-planenden Logistik im Gegensatz zu einem praktisch-operativen Ansatz als wesentlich, um tragfähige und effiziente Prozesse, Strukturen und Systeme zu schaffen, in welchen die Logistik operiert. Dies ist für das Verständnis der City-Logistik von Bedeutung, unterstreicht diese Erkenntnis doch die genannte Diskrepanz zwischen der gängigen Praxis in der städtischen Logistik und den Potenzialen einer konzeptuell-integrativen Herangehensweise. Die Genese des Begriffs „City-Logistik“ kann so als Geschichte der Anerkennung der Komplexität des Netzwerks Stadt mitsamt ihrer Akteursvielfalt erkannt werden. Gleichzeitig scheint die City-Logistik dennoch gerade daran zu scheitern. Die Geschichte und Entwicklung der City-Logistik ist also geprägt von dieser Dualität. Die Auflösung dieser wird entscheidend für zukunfts- und tragfähige Konzepte.

Die Entwicklung der City-Logistik kann in drei Phasen beschrieben werden, die in der Literatur als Generationen bezeichnet werden (vgl. Oexler 2002, S. 64ff.). Die ersten beiden Entwicklungsstufen zeichnen sich vor allem durch die zunehmende Anerkennung von Komplexitäten aus, während die dritte Generation von einem starken Governance-Ansatz und neuen Möglichkeiten durch die Integration neuer Technologien in City-Logistik-Konzepte gekennzeichnet ist.

3.2. DIE ERSTE GENERATION DER CITY-LOGISTIK (TRANSPORTLOGISTISCHER ANSATZ)

Im Fokus der ersten Generation von City-Logistik-Konzepten standen vor allem einzelwirtschaftliche Interessen. Durch solitäre Organisation von Lieferungen waren bestimmte Zonen oder Kunden für die Lieferdienste unwirtschaftlich, da etwa lange Strecken mit wenig Ladung zurückgelegt werden mussten. Infolgedessen wurden auf diesen „Problemstrecken“ Kooperationen mit anderen Logistikunternehmen eingegangen (vgl. Oexler 2002, S. 64). Die ersten Übereinkünfte zwischen und Innovationen in Unternehmen waren also eine Folge der unwirtschaftlichen Organisation von Wegen und/oder der innerbetrieblichen Logistik. Da viele Unternehmer an die Einzigartigkeit ihrer Logistikprobleme glaubten bzw. noch immer glauben (vgl. Gudehus 2010, S. xx) und eine beständige Angst vor der Konkurrenz herrscht, waren die die erste Generation kennzeichnenden Kooperationen also ein tatsächlicher Meilenstein. Durch das Ziel der Erhöhung der Produktivität der Lieferfahrzeuge in der Transportsenke Innenstadt (vgl. Oexler 2002, S. 64) folgten die Kooperationen einer betriebswirtschaftlichen Logik (vgl. Gudehus 2010, S. xx–xxi). Demzufolge wurden durch die erste Generation städtische bzw. stadt- und verkehrsplanerische Problemfelder noch kaum adressiert. Nach Oexler schlugen sich diese Kooperationen weiters räumlich oft lediglich im städtischen Nahbereich und nicht in der „City“ nieder, da vor allem im Bereich der Belieferung von Großmärkten zur Verminderung der Wartezeit an Entladerampen Vereinbarungen getroffen wurden. In der Innenstadt erfolgte die gemeinsame Organisation von Transporten in „Problemzonen“, um hohe Wartezeiten und geringe Transportvolumina bei der Lieferung in etwa Fußgängerzonen zu vermeiden. Erste (wenige) warengruppen- und branchenspezifische Kooperationen, welche ähnliche Güter bereits an der Transportquelle bündeln, entstanden somit in den frühen 90ern. Am Papier konnten durchaus Erfolge erzielt werden, so gab es teils deutliche Verbesserungen in der Fahrzeugauslastung, den zurückgelegten Fahrzeugkilometern und der Anzahl eingesetzter Fahrzeuge (vgl. Oexler 2002, S. 65f.). Damit existierten Ende 1995 in deutschen Städten 19 Projekte bzw. Aktivitäten zur kooperativen Bündelung von Güterströmen (vgl. Hesse & Kruspe 1996, S. 28). Der zuerst vermutete Erfolg der ersten City-Logistik-Konzepte wurde jedoch schnell von Ernüchterung abgelöst (vgl. Thoma 1996).

3.3. DIE ZWEITE GENERATION DER CITY-LOGISTIK (DIENSTLEISTUNGSORIENTIERTER ANSATZ)

Die transportlogistischen, stark monothematischen Modelle der ersten Generation gestalteten sich in Bezug auf die vor- und nachgelagerten Kosten als stark unwirtschaftlich, da etwa die durch lange Vorlaufzeiten entstandenen Mehrkosten nicht eingepreist wurden. Diese wirtschaftlichen Nachteile überlagerten damit positive Erkenntnisse und Effekte, vor allem, da die meisten Projekte privat getragen und nicht öffentlich gefördert wurden (vgl. Hesse & Kruspe 1996, S. 28). Somit kam es ab 1995 zu einem starken Rückgang transportlogistischer Ansätze (vgl. Oexler 2002, S. 68).

Durch die Erkenntnis der Speditionswirtschaft, dass eine rein betriebswirtschaftliche Annäherung unter Missachtung der Akteurs- bzw. Stakeholdervielfalt zum Scheitern verurteilt ist, wurden weitere Akteure in die Entwicklung von City-Logistik-Modellen einbezogen. Auch die Stadtplanung sah nun eine Möglichkeit, mit Ausschreibungen und Förderungen eine ganzheitliche City-Logistik im Gegensatz zur räumlich punktuellen der ersten Generation zu etablieren (vgl. Hesse & Kruspe 1996, S. 28). Das daraus entstehende dienstleistungsorientierte Modell bildet die zweite Generation der City-Logistik-Ansätze.

Dieser Ansatz zeichnet sich also durch die Orientierung hin zu einem größeren Akteursspektrum aus und versucht, eine größere Zielgruppe mittels einer stärkeren Dienstleistungsorientierung in das City-Logistik-Modell zu integrieren. So trug der Einzelhandel durch die Verpflichtung zur Rücknahme von Verpackungsmaterial Zusatzkosten (35% bis 50% dieses Abfalls wurde von firmeneigenen Fahrzeugen entsorgt), die durch eine gebündelte und kol-

lektive Logistik Senkung versprochen. Folglich wurde etwa die kollektiv organisierte Entsorgung von Verpackungsmaterial neben der Einrichtung von kooperativen Lagermöglichkeiten und Zustellservices in das Modell integriert (vgl. Stephan 2005).

Aus einem reinen Belieferungsservice der ersten Generation wurde so ein City-Logistik-Dienst für eine größere Innenstadtzielgruppe (etwa Einzelhandel, Dienstleister und Handwerk) und letztlich ein City-Logistik-System (vgl. Oexler 2002, S. 69f.). Die zweite Generation steht also „für eine ‚breitere, integrative und damit wirkungsvollere Citylogistik‘, die ‚nicht nur einzelne Güterflüsse betrachtet, sondern alle Verkehrsbewegungen auslösenden Güter-, Dienstleistungs- und Personenflüsse“ (Oexler 2002, S. 70). Aufgrund eines stärkeren Einflusses der Stadtplanung sind seit ca. 1995 die Wirkungen auf unterschiedliche Teilräume (Innenstadt, Nebenzentren, Gewerbegebiete, denkmalgeschützte Bereiche, ...), auf unterschiedliche Verkehrsträger (Lastenräder, Cargo-Tram, ...) und auf die (Stadt-)Umwelt vermehrter Bestandteil von City-Logistik-Modellen (vgl. Hesse & Kruspe 1996, S. 29).

All diesen Maßnahmen lag das Ziel zugrunde, durch ein besseres Angebot und ein besseres Image neue Teilnehmer für das City-Logistik-System zu gewinnen, um in Folge (und v.a. im Gegensatz zur ersten Generation) Rationalisierungspotenziale, Sendungsvolumina zu steigern und weiters den Standort Innenstadt zu stärken bzw. Imagegewinne für den Standort zu erzielen (vgl. Oexler 2002, S. 70). Es zeigt sich also, dass das Denken in der zweiten Generation zwar schon umfassender war, aber dennoch nicht zu nachhaltig erfolgreichen Projekten führte.

3.4. DAS SCHEITERN DER CITY-LOGISTIK

Das vorwiegend in Deutschland so titulierte Konzept wurde und wird durchaus differenziert gesehen. Ambrosini und Routhier kommen nach einer Betrachtung mehrerer Projekte zum Schluss, dass die Ergebnisse zwar erfolgreich waren (anhand etwa einer Einsparung an zurückgelegten Kilometern von 45%), dass die aufwändig konzipierten Projekte jedoch nur 1% des städtischen Güterverkehrs betrafen (vgl. Ambrosini & Routhier 2004, S. 65). Eine weitere Studie der Universität Huddersfield stellt fest, dass öffentlich gehaltene und organisierte Logistikkonzepte zum Scheitern verurteilt wären, seien diese doch nicht kompetitiv, schlossen nicht alle Akteure des Marktes mit ein und verzerrten somit den Wettbewerb. Da private Unternehmen bereits das für eine erfolgreiche Organisation von Transporten erforderliche Wissen über längere Zeiträume erworben hätten und selbst im Besitz von Logistikflächen an den jeweils benötigten Orten wären, seien öffentliche City-Logistik-Projekte kontraproduktiv (vgl. Whiteing 1996). Dies übersieht freilich den Beitrag, den diese gängige Praxis auf das Bild und die Verkehrs-, Lebensqualitäts- und Emissionsproblematik der Städte beisteuert und beschreibt Logistik wieder aus einer betriebswirtschaftlichen Sichtweise. Außerdem richtet sich die Analyse des Scheiterns genau auf die Unfähigkeit oder den Unwillen des privaten Sektors, sich der City-Logistik einzuordnen.

„Die unter dem Titel ‚City-Logistik‘ gelaufenen Bemühungen gelten heute als gescheitert, vor allem, weil die ‚horizontale‘ Koordination dieser Sendungen nicht gelang, nämlich das Aufsammeln von Einzelsendungen verschiedener Frächter und Spediteure an einem zentralen Lager und die konzentrierte Zustellung aller dieser Sendungen durch einen der Beteiligten oder einem Dritten an die betreffenden Endkunden. Die Eifersucht der Beteiligten und die Furcht, einer könnte dem anderen dessen Kunden abspenstig machen, war einfach zu groß. Die Koordination gelang nicht. Die ‚City-Logistik‘ war gescheitert!“ (Frohner 2016, S. 1).

Der Ansatz der zweiten Generation hatte also ebenfalls Schiffbruch erlitten. Es gelang zwar, einzelne City-Logistik-Dienste erfolgreich in Städten zu implementieren, die Etablierung eines Gesamtsystems blieb aber aufgrund mangelnder Kooperationsfreude und TeilnehmerInnen erfolglos. Problematisch stellt sich, wie von Frohner beschrieben, das mangelnde

Vertrauen dar. Verbunden mit hohen Kosten zu Beginn und einem Glauben an die eigene Problemlösungskompetenz ist die Bereitschaft, sich vollständig auf ein City-Logistik-Projekt einzulassen, gering und mit einem hohen Risiko verbunden. Von Seiten der Konzeptersteller kann nur die Notwendigkeit von ausgiebigen Ex-Ante-Analysen (samt frühzeitiger Integration von Stakeholdern und kooperativer Konzeptentwicklung) betont werden, um Probleme schnell zu erkennen und das ohnehin geringe Vertrauen nicht zu zerstören.

Eine Studie zu den Effekten von Güterverkehrszentren in Deutschland (vgl. BMVBS 2010) sieht die City-Logistik im freien Wettbewerb der im städtischen Raum operierenden Logistikdienstleister ebenfalls gescheitert, da sie konzeptuell die Komplexität der städtischen Logistik ungenügend erfasst hat. Als Probleme der City-Logistik genannt werden:

- Die Leistung der City-Logistik wird in der Regel nach der reinen Transportleistung gemessen, was keinen umfassenden Blick über die Wirkungen von City-Logistik-Projekten und deren Umfang gibt.
- Das Sendeaufkommen unterliegt Schwankungen, was die Planung von Routen-, Verteil- und Konsolidierungskonzepten erschwert.
- Eine hohe Wettbewerbsintensität und hohe Transaktionskosten gehen auch auf Kosten des Vertrauens unter den Partnern.
- Telematik-Schnittstellen sind oftmals uneinheitlich, was in der Umsetzung von Maßnahmen innerhalb von City-Logistik-Projekten eine große Hürde darstellen kann.
- Speziell außerhalb von Umschlagzentren gestalten sich die Absammlvorgänge als aufwändig. Weiters entstehen durch die „Rampenproblematik“, dem Besetzen von Ladezonen, lange Wartezeiten (u.a.).
- Die Strukturschwäche des Einzelhandels bedingt eine partielle Filialisierung, wodurch die Systemverkehre anwachsen – Lösungsfindungen im Gesamtverkehr werden dadurch erschwert.
- Das starke Wachstum der KEP-Branche bewirkt eine starke Reduktion von Sendungsgrößen mit einer Mehrzahl an Zielen, die teilweise als eigene City-Logistik funktionieren.
- Ordnungspolitisch sind City-Logistik-Fahrzeuge nicht bevorzugt (vgl. BMVBS 2010, S. 56).

Die Auswahl an Hürden und Hemmern des Erfolgs von City-Logistik-Projekten scheint weiters mit der Größe des Projektgebiets an Bedeutung zu gewinnen. Der Wirkungsgrad von City-Logistik-Projekten sinkt laut einer Analyse von Larissa Eckardt mit zunehmender Komplexität des Projektgebiets und des Projektumfangs, also der Einwohnerzahl und der angebotenen Dienstleistungen. Generell stehen die Erkenntnisse aus den Wirkungsanalysen damit im Widerspruch zu Lerneffekten aus der ersten Generation der City-Logistik-Modelle, welche die Integration von neuen Dienstleistungen und Akteuren ins City-Logistik-System beinhalteten. Diesem allgemeinen Trend gegenüber stehen jedoch Projekte mit hohem Wirkungsgrad trotz mehrerer Dienstleistungen und mehr als 250.000 Einwohnern wie in München, Ulm, Berlin und Stuttgart. Dies unterstreicht die Wichtigkeit, gerade bei höherer Komplexität eine umfassende Analyse und Planung durchlaufen und Akteure früh und systematisch einzubinden, um den Erfolg eines Projekts zu gewährleisten (vgl. Eckardt 2014, S. 23).

Aus der Sicht der Planung ist eine Erfolgsbemessung überdies schwierig, wurden städteplanerische Ziele wie etwa Verkehrsreduktion doch in beiden City-Logistik-Generationen eher als angenehme Nebeneffekte und nicht als primäre Ziele deklariert. Aufgrund der – je nach Interessenlage und Branchenhintergrund – sehr unterschiedlichen Anforderungen

an die Theorie der City-Logistik entfalten sich Effekte nur partiell und sind überdies schwer messbar, da sie im Normalfall nur bestimmte Teilsegmente des Verkehrs und/oder des Stadtraums untersuchen. Durch die Atomisierung der Sendungsgrößen und der Güterströme vor allem im urbanen Umfeld folgt eine ebenso große Zersplitterung von Handlungsfeldern. Die jeweilige Auswirkung eines Projekts auf die Verkehrsmenge sollte daher nicht alleine im Fokus stehen, sondern vielmehr städtebauliche Entlastungseffekte punktueller Maßnahmen mit möglicher positiver Wirkung auf die Umwelt beachten (vgl. Hesse & Kruspe 1996, S. 29f.).

Es wird also ersichtlich, dass die Evolution der City-Logistik von der stetigen Erkenntnis geprägt ist, dass eine effiziente, nachhaltige städtische Logistik nicht abseits der Stadtplanung funktionieren kann. Demzufolge ist es – im Sinne einer ausgewogenen Stadtplanung – besonders im urbanen Kontext notwendig, die Logistik von einer rein funktionalen Betrachtung zu befreien und auf die ihr innewohnenden Akteure, Umweltauswirkungen sowie die jeweiligen Teilräume einzugehen.

Das vorwiegende Scheitern der ersten und zweiten Generation von City-Logistik-Konzepten und der steigende Handlungsdruck durch die zunehmende Verkehrsbelastung und Dringlichkeit durch den Klimawandel stärkten die Position der Politik und Verwaltung, welche sich zunehmend unter Aspekten des Klimaschutzes und der Verkehrsberuhigung initiatisch betätigt. Heutige Bestrebungen der City-Logistik sind in der Literatur noch nicht als „dritte Generation“ erfasst, es gibt aber in gegenwärtigen Konzepten einige Unterschiede zu den Konzepten der 80er und 90er Jahre, die vorrangig aus einer veränderten Position und Haltung der Politik und Verwaltung, aus einem gestiegenen Handlungsdruck sowie aus neuen technologischen Möglichkeiten resultieren (vgl. BMVBS 2010, S. 57).

3.5. ORDNUNGSPOLITIK UND TECHNOLOGISCHER FORTSCHRITT ALS GRUNDPFEILER EINER DRITTEN GENERATION?

Der Begriff „City-Logistik“ wird für Projekte zur Optimierung städtischer Warenströme heute nur mehr selten verwendet. Vielmehr ist heutzutage etwa von Smart Urban Logistics (vgl. Frohner 2016; vgl. Schrampf et al. 2013) oder „grüner Logistik“²² die Rede. Maßgeblich ist ein gewisses grundlegendes, konzeptuelles Policy-Framework, das in diesen Konzepten vorgegeben und entwickelt wird. Dies stößt bei Logistikbetreibern auf Akzeptanz. In einem Interview unterstreicht die Interessensvertretung der Logistik in Person von Dkfm. Heinz Pechek (geschäftsführender Vorstand des Bundesverbandes Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik in Österreich) die Notwendigkeit eines Generalverkehrsplans für die City-Logistik, der möglichst alle Stakeholder – von Industriebetrieben über Produktion und Handel bis zur Stadtplanung – einschließt (vgl. zukunftsindustrie.info 2019). Die neuen City-Logistik-Projekte gehen über eine reine Transportkonsolidierung der Logistikbetreiber hinaus und haben sich zu Projekten gewandelt, die neben den Ebenen der Stadt und der Logistikbetreiber eine externe und separate Projektorganisation miteinschließen (vgl. Herry et al. 2014, S. 6).

Durch die EU und die Festlegung der Bedeutung von urbaner Logistik in den SUMP (Sustainable Urban Mobility Plans) gibt es seit dem Jahr 2007 eine immer größere Anzahl von EU-Projekten, die national, lokal oder privat umgesetzt werden (vgl. Europäische Kommission 2020; vgl. ERTRAC 2015, S. 44). Diese können zwar sowohl durch top-down oder bottom-up-Initiativen organisiert sein, werden aber großteils von der Verwaltung durchgeführt. Der Shift zu einer dominanteren Rolle der Stadtplanung in City-Logistik-Konzepten wird in mehreren EU-Projekten deutlich, in denen etwa explizit Infrastrukturen für eine Bündelung der Anlieferung und Feinverteilung in Stadtzentren geschaffen werden, wie etwa die Urban Consolidation Centres (UCC) (vgl. Ambrosino 2015, S. 13). Neben den genannten vielfältigen EU-Projekten zur Verbesserung der Effizienz wurden spezifische Programme zur Reduktion negativer Umweltfaktoren ausgearbeitet, wie etwa das „Weißbuch zum Verkehr“ (vgl.

22 Etwa: Green Urban Logistics (vgl. Gonzalez-Feliu 2018). Grundsätzlich gibt es einige Kombinationen der Wörter „smart“, „urban“ und „green“, die sich konzeptuell oft als City-Logistik-Projekte darstellen.

Europäische Union 2011) oder das „Urban Mobility Package“ (vgl. Europäische Kommission 2013) der EU, die vorrangig eine CO₂-Reduktion der (städtischen) Logistik anstreben (vgl. Frohner 2016). So wird etwa im „Weißbuch zum Verkehr“ das Ziel genannt, die städtische Logistik bis 2030 weitgehend CO₂-neutral zu gestalten (vgl. Europäische Union 2011, S. 9). Auch daraus folgen Initiativen der öffentlichen Hand.

Weitere Elemente einer policy-getriebenen Vorgehensweise sind somit etwa, wie in London exerziert, die Congestion Charge (Verkehrsabgabe) oder die Ultra Low Emission Zone (vgl. Ambrosino 2015, S. 13). Von 2010 bis 2018 stieg der Anteil von Lieferfahrzeugen im Straßenverkehr Londons um 20% an. London reagierte mit einer Congestion Charge zur Eindämmung des Verkehrs und einer Ultra Low Emission Zone zur Eindämmung von schadstoffintensiven Fahrzeugen im Straßenverkehr. Ebenso wurde ein mit 170.000 Pfund dotiertes Förderinstrumentarium, der „Healthy Streets Fund for Business“, für nachhaltige Logistik im Stadtzentrum eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigen einen rasch steigenden Anteil an Lieferungen per Lastenfahrrad, sinkende Emissionen und um bis zu doppelt so schnelle Lieferungen aufgrund der Möglichkeit, Staus leichter zu umgehen (vgl. Jelica 2019). Dieses Beispiel zeigt die gestalterische Rolle, die Städte durch Policies in der Organisation des Logistikverkehrs einnehmen können. Durch Verordnungen können auf Seiten der Logistik Kaskadeneffekte bewirkt werden.

Unter anderem durch Anleitung der EU werden Lerneffekte zwischen Städten unterstützt. Unter der Homepage www.bestfact.net etwa finden sich Best-Practice-Beispiele von Projekten zur städtischen Logistik. Hieraus wird ersichtlich, welche Bandbreite an partiell erfolgreichen Projekten bereits existieren und wie essenziell dabei die horizontale Vernetzung der Stakeholder ist. Allerdings sind diese oft räumlich oder branchenspezifisch sektoral. Dies zeigt, dass trotz einer deutlich vermehrten Einbindung in städtische Gesamtstrategien weiterhin vorwiegend Lösungsversuche in Teilsegmenten vorgenommen und sogar lanciert werden.

Für (vorwiegend kommunale) Verwaltungen, aber auch Fördergeber etwa von Seiten der EU, stellt sich heute die Frage, inwiefern verschiedene policy-getriebene Ansätze eine reibungslose Logistik ermöglichen und gleichzeitig den Zielen einer Reduktion von Verkehr und Emissionen sowie einer Erhöhung von Lebensqualität entsprechen. Eine Studie von Roland Berger weist für Deutschland im Jahr 2030 vier Szenarien aus, in welche Richtung die Entwicklung gehen könnte. Dabei werden vier mögliche Zielstrategien der Governance vorgestellt (aktive Regulierung, Schaffung eines kooperativ integrierten Systems, passive Regulierung sowie Fördern und Zulassen von individuellen smarten Lösungen (vgl. Roland Berger 2018, S. 8 – siehe Abbildung 40).

Während letztlich von einer Koexistenz verschiedener Maßnahmen ausgegangen werden kann, kann dem Ansatz einer kooperativen, integrierten und aktiven Regulierung im Rahmen der Steuerungsinstrumente europäischer Städte eine hohe grundsätzliche Problemlösungskompetenz im Bereich der städtischen Güterlogistik zugesprochen werden. Dabei können Plattformen zur vermehrten Kooperation von Logistikbetreibern sowie neue Infrastrukturen (wie innerstädtische Hubs) zur effizienteren Konsolidierung und Verteilung geschaffen werden (vgl. Roland Berger 2018, S. 9–10). Abschließend lässt sich also sagen, dass die Politik maßgebliche Möglichkeiten besitzt, das System der urbanen Logistik der Zukunft mitzugestalten, dabei aber immer die eigenen gesteckten Ziele nicht aus den Augen verlieren darf.

So gibt es sowohl von Seiten der EU, der Nationalstaaten, von Regionen und Kommunen sowie einzelner Betreiber oder Kooperativen vielerlei Ansätze, wie eine bessere Bündelung von Gütern, eine Umrüstung der Antriebstechnologie, eine Förderung von Kooperation, eine Schaffung von Hubs, eine Integration von städtischer Logistik in verkehrliche Gesamtkonzepte etc. erreicht werden kann. Die fast unüberschaubare Vielzahl von Projekten zur städtischen Logistik in der gesamten EU zeigt, dass das Thema der Gütermobilität in Ballungsräumen diese Akteure viel beschäftigt, aber so gut wie keine ganzheitlichen Lösungsansätze gedacht werden (vgl. Schrampf 2016, S. 58). Der Fokus auf Einzelprojekte hat – unter Einbezug von Lerneffekten aus anderen Projekten – zur Folge, dass diese immer neu aufgesetzt werden müssen. Wie etwa das Scheitern der ersten Generation von City-Logistik-Projekten zeigt,

ist das mit erheblichem finanziellen und organisatorischen Aufwand verbunden, was eine Kostendeckung solcher Projekte oft unmöglich macht. Durch die gestalterische Rolle von Städten durch Policies, steigende Nebenkosten durch eine Zunahme des Gesamtverkehrs auf den Straßen und vor allem durch den wachsenden KEP-Sektor rücken City-Logistik-Projekte von Seiten der Logistikbetreiber zunehmend wieder in den Fokus und erhöhen – unter der Prämisse einer Einpreisung sonstiger externer Effekte – die ökonomische wie organisatorische Machbarkeit (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 4).

Vier mögliche Szenarien einer policy-getriebenen Stadtlogistik der Zukunft

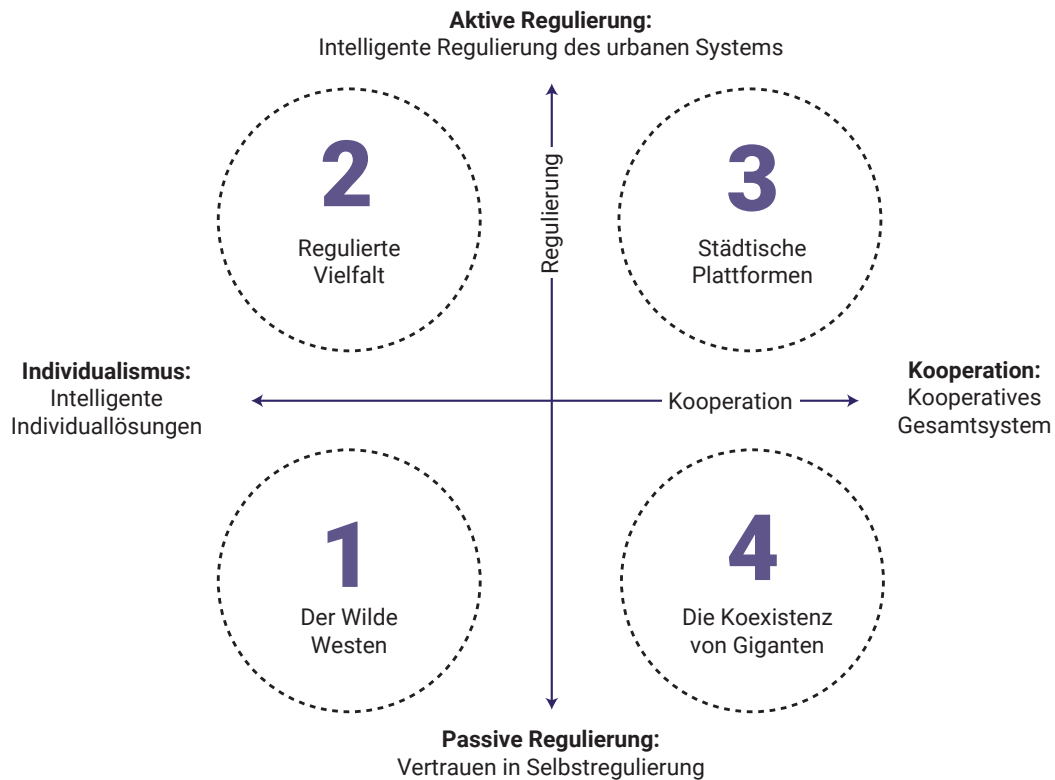


Abbildung 40: Die mögliche Entwicklung der städtischen Logistik aus der Policy-Perspektive. Quelle: Eigene Darstellung nach Roland Berger 2018, S. 8

3.6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK AUF DIE CITY-LOGISTIK

Durch das Konzept der City-Logistik bzw. aktuell durch die Konzepte von Green Logistics oder Smart Urban Logistics wird also versucht, die negativen Wirkungen der Logistik auf die Stadt und deren Bewohner zu reduzieren und gleichzeitig aber nicht zu sehr in die Interessen der Logistikbetreiber einzugreifen. Dabei zeigen sich partiell durchaus Erfolge – nur wenige City-Logistik-Projekte aber sind langfristig von Erfolg gekrönt. Vor allem die Fragmentierung, die Herauslösung einzelner Projekte aus einem Gesamtlogistikkonzept, sorgt für hohe Bearbeitungsaufwände und Interferenzen zwischen verschiedenen Projekten. Es zeichnet sich also ab, dass durch City-Logistik die von der Logistik verursachten Problemstellungen nur bedingt und partiell gelöst bzw. gelindert werden können. Vielmehr ist weiterhin mit einer Verschärfung der Problemlagen zu rechnen. Städte setzen auch daher heute gerne auf akzentuierte Einzelmaßnahmen als auf umfassende City-Logistik-Konzepte.

Ein Blick auf aktuelle Wachstumsprognosen der Städte und des Verkehrsaufkommens – sowohl des Individualverkehrs als auch in der Logistik – offenbart, dass sich die meisten Probleme von selbst nicht lösen werden. Sie könnten sich vielmehr in den nächsten Jahren eher zuspitzen. Am Beispiel Wien stellt sich zwar die Verfügbarkeit valider Daten als schwer

heraus, Prognosen für den erweiterten Raum existieren aber. Für die Centropo-Region (u.a. Wien, Brunn, Bratislava) kann für 2030 gegenüber 2005 von einem Wachstum des straßengebundenen Güterverkehrs von 100%, für Niederösterreich von 23%, ausgegangen werden (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 10).

Die Wichtigkeit von effektiven Instrumenten zur Eindämmung des Logistikverkehrs im Sinne der drei V der Verkehrsplanung (vermeiden, verlagern, verbessern²³) ist folglich evident. Ein Blick auf die einzelnen Maßnahmen in der City-Logistik zeigt jedoch, dass diese das Problem alleine nicht lösen können. Dies ist einer mangelnden Abstimmung zwischen Betreiber, Stadtverwaltung und -planung sowie mangelndem Wissen über Güterverkehre in der Stadtverwaltung zuzuschreiben und äußert sich in mangelnder strategischer Ausrichtung (vgl. Ballantyne & Lindholm 2014, S. 40–46).

In der folgenden Abbildung sind ausgewählte Maßnahmen, als auch deren teils gegenläufigen Effekte beschrieben. Die Maßnahmen können dabei Teil eines City-Logistik-Projekts, aber auch Einzelmaßnahmen sein.

	Hauptziel(e)	Nachteile
Nachtfahrverbote	Reduktion der Lärmbelastung	Anstieg der Verkehrsmenge zur Spitzenzeit
Aufhebung des Nachtfahrverbots	Erhöhung des Verkehrsflusses	Anstieg der Lärmemissionen zu Ruhezeiten
City-Maut	Reduktion des Verkehrs und Bündelung von Lieferungen	Abwälzen von Kosten auf Kunden und Nachteile für kleinere Marktteilnehmer
Congestion Charge (Verkehrsabgabe)	Reduktion der Einfahrten in die City-Zone	Nachteile für kleinere Marktteilnehmer
Umweltzonen	Reduktion von Emissionen	Nachteile für Inhaber älterer, emissionsintensiverer Fahrzeuge
Einfahrverbote	Förderung alternativer Verkehrsträger	Nachteile für Inhaber älterer, emissionsintensiverer Fahrzeuge
Ladezonenmanagement	Verringerung der Wartezeiten und Umwege, des Parkens in zweiter Reihe und höhere Zuverlässigkeit	Interdependenz mit anderen Akteuren der Stadt, die Anspruch auf den öffentlichen (Straßen-)Raum erheben
Abbiegeassistenten	Erhöhung der Verkehrssicherheit	Eventueller Ausschluss von Marktteilnehmern
Fahrzeugautomatisierung	Erhöhung der Effizienz, Reduktion der Kosten, Erhöhung der Verkehrssicherheit	Unklar wann marktreif, mögliche Gefährdung von Arbeitsplätzen
Adaptionen im Straßenraum	Verringerung der Abrollgeräusche, Erhöhung von Verkehrssicherheit, Erhöhung der Verfügbarkeit von Ladezonen	Mögliche Konflikte im Anspruch auf den Raum, hohe Kosten
Modernere Fahrzeugflotten	Verringerung der Emissionen von Lärm, Klimagasen und Luftschadstoffen	Zeitnah nicht flächendeckend umsetzbar
Öffnung von Busspuren	Verbesserungen der Liefer-Planbarkeit, unabhängiger von der Verkehrslage	Verschlechterung des Angebots im ÖV, möglicher Anstieg der MIV-Verkehrsmenge, andere Gruppen melden ebenfalls Ansprüche auf Verkehr auf Busspuren
(Verpflichtende) Buchungssysteme	Auslastung der Ladezonen und der Fahrzeuge erhöhen und damit die Planbarkeit verbessern sowie sekundäre, negative Effekte reduzieren	Einheitliche Telematikschnittstellen nötig, hohe Einführungskosten, technologisch nicht sofort einsetzbar

23 Diese sind analog zu den vier im „Urban Mobility Package“ der EU definierten Maßnahmen: Regelung und Management der Nachfrage, Verlagerung auf andere Transportmodi und Verkehrsträger, Verbesserung der Effizienz, Verbesserung der Fahrzeugtechnologie sowie der Antriebe (vgl. Schrapf 2016, S. 18–19). Die letzten beiden Punkte werden im dritten V (Verbessern) summiert.

Einrichtung von Güterverkehrszentren	Konsolidierung von Gütern am Stadtrand, Ermöglichen alternativer Antriebe, Verbesserung der Auslastung, Verwertung wertvoller innerstädtischer Logistikflächen	Verkehrsmenge an Einfahrtstraßen steigt an, ein Mehr an Emissionen ist möglich
Einrichtung von City-Hubs	Ermöglichen kleinerer und alternativer Verkehrsträger, Neustrukturierung der letzten Meile	Umkämpfter öffentlicher Raum wird beansprucht, Lieferungen zu den Hubs erfolgen weiterhin mit emissionsintensiven Fahrzeugen
Lizenzsysteme	Höhere Konsolidierungsgrade und bessere Auslastung der Fahrzeuge	Monopole können geschaffen, kleine/schwächere Betreiber vom Markt gedrängt werden

Abbildung 41: Auswahl und grobe Bewertung von städtischen Maßnahmen, Förderungen und Regularien zur Verringerung der externen Effekte des Güterverkehrs. Quelle: Eigene Darstellung.

All diese (und noch weitere) Maßnahmen und deren jeweilige lokale Abwägung werden das System der Stadtlogistik der Zukunft – neben u.a. technologischen Innovationen – prägen. Logistikbetreiber stellen lieber technologische denn regulatorische Neuerungen in den Vordergrund (siehe Abbildung 42).

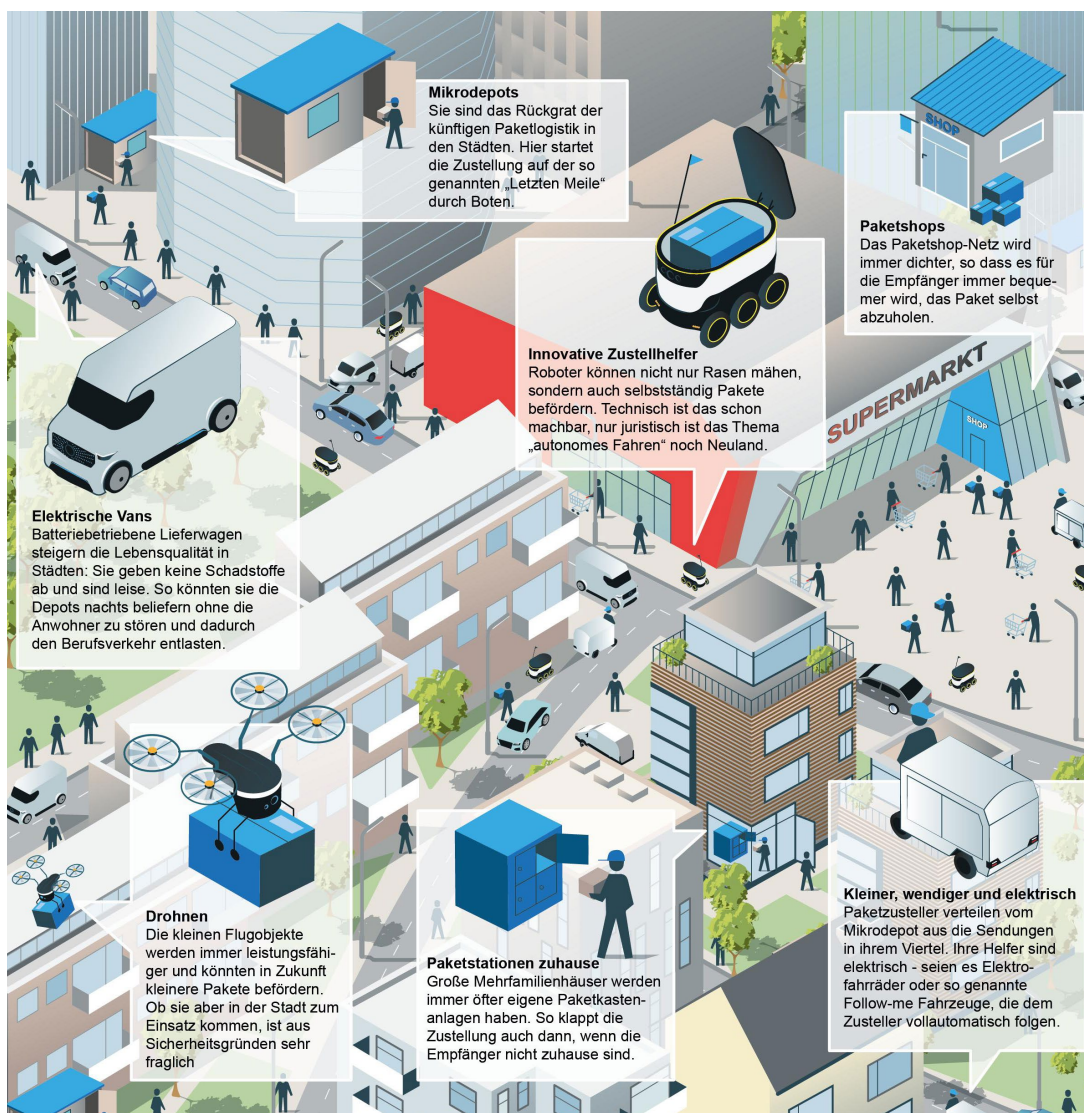


Abbildung 42: Technologische und infrastrukturelle Innovationen können Teil von zukünftigen City-Logistik-Konzepten sein, wie hier an einer Vorstellung zur Paket-Logistik. Quelle: Otto Group 2017

4. CITY-LOGISTIK DER ZUKUNFT: TRENDS, ENTWICKLUNGEN UND POTENZIALE

Es zeigt sich also, dass die Folgen von Maßnahmen in der City-Logistik oft in Teilen den Zielen der Stadtplanung widersprechen oder durch Umfang und Aufwand nur Teile der Probleme lindern können. Oft berufen sich Instrumente der City-Logistik (bzw. der Green Logistics oder der Smart Urban Logistics) deshalb auf Lösungen der Zukunft (etwa Cargo Sous Terrain, vgl. Maibach et al. 2016, S. 12; vgl. Prümm et al. 2017, S. 22–28). So verspricht man sich von der Automatisierung von Fahrzeugen eine Reduktion der Unfälle, von intelligenten Verkehrssystemen einen besseren Verkehrsfluss und von digitalen Buchungssystemen eine bessere Auslastung von Ladezonen. Es zeichnen sich insgesamt sechs große Trends in Bezug auf die Maßnahmen und die Reduktion negativer Effekte in der städtischen Logistik ab.

- Die **Digitalisierung** bietet neue Möglichkeiten zur Routenplanung und Vernetzung.
- Die **Fahrzeugautomatisierung** bietet Möglichkeiten zur Reduktion von Risiken im Straßenverkehr, für den Einsatz neuer Logistikfahrzeuge und für eine Emissionsreduktion.
- Neue Antriebe, allen voran die **Elektrifizierung**, bietet Potenziale in der (vor allem lokalen) Emissions- und Lärmreduktion.
- Das **Physical Internet** kann durch vernetzte Supply Chains für eine Neuordnung der Güterströme unter ökologischen wie ökonomischen Gesichtspunkten sorgen.
- Neue **Sammel-, Lager- und Verteilzentren** bieten Möglichkeiten zur zentralen Bündelung und effizienteren Neuorganisation von Güterströmen.
- Alternative **Transportmodi und -systeme** können Einsparungen bezüglich der Emissionen bieten und vor allem kleinräumig für stadtverträglichere Varianten der Logistik sorgen.

Dabei ist jedoch keineswegs klar, ob diese Technologien wirklich zeitnah verfügbar, ob die Potenziale zur Verbesserung wirklich so hoch und ob die Einsatzmöglichkeiten wirklich so umfassend sind. Dies soll nun untersucht werden, um der Frage nachzugehen, wie weit diese Trends dabei helfen können, das Logistiksystem effizienter zu gestalten und um zu ergründen, welche Steine und Hürden noch zu überwinden sind bzw. sich abzeichnen.

4.1. TRENDS DER URBANEN LOGISTIK

Im Lauf der Geschichte gab es immer wieder Entwicklungen und Innovationen im Bereich der Logistik, welche diese auf unterschiedlichste Weise veränderten und prägten. Erfindungen wie das Rad, der Bau der ersten Straßen, die Schifffahrt, Flugzeuge, das Internet, der normierte Container als Turbo der Globalisierung haben alle die Logistik und die Welt verändert. Unter der Triebfeder des „weiter, mehr und schneller“ wurden ganz neue Welten und Märkte erschlossen. Nach dieser Phase des Erschließens neuer Märkte folgte eine Phase des Verbesserns von Erreichbarkeiten und Lieferzeiten. Heute erlangt der Aspekt des "Greening" vermehrte Aufmerksamkeit und ist zu einer Triebfeder der Entwicklung geworden. Was gestern noch neue Infrastrukturen und neue Behältnisse sind heute neue Antriebe und Transportmodi.

2100 n. Chr.	
„Grüne“ Logistik?	Digitalisierung Automatisierung Alternative Antriebe und Fahrzeuge (City-)Hubs Physical Internet ???
2000 n. Chr.	
Logistische Netzwerke	GPS-Systeme FTS-Systeme (1970) Hochregallager (1962) EDV-Systeme (ab 1950) Gabelstapler (ab 1940) Luftverkehr (ab 1920) Flugzeuge (1900)
1900 n. Chr.	
Globale Transporte	Kraftfahrzeuge (1890) Elektromotor (1870) Eisenbahnen (ab 1825) Dampfschiffe (ab 1800) Speditionen Telegraf Nachrichtenübermittlung
1800 n. Chr.	
Kontinentale Handelsnetze	Postdienste Welthandel Entdeckung von Amerika (1492) Hanse (ab 1100)
1000 n. Chr.	
Kontinentale Transporte	Handelszentren Handelswege Stapelplätze Krane Fördertechnik Kanalbau
0 Chr.	
Küstenschifffahrt	Fernhandel Seefahrt Spurführung Hafenanlagen
1000 v. Chr.	
Lokale Transporte	Straßenbau Segelschiffe Karawanen Karren Räder Hebezeuge Rollen
10.000 v. Chr.	
	Boote

Abbildung 43: Historische Entwicklung und Innovationen in der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung nach Gudehus 2010, S. xviii.

Verbesserungen in logistischen Systemen können auf logistischer, kooperativer, technologischer & regulativer Ebene stattfinden und organisiert werden (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 33). Hierzu gesellen sich noch Errichtungen neuer Infrastrukturen bzw. Veränderungen im Stadtraum (vgl. Melo 2010, S. 23f.). Technische und wirtschaftliche Innovationen haben dabei einen starken Einfluss auf die logistische Praxis. Nach einer Phase des Expandierens und des Beschleunigens von Vernetzung wurde nach und nach auf Rationalisierungsprozesse gesetzt. So war die Innovation in den 1970er stark ingenieurwissenschaftlich geprägt. In dieser Zeit wurden durch Hochregallager, frühe fahrerlose Transportsysteme und Kommissioniertechnik erste wesentliche Rationalisierungsprozesse in Gang gesetzt. In den 1980er Jahren wiederum rückten betriebswirtschaftliche und ablauforganisatorische Optimierungsprozesse in den Fokus (vgl. Kummer et al. 2014, S. 5). Heute kann im Gegensatz zu den 1970er und 1980er Jahren von einem ökologisch und politisch bedingten Rationalisierungsprozess in der Logistik gesprochen werden (siehe S. 45). Dieser wird getrieben von den Trends der Digitalisierung, der Automatisierung und der Elektrifizierung der Antriebe, welche neue Infrastrukturen, Vernetzungs- und Bündelungsansätze und Verkehrsträger in der Logistik ermöglichen. Durch die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung entstehen heute neue vielversprechende Möglichkeiten zur Integration von Innovationen in die Logistik sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus stadtplanerischer Sicht. Gleichzeitig ist der Druck zur Innovation und Effizienzsteigerung in der Logistik durch die Klimakrise und den zunehmenden globalen Wettbewerb stetig hoch bzw. steigt an. So werden große Hoffnungen in die Entwicklung alternativer Antriebssysteme gesetzt.

4.1.1. DIGITALISIERUNG

Die Möglichkeiten durch die Digitalisierung haben in städtischen Logistik-Konzepten zu einem neuen Optimismus geführt, bisherige Projekte effizienter und optimierter durchführen sowie Lieferketten verbessern zu können. Die Digitalisierung hat Potenziale in so gut wie allen Teilbereichen der Logistik, vordergründig vor allem jedoch im Bereich der Steuerung und Organisation. Mangelnde Digitalisierung stellt oftmals einen Bottleneck für Logistikkonzepte dar (u.a. aufgrund uneinheitlicher Telematikschnittstellen). Erwartete Potenziale durch die Digitalisierung sind vor allem eng mit anderen Trends wie der Automatisierung verbunden. Abgesehen von den engen Verschränkungen zu Teilbereichen und anderen Trends der Logistik wird die Digitalisierung hier separat betrachtet, da durch digitale Innovationen und Transformationen gänzlich neue Aufgaben sowie Problemlösungen für die Logistik möglich werden.

Auf der einen Seite ändert sich durch die zunehmende Digitalisierung in der gesamten Gesellschaft die Nachfrage auf die Logistik, da sich dadurch – etwa unter dem Stichwort E-Commerce – starke Wirkungen auf den Einzelhandel abzeichnen und Kunden zunehmend ihre Ansprüche an den Handel und die Logistik verändern (vgl. Wegner 2019, S. 285f.). Auf der anderen Seite ergeben sich in der Organisation von Warenströmen und der (dynamischen) Routenplanung neue Möglichkeiten (vgl. i-Log 2016; vgl. Straube et al. 2017, S. 33). Gleichfalls können durch bessere Datengrundlagen und erleichterte Kommunikation Kooperationen und Synergien zwischen Logistikdienstleistern erleichtert werden. Von der Nachfrage über die Supply Chain, den Umschlag, bis zur letzten Meile werden mehr und mehr IT-Lösungen eingesetzt werden, um logistische Aufgaben optimierter zu erfüllen (vgl. Straube et al. 2017, S. 33–34).

Der Einsatz digitaler Tools zur automatisierten Erfassung von Daten verspricht, das auch bei der Erstellung dieser Arbeit erkannte Faktum der ungenügenden Datenverfügbarkeit zu beheben, um anschließend Ineffizienzen durch Datenanalysen besser identifizieren zu können (vgl. Ambrosino 2015, S. 15–16). Durch die Digitalisierung wird im E-Commerce gleichzeitig eine bessere Transparenz und Überwachung von Lieferzeiten ermöglicht (vgl. ebda, S. 16). Die Organisation von Warenströmen und die Abschätzung von Güter- und Verkehrsaufkommen erfolgt nicht immer oder noch nicht lange digital – und vor allem selten

vernetzt. Logistikunternehmen zeichnen zwar Fahrten auf, über Art, Menge und Beschaffenheit der Güter werden jedoch oft keine automatischen Daten gesammelt. Es fehlt an Instrumenten zur Erfassung und dem (Anwendungs-)Wissen über die Technologie (dies wurde von Logistikbetreibern im Zuge eines "Logistik 2030+" Workshops am 16.05.2018 in Wien diskutiert).

Durch intelligente Transportsysteme und neue Informationstechnologien können Daten zur Verbesserung der Logistiksysteme verhältnismäßig einfach gewonnen werden (vgl. Taniguchi et al. 2016, S. 6). Vorteile liegen in der besseren Abschätzung von Lieferzeiten, einer effizienteren Routenplanung, einer besseren Auslastung der Lieferfahrzeuge und einer möglichen Reduktion von Leerfahrten (vgl. Wittenbrink et al. 2016, S. 75). Auch im Kontakt zum Endkunden – sei es im b2c- oder im b2b-Sektor – bieten Instrumente der Digitalisierung Möglichkeiten für Effizienzsteigerungen (vgl. Taniguchi et al. 2016, S. 6). Road-Pricing-Modelle wären besser umsetzbar, was sich im Umkehrschluss positiv auf Effizienz und Verkehrsaufkommen auswirken kann (vgl. Teo et al. 2014, S. 72). Ebenso können nachhaltige Verkehrskonzepte profitieren, da aufgrund besserer Datengrundlagen und Informationen in Echtzeit flexiblere Verkehrsträger eingesetzt werden können (vgl. Bundesvereinigung Logistik 2017, S. 11). Mit Prognosealgorithmen und Ansätzen des Machine Learning können Transportkapazitäten und Fahrzeugauslastungen antizipiert und geplant werden (vgl. Straube et al. 2017, S. 33). Damit wird im Warenumschat eine hohe Zeitersparnis erzielt.

Ein weiterer Vorteil der Digitalisierung liegt in der Möglichkeit einer besseren Vernetzung zwischen Logistikbetreibern (vgl. Bundesvereinigung Logistik 2017, S. 10). Gerade in nicht routenbasierten Transporten fallen viele Leerfahrten an, die durch Frachtenbörsen minimiert werden können. Retourensendungen könnten so leichter gebündelt und organisiert werden. Milkrun-Konzepte, die die Bündelung von Lieferungen auf Seiten des Empfängers auf einen Logistikdienstleister regeln, würden sich ebenso leichter umsetzen lassen. Zusätzlich könnten Instrumente wie Frachtbörsen, Routenplanung, Prognosemodelle, Road Pricing u.a. besser ermöglicht werden (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 40).

Die Digitalisierung stellt somit sowohl eine Herausforderung als auch einen Trend dar. Sie schafft einerseits neue Aufgaben für die Logistik und macht andererseits Effizienzsteigerungen in vielerlei Bereichen möglich. Damit können die negativen Auswirkungen der Logistik in Städten vermindert werden, grundsätzliche Probleme der Emissionen und der Flächeninanspruchnahme bleiben jedoch bestehen. Die Entwicklung und Implementierung neuer Lösungen und Tools ist oft auf ein konkretes Projekt beschränkt, weshalb die Skalierbarkeit oftmals nicht gegeben ist. Ebenso existieren durch die Atomisierung von Lösungen oftmals wenig bis keine Schnittstellen zwischen Projekten, was die Kommunikation und Übertragbarkeit verhindert oder zumindest erschwert. Die Möglichkeiten der Digitalisierung beschränken sich somit auf eine fallweise Optimierung des logistischen Systems, während die Potenziale durch das Verharren im gängigen logistischen System der Konkurrenz nicht vollständig ausgeschöpft werden können.

4.1.2. AUTOMATISIERUNG

Automatisierung in der Logistik ist keineswegs ein neues Phänomen. Bereits in den 1950er Jahren wurden erste Systeme in der Produktion und im Lager umgesetzt (vgl. Flämig 2015, S. 379). Beispiele aus der Untergrundlogistik zeigen ebenfalls einen frühen Einsatz, allerdings in geschlossenen Systemen (siehe S. 92). Dennoch gab es in den letzten Jahren einen Schub in der Entwicklung von Fahrassistenzsystemen (vgl. Fagnant & Kockelman 2015, S. 167), die eine baldige Einführung von selbstfahrenden Fahrzeugen im Straßennetz als wahrscheinlich scheinen lassen (vgl. Becher et al. 2015, S. 56). Vor allem auf Seiten der Verkehrssicherheit werden – unter anderem durch den sensorischen „Rundumblick“ – große Fortschritte bzw. Rückgänge in den Unfallzahlen erwartet (vgl. bmvit 2016, S. 10–11).

Im Jahr 2018 waren Lkw (über 3,5 Tonnen) in Österreich an 27% aller Unfälle mit Personenschaden beteiligt. Dabei verloren 56 Personen ihr Leben (vgl. WKO 2019, S. 67–68). Der Druck auf Politik, Automobilhersteller und Logistikbetreiber ist also immanent. Verkehrssicherheit ist demzufolge eines der Hauptargumente der Industrie für vermehrte Forschungsgelder in Fahrzeugautomatisierung. In Europa fördert die Europäische Union Projekte und Studien in diesem Bereich, da man sich davon – neben einem sichereren Verkehr – Effizienzsteigerungen im Verkehr und einen Vorteil im globalen Wettbewerb um Technologien erhofft (vgl. Europäische Union 2017). Seltener werden (zumindest öffentlich) die großen Einsparungspotenziale im Betrieb durch möglichen Personalabbau (weniger Bedarf an FahrerInnen) argumentiert.

In Logistikzentren werden heute schon vielfach automatisierte Lieferfahrzeuge oder Plattformen eingesetzt, welche in einer vorgegebenen Umgebung Waren kommissionieren und transportieren. Abseits der Logistikzentren und Betriebsareale sind in manchen Städten automatisierte Lieferroboter bereits testweise unterwegs (und wurden sogar schon in ihrem Einsatz beschränkt, (siehe S. 71). Während automatisierte Lieferroboter in Europa schon teilweise zum Einsatz kommen, stellen Drohnen hierzulande noch keinen Use Case in der Logistik dar. Anders ist dies etwa in China, wo Drohnen vor allem entlegene Gebiete beliefern und bereits heute wesentliche Lücken in der Logistikkette schließen (vgl. Fan 2018). Automatisierung kann auch eingesetzt werden, um die herkömmliche Logistik mittels Lkw zu optimieren. So wird etwa der Ansatz verfolgt, mit Platooning den Platz- und Treibstoffbedarf von Lkw zu verringern. Hierbei soll, in einer ersten Phase, ein durch einen Menschen gelenkter Lkw einen Pulk von weiteren, autonomen Lkw anführen. Andere Konzepte, wie etwa der Daimler Vision Van, beschäftigen sich mit – unter der Annahme einer marktreifen Vollautomatisierung – neuen Formen des Beliefers (vgl. Daimler o.J.). Kurzum: Es wird von Seiten der Politik und der Industrie viel Hoffnung in diese Technologie der Fahrzeugautomatisierung gesteckt.

Für die städtische Logistik werden vor allem die Folgen einer Automatisierung der privaten Kfz als Chance gesehen, da durch die Effizienzsteigerungen in der Individualmobilität Flächen auf der Straße und am Straßenrand (für Ladetätigkeiten) frei werden sollen (vgl. Becher et al. 2015, S. 56–57). Eine Studie der TU Wien aus dem Jahr 2020: „AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa“ widerspricht hier aber: Eine Reduktion der Verkehrsbelastung unter der Automatisierung sei nur eines (und unwahrscheinlicheres) von mehreren Szenarien. Vielmehr sei eine Steigerung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung realistisch (vgl. Mitteregger et al. 2020, S. 74). Ebenso berufen sich die optimistischen Prognosen sowie Maßnahmen und Konzepte auf die Idee einer baldigen, großflächigen Hoch- oder Vollautomatisierung. Es zeigt sich jedoch, dass eine solche – vor allem im hochkomplexen Verkehrssystem der Stadt – keineswegs bald erfolgen muss (vgl. Heymann & Meister 2017, S. 5–6; vgl. Mitteregger et al. 2020, S. 81–84).



Abbildung 44: Wann wird die Post automatisiert zugestellt? Quelle: Meyer 2017

Der technische Grad (bzw. der Fortschritt) in der Automatisierung wird gängigerweise nach den SAE-Leveln unterschieden (siehe Darstellung).

SAE-Level	Automatisierungsstufe	Definition	Anwendungen
Level 0	Keine Automatisierung	Das Auto muss in allen Belangen selbst gesteuert werden.	Warnungen
Level 1	Fahrassistenz	Während des Fahrens können kleine, einzelne Fahraufgaben, wie das Lenken in bestimmten Umgebungen, an das Auto abgegeben werden.	Spurhalteassistenten, Geschwindigkeitsregelungen (einzeln)
Level 2	Teilautomatisierung	Mehrere kommunizierende Fahrerassistenzsysteme können einzelne Fahraufgaben übernehmen, während der menschliche Fahrer das System ständig überwachen muss.	Spurhalteassistenten, Geschwindigkeitsregelungen (gleichzeitig)
Level 3	Bedingte Automatisierung	Automatisiertes Fahren: Der menschliche Fahrer muss zu einem ständigen Eingreifen bereit sein.	Stauhauffeur, Einparkautomat
Level 4	Hohe Automatisierung	Automatisiertes Fahren: Das Fahrzeug kann unter bestimmten Bedingungen alle Fahraufgaben selbstständig ausführen.	Fahrerlose Fahrzeuge (räumlich begrenzt)
Level 5	Vollautomatisierung	Automatisiertes Fahren: Das Fahrzeug kann alle Fahraufgaben selbstständig ausführen.	Fahrerlose Fahrzeuge (räumlich unbegrenzt)

Abbildung 45: Die SAE-Level der Automatisierung. Quelle: Eigene Darstellung nach SAE International 2019; SAE International 2014; Mitteregger et al. 2020, S. 59

Diese von der SAE International (vormals Society of Automotive Engineers) erarbeitete Klassifizierung dient als Referenzsystem für den Reifegrad der Fahrzeugautomatisierung. Während die Level 0 bis 2 die stufenweise Verbesserung von Assistenzsystemen bei gleichzeitiger vollkommener Verantwortung für die Fahraufgabe von Seiten des Fahrenen bezeichnen, definieren die Level 3 bis 5 die schrittweise Verlagerung von Fahraufgaben an die Maschine. Während der Mensch im Level 3 noch jederzeit in der Lage sein muss, selbst in das Fahrgeschehen einzugreifen, bezeichnet das Level 5 den Zustand, in welchem der Mensch die Fahraufgaben vollkommen (zu jeder Zeit, an jedem Ort) an die Maschine auslagert (vgl. SAE International 2018, S. 19). Die Erwartungen an die Technologie haben sich in den letzten Jahren verändert, das Erreichen des Level 5 wird nunmehr aufgrund der erkannten Komplexitäten von Teilen der Autoindustrie als zumindest schwer zu erreichen eingestuft (vgl. Chin 2020). Level 5 ist jedoch für den flächendeckenden Einsatz von automatisierten Logistikfahrzeugen in der Stadt wesentliche technologische Voraussetzung.

Das wahrscheinliche, lange Level 4

Momentan kann also davon ausgegangen werden, dass der technologische Fortschritt für lange Zeit zwischen Level 3 und 4 verharret (mit konstanten Weiterentwicklungen und neuen Einsatzgebieten, aber dennoch von einem flächendeckenden Einsatz entfernt). Eine Veranschaulichung der Komplexitäten des Einsatzes von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen ergibt sich unter anderem am Beispiel der kalifornischen „Disengagement Reports“. Während in Regionen wie Arizona Tests automatisierter und vernetzter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen aufgrund wirtschaftlicher Interessen sich eher am Laissez-faire-Prinzip orientieren (vgl. Randazzo 2019), verfolgt Kalifornien einen regulatorischeren Ansatz, indem auf kalifornischen Straßen testende Firmen dazu verpflichtet werden, jährlich Berichte (Autonomous Vehicle Disengagement Reports und Autonomous Vehicle Collision Reports) zu den Tests zu veröffentlichen (vgl. DMV o.J.a). Diese Berichte zeigen die Anzahl und Grün-

de von Interventionen der menschlichen TestfahrerInnen in das Fahrverhalten der Maschine auf und bieten somit einen Datensatz, der Aufschluss über die Herausforderungen von getesteten automatisierten Fahrsystemen im Straßenraum gibt. Im „California Code of Regulations“ (Title 13, Division 1, Chapter 1, Article 3.7. – Autonomous Vehicles) sind Regeln für das Testen der selbstfahrenden Autos definiert, in Artikel 3.8 die letztliche Einführung auf öffentlichen Straßen. Diese Analyse bezieht sich auf die Disengagement Reports von 2017 in Berufung auf Artikel 3.7. In diesem sind die zu berichtenden Details unter §227.50 – Reporting Disengagement of Autonomous Mode geregelt:

„(3) The annual report shall summarize disengagements for each month as follows: (A) The total number of autonomous mode disengagements and the circumstances or testing conditions at the time of disengagements including: (i) The location: interstate, freeway, highway, rural road, street, or parking facility. (ii) A description of the facts causing the disengagements, including: weather conditions, road surface conditions, construction, emergencies, accidents or collisions, and whether the disengagement was the result of a planned test of autonomous technology“ (DMV o.J.b, S. 12).

Im Jahr 2017 haben insgesamt zwanzig Firmen Disengagements Reports²⁴ eingereicht (2016: 11, 2015: 7). Von diesen wurden nicht alle analysiert, da manche dieser Reports unzureichend waren (vgl. DMV 2017). Die betrachteten Firmen legten im Jahr 2017 in Kalifornien insgesamt 503.005 autonom gefahrene Meilen zurück. Rückschlüsse auf die genaue Testumgebung sind leider nur in seltenen Fällen möglich. Es kann aber festgestellt werden, dass die zurückgelegten Meilen pro Disengagement im urbanen Umfeld weniger sind als auf Highways oder Interstates, was auf eine höhere Fehlerquote im urbanen Umfeld hindeutet.

	Gefahrene Meilen	Eingriffe ins Fahrsystem	Gefahrene Meilen pro Eingriffe ins Fahrsystem
Baidu	1900	49	39
APTIV	1820	81	22
Drive.ai	6572	151	44
Mercedes	1088	842	1
Nissan	5007	24	209
GM	131676	105	1254
TeleNav	1824	6	304
Valeo	574	215	3
Waymo	352545	63	5596
Zoox	2207	14	158

Abbildung 46: Eingriffe in das automatisierte Fahrsystem nach Meilen in Kalifornien 2017. Quelle: Eigene Darstellung nach DMV 2017.

Die Gründe für Disengagement sind grundsätzlich im Rahmen des Artikel 3.7. des „California Code of Regulations“ klar vorgegeben, werden aber in der Praxis kaum angewendet. In der Analyse der Disengagements werden in der Literatur zwei Grundthemen unterschieden, PDE (Passive disengagement) und ADE (Active disengagement) (vgl. Lv et al. 2018, S. 60). Sie sind wie folgt klassifiziert:

24 Die Disengagement Reports haben nur begrenzte Aussagekraft über den tatsächlichen Stand der Technologie. Dies wird regelmäßig von den testenden Firmen kritisiert (vgl. Hawkins 2020). Die Anzahl der Eingriffe in das Fahrsystem gibt keine Auskunft über den tatsächlichen State of the Art der Technologie, da es sich auch um geplante Tests bestimmter Features handeln könnte. Ebenso sind die Reports ohne explizite Angaben der Räumlichkeit des Tests (Stadt vs. Highway) nicht aussagekräftig. Dennoch bieten die Reports eine Übersicht über mögliche Fehlerquellen, während dem Wert Meilen pro Eingriff nicht zu viel Bedeutung beigemessen werden sollte. Dennoch geben die Disengagements eine gute Übersicht über vorhandene Problemfelder in der Entwicklung und über die Einsatzorte.

PDE: Hardware, Weather, Software, Road surface

ADE: Hardware, Software, Emergencies, Precautionary Intervention

Diese Klassifizierungen geben jedoch wenig Aufschluss über die genauen Hintergründe des Disengagements und lassen somit wenig Schlüsse über tatsächliche Hindernisse zur erfolgreichen Einführung des autonomen Fahrens auf öffentlichen Straßen zu. Es gilt hier also eine neue Klassifizierung zu finden, welche die Hintergründe der Disengagements mit einbezieht und diese unter neuen Überthemen sinnvoll subsummiert. Weil die analysierten Firmen jedoch genauer auf die Gründe des Disengagements eingehen, können in einem ersten Schritt fünf allgemeine Fehlerquellen identifiziert werden (siehe Abbildung 47):

- **Verkehrsraum:** Situationen, die durch veränderte Verkehrsräume vermieden werden könnten (unvorhergesehene Manöver anderer Verkehrsteilnehmer, unübersichtliche Situationen...).
- **Fehlverhalten avV:** Situationen, in denen das avV fehlerhaft programmiert wurde (unerklärliche Manöver, Distanzen nicht eingehalten, Objekte falsch identifiziert...).
- **Infrastruktur:** Situationen, die durch veränderte Infrastruktur vermieden werden könnten (Baustellen, komplexe Kreuzungssituationen, Straßenmarkierungen nicht erkannt...).
- **Hardware:** Situationen, die durch Fehler in der Hardware hervorgerufen werden (Lokalisations-/GPS-Fehler, Kontrollverluste...).
- **Software:** Fehler an der grundlegenden Software des autonomen Fahrzeugs (Software Crash).



Abbildung 47: Aggregierte Fehlerquellen für Disengagements. Quelle: Eigene Berechnung nach DMV 2017

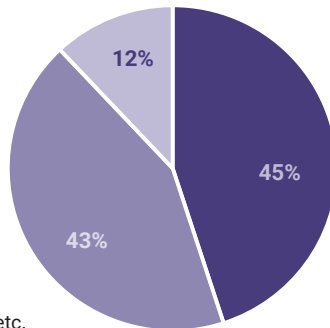
Diese fünf zusammengefassten und kategorisierten Fehlerquellen haben allerdings noch keinen räumlichen Bezug. Wie können solche Fehlfunktionen nach räumlichen Dimensionen klassifiziert werden? Aus diesem Grund muss das Auto in seiner „natürlichen“ Umgebung untersucht werden. Das Auto (a) bewegt sich (b) auf der Straße (c) neben anderen Verkehrsteilnehmern sowie Hindernissen. Das bedeutet, dass das Auto drei Funktionen während des Fahrvorgangs erfüllen muss:

- a. den Fahrvorgang (die Fortbewegung) selbst,
- b. den Fahrvorgang wie die Navigation auf einer bestimmten Infrastruktur, ohne von dieser abzukommen,
- c. die Einordnung des Fahrvorgangs in eine vielfältige bestehende NutzerInnenstruktur. Die Infrastruktur wird mit anderen Nutzungen und NutzerInnen (mit eigenen Bewegungsmustern und eigenem Verhalten) ebenso wie mit Hindernissen geteilt.

Die Funktion eines (unfallfrei) fahrenden Autos lässt sich daher grob in diese drei Sphären einteilen. Ein automatisiertes Fahrzeug in einem städtischen Umfeld kann in Bezug zur Fahraufgabe nur dann erfolgreich sein, wenn es Fehler in allen drei Sphären reduziert. Abbildung 48 zeigt, dass die größten Herausforderungen in der Wahrnehmung des Umgebungsverkehrs und in der Funktion der Hard- und Software liegen (vgl. Fetka 2018).

Umgebung 2: Infrastruktur

Schlechte Sichtbarkeit von Markierungen
 Unerwartete Hindernisse
 Schlechter Straßenzustand etc.



Fahrzeug: Hard- & Software

Systemabstürze
 Fehlerhafte Sensoren
 Fehlinterpretation von Daten etc.

Umgebung 1: Verkehr

Komplexe Verkehrssituationen
 Unerwartetes Verkehrsverhalten Dritter etc.

Abbildung 48: Klassifizierte Fehlerquellen der Tests von avVs in Kalifornien 2017. n=1550. Quelle: Eigene Berechnung nach DMV 2017

Über 50% der potenziellen Fehlerquellen liegen also in der Komplexität der Umgebung, während der Rest der Fehlerquellen dem Auto selbst zuzuordnen ist. Dabei gilt: Je mehr und unterschiedlicher die VerkehrsteilnehmerInnen, je höher die Komplexität und Heterogenität des Straßenraums, desto höher sind die lokalen Fehlerquellen, desto geringer ist die Eignung für automatisierte Fahrzeuge. Besonders deutlich wird das in der Betrachtung der Komplexität der Automatisierungsaufgaben. Je komplexer die Operation Design Domain (ODD), vgl. SAE International 2018, S. 14), desto umfangreicher müssten die (baulichen, technologischen, regulativen) Anpassungen des Straßenraums erfolgen oder/und umso fortgeschrittener muss die Technologie sein. Dies betrifft insbesondere das Fahren in der Stadt (siehe Abbildung 49).

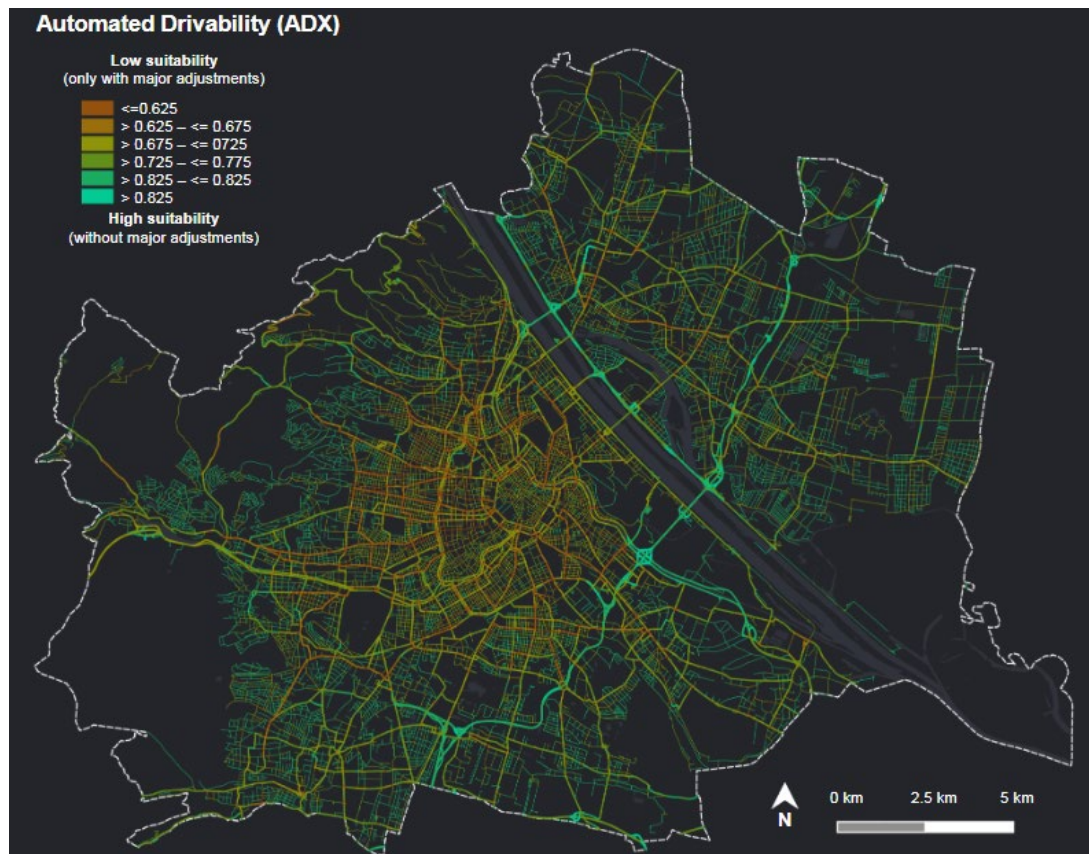


Abbildung 49: Die Automated Drivability am Beispiel Wiens. Quelle: Soteropoulos et al. 2020, S. 79.

Im Forschungsprojekt AVENUE21, welches die Wirkungen automatisierter und vernetzter Fahrzeuge auf die Europäische Stadt untersucht, wurde der Index der „automated drivability“ – der analog zu walkability- oder bikability-Ansätzen den Straßenraum auf die jeweilige Tauglichkeit analysiert – entwickelt. Dieser macht es möglich, Räume zu identifizieren, in welchen der Einsatz von automatisierten Fahrzeugen zeitnah umsetzbar und in welchen Räumen ein Einsatz nur mit großen infrastrukturellen Anpassungen möglich wäre. Mittels Open-Government-Daten werden relevante Kennzeichen zur Tauglichkeit von Straßenräumen aus Tests und der Literatur räumlich verortet. Dies zeigt, dass insbesondere dicht bebaute Stadtzentren noch für längere Zeit nur wenig für Automatisierung geeignet sein werden (vgl. Soteropoulos et al. 2020). Weiters ist darauf hinzuweisen, dass in den grün eingefärbten Bereichen der Abbildung 49 eine baldige, großflächigere und marktreife Automatisierung nicht erwartet werden kann, da die technologischen und regulatorischen Voraussetzungen schlicht noch nicht bestehen und/oder der Straßenraum für eine Automatisierung baulich verändert werden müsste.

Die Erhöhung der Tauglichkeit von Straßenräumen für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge kann nur mit einer erheblichen Verbesserung der Technologie oder einer (kostspieligen und eventuell Ziele der Stadtplanung konterkarierenden²⁵) Anpassung der Infrastruktur erfolgen. Dieser Zustand bringt nicht nur viele Unwägbarkeiten, Potenziale und Gefahren für die Stadtplanung mit sich, er macht eine zeitnahe Umsetzung automatisierter Lösungen in der Stadtlogistik unmöglich. Ebenso zeichnen sich damit keineswegs (und in absehbarer Zeit) die erhofften positiven Effekte durch Verkehrsverlagerung ab. Die ODD in der Stadt ist schlicht noch nicht für großflächige Automatisierungen geeignet. Lediglich in kleinen „Inseln“ (für besonders frühe Automatisierungsstufen geeignete oder extra angepasste Bereiche) können autonome Services langsam den öffentlichen Raum erobern (Mitteregger et al. 2020, S. 138–140). Mit zunehmender Durchsetzung der Stadt mit automatisierten Lieferungen rechnet das Beratungsunternehmen KPMG mit einem stark sinkenden Preis für Lieferungen an Haushalte (da etwa der Personalbedarf stark sinkt) und einem gleichzeitigen Anstieg der Nachfrage. Die zurückgelegten Kilometer der privaten Haushalte würden dabei sinken, während die Verkehrsleistung der Logistik stark ansteigen würde. Für die USA wurde im Zeitraum von 2017 bis 2040 eine Steigerung von 330% berechnet. Es wird der Automatisierung ein großer Anteil an der Durchschlagskraft des E-Commerce zugesprochen (vgl. KPMG 2018, S. 10–11).



Abbildung 50: Ein Genießen des Fahrtwinds auf der Motorhaube eines fahrenden Lkw, wie in den Simpsons gezeigt, scheint vor allem in Städten noch in weiter Ferne. Quelle: Die Simpsons 1999

25 Ein Beitrag der New Yorker „Driverless Future Challenge“ aus dem Jahr 2017 etwa schlägt vor, bestimmte Straßenzüge exklusiv für automatisierte Fahrzeuge aufzubereiten und andere Verkehrsteilnehmer und „Störeinflüsse“ auszusperrten. Dabei sollen etwa Zebrastreifen durch Brücken ersetzt werden (vgl. EDG 2018).

4.1.3. NEUE ANTRIEBE – ELEKTRIFIZIERUNG

Neuartige Antriebstechnologien, im Gegensatz zum herkömmlichen fossil angetriebenen Verbrennungsmotor, bieten vor allem im Bereich der Emissionen erhebliche Verbesserungspotenziale. Genannt werden hier batteriebetriebene Fahrzeuge, Hybridantriebe, Gasantriebe und Brennstoffzellen (vgl. Taniguchi et al. 2016, S. 8). Während bei hybriden Antriebstechnologien, bei Gas oder bei Brennstoffzellen auf dem Prinzip des Verbrennungsmotors aufgebaut wird, stellt der Elektromotor eine lokal emissionsfreie Art der Fortbewegung dar (vgl. Gnann et al. 2017, S. 56) und wird als Schlüsseltechnologie für klimafreundliche Mobilität gesehen (vgl. Straube et al. 2017, S. 29). Von Seiten der Logistikbetreiber wird eine gewisse Hoffnung in die Brennstoffzelle gesetzt, die mit Wasserstoff betrieben wird. Durch das große Volumen von Wasserstoff fallen allerdings hohe Kosten bei der Errichtung von spezieller Infrastruktur sowie in der Versorgungskette (Well-to-Wheel) an, da der Brennstoff auf über 300 bar bei Lkw und 700 bar bei Pkw komprimiert werden (vgl. Gäthke 2019, S. 12), bzw. auf -253°C gekühlt werden muss, um akzeptable Reichweiten der betankten Fahrzeuge zu gewährleisten (vgl. Weider et al. 2004, S. 22). Auch die Infrastruktur (Stromleitungen, Ladestationen, alternative Stromquellen, Stromspeicher etc.) für Elektroantriebe muss noch weitestgehend entwickelt bzw. errichtet werden.

Dennoch können diese beiden Technologien unter dem Gesichtspunkt einer grüneren Logistik als Hoffnungsträger gesehen werden, wobei der Brennstoffzelle in Bezug auf größere Reichweiten und der Elektromobilität (bzw. der Batterie) im Standardgebrauch höhere Bedeutung zugemessen wird (vgl. Gäthke 2019). Trotzdem werden etwa Forschungen an Erdgasfahrzeugen fortgesetzt und gefördert (vgl. Bogdanski 2015, S. 48). Die meisten heutigen Logistikkonzepte und die technologische Entwicklung zeigen deutlich in Richtung Elektromobilität, da die Attraktivität und der Entwicklungsgrad anderer Antriebsarten gegenüber der Elektromobilität hinterherhinken (vgl. Winter et al. 2014, S. 44). Die Effizienz bzw. der Energieumsatz ist weiters bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen im Gegensatz zu einem herkömmlich betriebenen Fahrzeug (15% bis 18%) deutlich höher (bis zu 80%) (vgl. Jorgensen 2008, S. 74). Je nach Herkunft des Stromes also stellt sich der Elektromotor als umweltfreundlichste Antriebstechnologie in Städten dar.

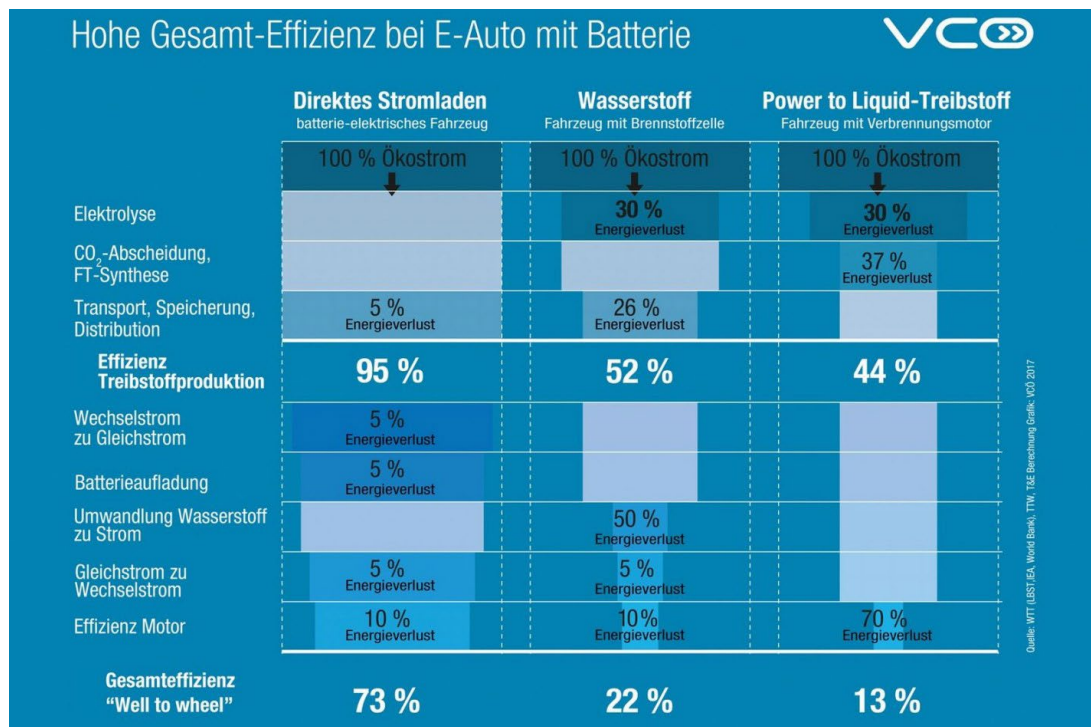


Abbildung 51: Die Effizienz verschiedener Antriebsarten bei E-Autos. Quelle: VCÖ 2017.

Im Jahr 2018 wurden in Österreich 0,51% aller Kleinlaster (unter 3,5 Tonnen) elektrisch und 0,2% mit Erdgas angetrieben. Bei schweren Lkw und Sattelzügen liegen die Anteile bei 0,02% (vgl. WKO 2019, S. 60). Hier liegt also noch einiges Potenzial brach. Dies ist vor allem auf die noch beschränkte Reichweite von elektrifizierten Fahrzeugen zurückzuführen. Der Aspekt der Reichweite in Elektrofahrzeugen stellt bei Pkw ein Anschaffungshindernis dar – in der Logistik (bei steigenden Tonnagen sowie Fahrzeug- und Batteriegewichten) verstärkt sich dieser Aspekt nochmals. Je schneller und weiter der Transportlauf gehen soll, desto leichter muss die Nutzlast und desto ärmer muss der Laufweg an Stopps (trotz Rekuperation) sein (vgl. Dörr et al. 2014, S. 49). In Städten wird diese Problematik folglich durch die hohe Anzahl von Stopps zusätzlich verschärft²⁶. Die Batterietechnologie ist dem herkömmlichen Verbrennungsmotor jedoch in puncto Anschaffungs- und Umrüstkosten noch unterlegen. Muss die Ware zusätzlich gekühlt werden, verringern sich sowohl Ladezyklen als auch Lebensdauer der Akkus weiter. Die Aufladung der Batterien ist aufgrund nicht oder kaum vorhandener Ladeinfrastruktur und längerer Aufladedauer eine weitere Hürde für die erfolgreiche Umstellung auf E-Mobilität. Annahmen gehen jedoch davon aus, dass bis zum Jahr 2030 eine Reduktion des Preises für Batterien auf ein Drittel des heutigen Marktpreises zu erzielen ist und dass diese weiters für den Einsatz in Lkw skaliert werden können (vgl. Gnann et al. 2017, S. 58). Abgesehen davon droht ein hoher Grad an elektrischen Fahrzeugen auf den Straßen, die Stromnetze an ihre Belastungsgrenzen zu bringen (vgl. Liu et al. 2014, S. 670).

Damit ist die flächendeckende Einführung von Elektroantrieben durch Adaptionen an und Neuerrichtung von Infrastruktur sowie wegfallenden Treibstoffsteuern für die öffentliche Hand mit hohen Kosten verbunden (vgl. Taniguchi et al. 2016, S. 8). Anders ist die Lage auf Betriebsgeländen: Während dort bei einer generellen Flottenumstellung auf elektrifizierten Antrieb der zusätzliche Stromverbrauch beim Aufladen der Lkw zu keinen großen Problemen führen sollte, stellt sich ein anderes Problem als gravierender dar: Es entstehen Engpässe in der Stromleistung bzw. der Last, die bis um das Dreifache ansteigen kann, so DI Werner Müller von der Wiener Universität für Bodenkultur in der Ö1-Sendereihe „Dimensionen“ (vgl. Ö1 2020).

Elektromobilität in der Logistik steht folglich vor der Herausforderung, dass durch das größere zu bewegende Gewicht, die hohe Anzahl an Stopps, kaum vorhandene Ladeinfrastruktur und den Energiebedarf für Kühlungen momentan keine flächendeckenden Einsatzmöglichkeiten in Frage kommen. Innovationen, wie länger haltbare und indirekt gekühlte Boxen, versprechen zwar eine Verbesserung von Problemen – vor allem im Lebensmittelversand und in der Baustellenlogistik (u.a. Tempriify, vgl. Wirth 2017). Sie lösen aber das grundlegende Problem der E-Logistik nicht, dass nach momentanem Stand der Technik zu viel Energie für Fortbewegung und Kühlung verbraucht wird und die Batterien dafür unverhältnismäßig groß und schwer sein müssten. Die anhaltenden Unsicherheiten und Schwächen der E-Mobilität zeigen sich bei einem Blick auf den Anteil von elektrobetriebenen Lkw in Wien. Elektromobilität stellt in der Logistik somit noch keine wirkliche Alternative dar.

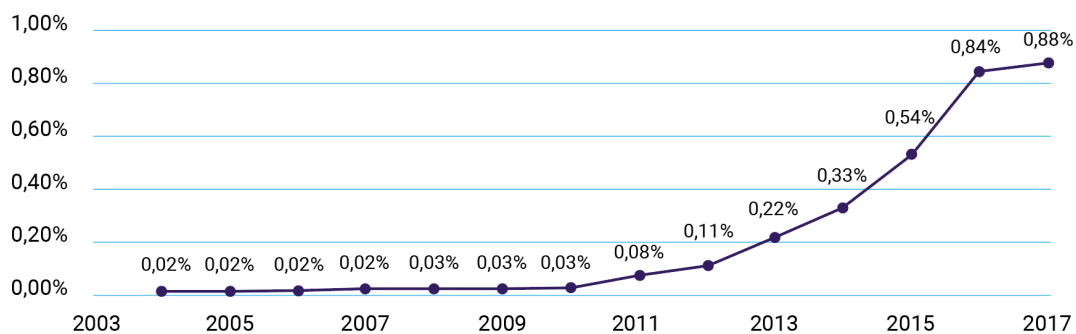


Abbildung 52: Anteil der Lkw mit Elektro- oder Hybridantrieb an den gesamten Lkw in Wien. Quelle: Eigene Darstellung nach Stadt Wien 2017

²⁶ Der Stopp-und-Go-Verkehr bedingt einen höheren Kraftstoffverbrauch bei niedrigerem Drehmoment und verursacht somit höhere Emissionen (vgl. Dörr et al. 2014, S. 135).

In städtischen Logistik-Konzepten werden diese Probleme oft mitbedacht und gezielt angesteuert. So sollen kleinere, effizienter beladene Fahrzeuge auf gebündelten Strecken zum Einsatz kommen, die durch GVZs oder Hub-Infrastrukturen auf kürzeren Strecken eingesetzt werden können. Transportfahrzeuge unter 3,5 t eignen sich ebenfalls viel eher und schon jetzt für eine Umstellung auf Elektroantriebe (vgl. Straube et al. 2017, S. 32). Damit werden Lieferungen in Städten mittels elektrischer Fahrzeuge vor allem für den KEP-Sektor realistisch, wobei hier aufgrund hoher, innerbetrieblich entstehender Investitionskosten weiter große Skepsis aus betriebswirtschaftlicher Sicht herrscht (vgl. Bogdanski 2015, S. 46). Vor allem die hohen Investitionen in Ladeinfrastruktur an Unternehmensstandorten, das geringere Frachtvolumen sowie die Zuverlässigkeit werden als Risiken angesehen (vgl. ebda, S. 46–47). Aus städtischer Sicht hat der KEP-Sektor das größte Potenzial für eine Umstellung auf elektrische Antriebe, weil durchschnittliche Tourlängen selten 80 km am Tag überschreiten und so keine zusätzliche Ladeinfrastruktur in Innenstädten geschaffen werden müsste (vgl. ebda, S. 46). In anderen Logistikbereichen, etwa der Distribution oder anderer gebündelter Transporte, ist die Lage derzeit noch unklarer:

„Der Einsatz batterieelektrischer Nutzfahrzeuge erzeugt in den untersuchten Anwendungsfällen (Distribution im stationären Lebensmittel-einzelhandel, Distribution von Fashion und Bekleidung sowie die Distribution von Kurier-, Express- und Paketdienstleistern) aktuell nur zwischen 20 Prozent und 67 Prozent des Nutzens im Vergleich zum Einsatz konventioneller Fahrzeuge – benötigt dabei jedoch das Zwei- bis Fünffache der Kosten. Insbesondere die Nutzlast- und Reichweitenanforderungen werden aktuell nur teilweise erfüllt“
 (Straube et al. 2017, S. 33).

Angesichts dessen, dass Fahrzeuge über einen langen Zeitraum ersetzt und aufgrund des Alters nicht flächendeckend innerhalb weniger Jahre umgetauscht werden können, ergibt sich ein Verzögerungsfaktor, welcher die Potenziale der E-Mobilität noch auf längere Zeit zurückhält.

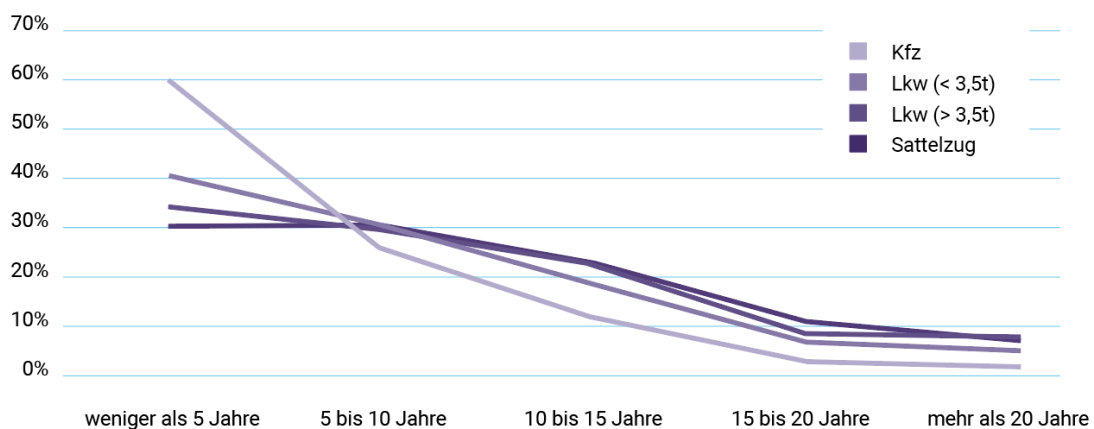


Abbildung 53: Alter von Fahrzeuggruppen in Österreich. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria in WKO 2018, S. 59.

Somit ist ein flächendeckender und effizienter Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen in Städten noch keineswegs absehbar. Angesichts des hohen organisatorischen und finanziellen Aufwands einer Anpassung stellt sich außerdem die Frage, inwiefern sich ein ganzheitlicher, konzeptueller Fokus auf eine Umrüstung der Antriebe auszahlt. Denn damit werden lediglich Emissionseinsparungen – nicht jedoch eine Erhöhung der Verkehrssicherheit (durch die teilweise viel niedrigeren Lärmemissionen kann unter Umständen sogar mit einer größeren Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer gerechnet werden) – und eine Reduktion der gesamtverkehrlichen Belastung erzielt (vgl. Bogdanski 2015, S. 49). Es überwiegt also der Eindruck, dass E-Mobilität in der städtischen Logistik durchaus sinnvoll sein kann (sie ist in jedem Fall emissionsärmer als der herkömmliche Modus), aber keine

Lösung der städtischen Logistikprobleme von ihr erwartet werden kann. Vielmehr kann E-Mobilität als Teil eines Gesamtverkehrsplans für städtische Logistik dienen, wobei dem Ziel der Verkehrsreduktion ein prominenterer Platz eingeräumt werden müsste als der bloßen Verbesserung (gemessen an den drei V der Verkehrsplanung). In Verbindung mit anderen Maßnahmen – etwa der Errichtung von Hubs – kann die Elektromobilität jedoch durchaus einen Beitrag zu einer nachhaltigeren städtischen Logistik leisten.

4.1.4. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG

Digitalisierung:

Die Digitalisierung kann dabei helfen, Abläufe in der Logistik effizienter zu gestalten und die Kommunikation zwischen Logistikbetreibern untereinander (b2b) sowie Kunden (b2c) zu verbessern. Einzelne Maßnahmen werden schrittweise zwar umgesetzt, in der Realität gestaltet sich jedoch die flächendeckende Einführung von digitalen Tools aus mehreren Gründen (Reife der Technik, mangelnde Kooperationsbereitschaft, unterschiedliche Telematikschnittstellen u.a.) als zumindest komplex. Neue Technologien oder Infrastrukturen können Instrumente der Digitalisierung in der Logistik unterstützen.

Automatisierung:

Während im interregionalen, straßengebundenen Güterverkehr Automatisierungen zeitnah eingesetzt werden könnten, gestaltet sich dies in der Stadt aufgrund der höheren Komplexität des Straßenraums schwieriger. Vereinzelt automatisierte Verkehrsträger (Drohnen oder Gehsteig-Bots) könnten daher auf andere Verkehrsräume ausweichen. Damit können die Vorteile, wie größere Verkehrssicherheit oder effizientere Fahrstile, noch länger nicht realisiert werden.

Neue Antriebe:

Antriebe durch Elektromotoren und Brennstoffzellen können zu nennenswerten lokalen Reduktionen von Emissionen führen. Durch die geringere Betriebslautstärke von Elektroautos erhöht sich jedoch die Unfallgefahr. Zwar steigt der Anteil an alternativen Antrieben im Straßenverkehr an – dies jedoch auf niedrigem Niveau. Angesichts der Beharrungskräfte ist ein baldiger, flächendeckender Umstieg auf alternative Antriebe nicht abzusehen.

	Vermeiden	Verlagern	Verbessern
	+	~	+
Digitalisierung	Neue Möglichkeiten in der Bündelung von Gütern und der Verbesserung der Zuverlässigkeiten von Lieferfenstern.	Durch Buchungstools sind Verbesserungen in der Kommunikation über verfügbare alternative Verkehrsträger denkbar. Der Effekt wäre jedoch gering.	Neue Möglichkeiten in der Organisation von Güter- und Verkehrsströmen.
		~	~
Auto-matisierung		Verlagerung von Van-basierter Logistik auf Drohnen oder Gehsteig-Bots am „letzten Meter“ ist möglich. Ob dies zielführend ist, ist allerdings fraglich.	Neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz (v.a. aus betriebswirtschaftlicher Logik durch weniger Personal).

	+
Neue Antriebe	Neue Möglichkeiten zur Verringerung lokaler Emissionen.

Abbildung 54: Trends in der Logistik: Bewertung der Wirkungen. Quelle: Eigene Darstellung

Es wird ersichtlich, dass diese Trends nicht unbedingt zu einer Verkehrsvermeidung oder nennenswerten Verlagerung beitragen. Dementsprechend sind die möglichen Wirkungen der Trends auf die negativen Effekte der Logistik nur teilweise positiv.

	Unfälle	Luft	Lärm	Staus	Ladezonen	Flächenverbrauch	Auslastung
Digitalisierung	+	+	~	+	++	~	+
Automatisierung	++	~	~	+	+	~	-
Neue Antriebe	-	++	+	~	~	~	~

Abbildung 55: Bewertung der möglichen Effekte der Trends auf die negativen Effekte der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung

Die drei Trends der Digitalisierung, Automatisierung und neuen Antriebe können also die immanenten Probleme der städtischen Logistik nur teilweise lösen. Es existieren jedoch – auch heute schon – Konzepte und Maßnahmen, welche unter Berücksichtigung der Trends größere Lösungspotenziale versprechen.

4.2. ENTWICKLUNGEN – VON DEN TRENDS ZU EINER REDUKTION DES FUSSABDRUCKS DER LOGISTIK

Neben den technologischen Trends gibt es weitere Entwicklungen in der Logistik, die auf bessere Vernetzung, höhere Effizienz und emissionsfreiere Transporte abzielen. Dabei sind diese Entwicklungen zwar mit den Trends verbunden, agieren aber durchaus als eigenständige Lösungen. Diese können ein Inkubator für die erfolgreiche Anwendung der drei Trends sein. Durch die in den Entwicklungen verfolgten Lösungen und Anpassungen werden positive Effekte der Trends verstärkt. Die Entwicklungen in der Logistik bzw. der städtischen Logistik sind die Errichtung von Hubs, die Verlagerung von Transporten auf alternative Fahrzeuge und die stetige Etablierung eines Physical Internet.

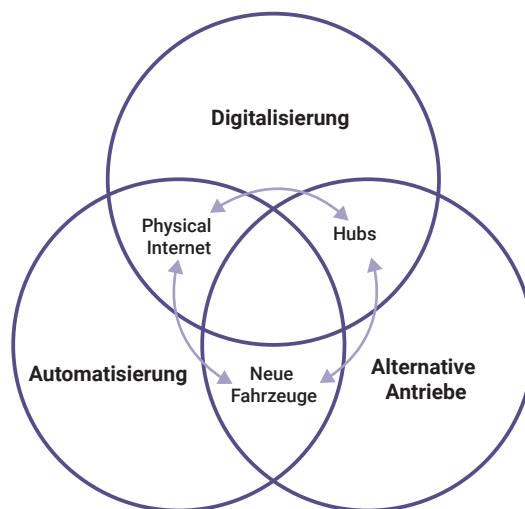


Abbildung 56: Wechselwirkungen der Trends und Entwicklungen. Quelle: Eigene Darstellung

4.2.1. SAMMEL- UND VERTEILZENTREN²⁷

Der Errichtung neuer Infrastrukturen an Stadt-Außenlagen zur Bündelung und optimierten Feinverteilung mittels emissionsärmerer Lkw wird in vielen Konzepten zur städtischen Logistik vorgeschlagen bzw. umgesetzt. Die Errichtung bzw. Einrichtung zentraler Lager- und Umschlagsflächen in der Innenstadt fällt ebenso unter diese Kategorie. Von einer Bündelung von Lieferungen an der Stadtgrenze oder vor der Lieferung der „letzten Meile“ wird sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus kommunaler Sicht ein Beitrag zu einer effizienteren Logistik erwartet. Im Bereich der Reduktion an Fahrten und Kilometerleistung erwartet man sich durch diese Bündelung viel Potenzial. Umgesetzte Beispiele aus Deutschland zeigen die positiven Effekte in der Reduktion von Wegen (vgl. BMVBS 2010, S. 113–114). Die Infrastrukturen zur Bündelung werden generell als Hubs bezeichnet und unterscheiden sich konzeptuell nur gering voneinander; die Unterschiede beziehen sich eher auf Raum und Größe, wobei der Begriff Hub oftmals für innerstädtische Umschlagplätze verwendet wird (Mikro-Hub, Midi-Hub). Die Errichtung von Hubs erfolgt einerseits als Folge von innerbetrieblichen Optimierungsprozessen der Logistikwirtschaft. Andererseits aber stützt sich oftmals die öffentliche Hand – etwa im Rahmen von EU- oder national finanzierten kommunalen Projekten – in City-Logistik-Konzepten auf die Einrichtung von Hubs. Das Prinzip ist immer ähnlich: Waren werden (oft intermodal) an die Hub-Standorte geliefert und von dort gebündelt und wegeoptimiert in der Stadt feinverteilt (vgl. u.a. Amt für Verkehrsmanagement Düsseldorf 2018, S. 16). Dazu können etwa – als kleinster Maßstab – Paketboxen gezählt werden, bei denen die Güter von den Endkunden (etwa im Wohnhaus oder der unmittelbaren Wohnumgebung) abgeholt werden können. Hubs in oder im Umfeld von Städten gewinnen folglich als Faktor für eine nachhaltige City-Logistik an Bedeutung (vgl. Straube et al. 2017, S. 29; vgl. BMVBS 2010, S. 112–114).

Sammel- und Verteilzentren am Stadtrand



Abbildung 57: Standortverlagerungen zu einem neuen Güterverkehrszentrum am Rande Bremens. Quelle: BMVBS 2010, S. 43

²⁷ Mit leichten Unterschieden in Funktion und Ausgestaltung, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, existieren viele Namen und Bezeichnungen für eine Infrastruktur, die im Wesentlichen die Konsolidierung, kurze Lagerung und Verteilung von Gütern zum Ziel hat. Je nach Verortung, Kapazität, Publikation und Technik unterscheiden sich die Bezeichnungen: Unter anderem werden sie Hub, Mikro-Hub, Midi-Hub, Urban Consolidation Center (UCC), Güterverkehrszentrum (GVZ), Logistikzentrum, Distributionsplattform, Umschlagspunkt, Zustelldepot, Frachtterminal, Güterterminal, City Consolidation Center (CCC), Urban Distribution Center (UDC), Warenverteilzentrum (WVZ) und City-Terminal genannt (vgl. Erd 2015, S. 66; vgl. i-Log 2016, S. 12).

In Deutschland wurde die Auflösung von alten Umschlag- und Frachtbahnhöfen und deren Übersiedlung in GVZs unter dem Aspekt der Entlastung des städtischen Straßennetzes und aufgrund von Kosteneinsparungen im Transport geführt (vgl. BMVBS 2010, S. 43). In den GVZs siedelten sich vorwiegend Unternehmen aus dem Innenstadtbereich an (vgl. ebda, S. 42), wodurch innerstädtische Flächen für Entwicklung frei wurden.

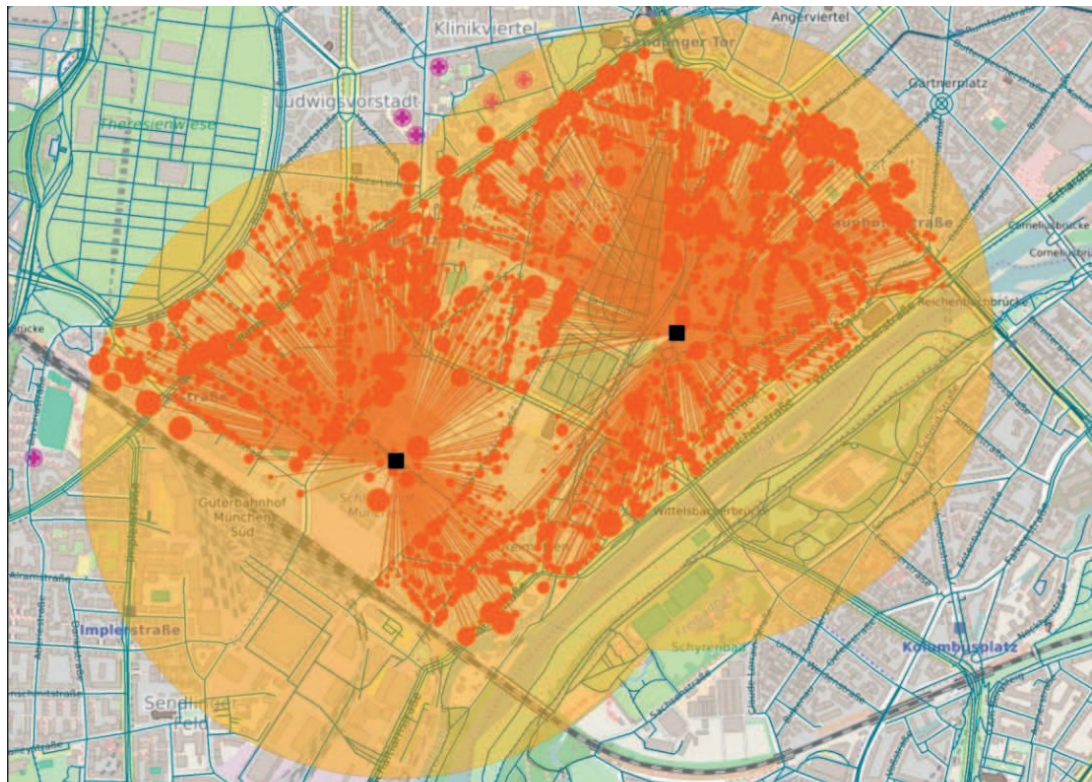
Hubs können zwar in der Bündelung von Gütern Vorteile aufweisen, Umschlagplätze für Güter werden so jedoch zunehmend aus den Städten gedrängt und konzentriert im Umland angesiedelt. Diese Dynamik wird in der Literatur als „Logistics Sprawl“ beschrieben (vgl. Dablanc & Rakotonarivo 2010). So hat etwa der Handelsgigant SPAR sein Wien belieferndes Logistikzentrum an einem Standort errichtet, der 15 km von der Stadtgrenze Wiens entfernt liegt und nur mit Lkw zu erreichen ist. Dies zeigt eine Problematik der Ansiedelung großer Logistikzentren im Stadt-Umland. Diese werden oftmals unter dem Argument, damit Fahrten einsparen zu wollen, errichtet. Ein Blick auf die Ansiedelungen dieser Zentren zeigt jedoch, dass diese vorwiegend einer betriebswirtschaftlichen, und nicht einer stadtplanerischen Logik folgen: Güterverkehrszentren werden oft nahe an Flughäfen etc. errichtet, nicht jedoch nahe an potenziellen Kunden. Die Gefahr ist aber, dass sich Unternehmen aufgrund billiger Grundstückspreise außerhalb von Städten an Standorten ansiedeln, die in einem stadtplanerischen Sinn nicht optimal sind, da sich diese zu weit von Städten befinden, wodurch eine Mehrbelastung im Emissionsausstoß und den zurückgelegten Kilometern entstehen kann. Durch die Errichtung dezentraler Umschlagzentren, so zeigt eine Studie aus Paris, können die Emissionen im städtischen Güterverkehr sogar ansteigen, anstatt zu sinken (vgl. Dablanc & Rakotonarivo 2010, S. 6093–6094). In derselben Studie wurden die Unterschiede der CO₂-Emissionen von GVZs und City-Hubs in Paris berechnet. Diese Untersuchung ergab bei den GVZs einen Mehrausstoß von 15.000 t CO₂/Jahr – bei den City-Hubs wurde eine Reduktion von insgesamt rund 500 t CO₂/Jahr gemessen. Am Maßstab der gesamten Pariser Emissionen im Güterverkehr stellen sich beide Anteile als sehr gering heraus²⁸ (vgl. Dablanc & Rakotonarivo 2010, S. 6093). Es können jedoch durchaus positive Effekte erzielt werden. In London wurden beispielsweise durch die Errichtung eines Konsolidierungscenars für Baustellen am Stadtrand rund 40% der Lkw-Fahrten eingespart (vgl. Dasburg & Schoemaker 2006, S. 63). Durch Flächenwidmungsplanung gibt es hier ein starkes ordnungspolitisches Instrument von Seiten der Politik. So schlummert gerade im Umland der Städte durch verkommene Industriekomplexe ein Raumpotenzial, das mittels regionaler Initiativen aktiviert werden könnte.

Sammel- und Verteilzentren in der (Innen)Stadt

Durch die neue Standortnähe von Umschlagplätzen und Lagern von eventuell durch Supply Chains verbundenen Unternehmen können ebenfalls Wege eingespart werden. Eine geringere Anzahl an Stopps und eine geringere Kilometerleistung ermöglichen den Einsatz von alternativen Antrieben und Verkehrsträgern (vgl. Straube et al. 2017, S. 30). Aus diesem Grund werden in City-Logistik-Projekten zunehmend innerstädtische Zentren wie die City-Hubs (innerstädtisch-zentral) oder Mikro-Depots (innerstädtisch-dispers) angedacht. Mittels Paketboxen (im Stiegenhaus, im Straßenraum oder etwa bei stark frequentierten Orten wie Supermärkten oder Poststellen) können etwa private Abholungen zu Fuß ermöglicht werden. Konzeptuell ermöglichen City-Hubs bisher vor allem für den KEP-Sektor eine Lagerung und Bündelung von Waren und eine Belieferung der letzten Meile mit emissionsarmen Fahrzeugen – vorrangig mit E-Lastenrädern oder E-Vans (vgl. Lindloff et al. 2018). Seit 2003 existiert in Paris ein erfolgreiches Modell des Unternehmens „La Petite Reine“ an mittlerweile drei Standorten, von denen die Güter mit 50 E-Fahrzeugen und 100 Lastenrädern feinverteilt werden (vgl. Straube et al. 2017, S. 30). In München wurde vom Paketdienst & Logistikunternehmen UPS ein Vorreiterprojekt ins Leben gerufen, in dem die Vorteile einer wesentlich verkürzten letzten Meile offenkundig werden: Am Morgen werden mit Gütern gefüllte Container („Mikro-Depots“) an ausgewiesene Standorte geliefert, die als Quelle für die in der unmittelbaren Umgebung (im Radius von 800 Metern) zu liefernden Güter dienen (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 1–5). Ein ähnliches Projekt wird etwa in Hamburg von UPS betrieben

²⁸ Die Autorinnen nennen hier die Zahl von 6,45 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr. Sie stellen allerdings diese von der Stadt Paris erhobene Zahl bzw. die Methodik der Zählweise in Frage, weshalb die CO₂-Menge einen schwer zu validierenden Vergleichswert darstellt (vgl. Dablanc & Rakotonarivo 2010, S. 6093).

(vgl. Ninnemann et al. 2017). In Wien werden Remisen des öffentlichen Verkehrs im Projekt RemiHub untertags testweise als City-Hubs genutzt (vgl. Schmid 2020).



Containerstandorte ■

Sendungsvolumen ● 1 - 16 ● 17 - 35 ● 36 - 58 ● 59 - 85 ● 86 - 115 ● 116 - 154 ● 155 - 212 ● 213 - 318 ● 319 - 492 ● 493 - 804

Abbildung 58: Einzugsbereiche, Ziele und Sendungsvolumina zweier innerstädtischer Hubs in München. Quelle: Lindloff et al. 2018, S. 2.

In München konnten trotz eines generell wachsenden Frachtvolumens fünf Zustell Touren sowie 780 Haltepunkte täglich eingespart werden (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 3). Ein anderes erfolgreiches Beispiel für die hoheitliche Organisation eines innerstädtischen Hubs ist die italienische Stadt Parma. Im dortigen – seit dem Jahr 2006 bestehenden Konzept – hatten Unternehmen die Wahl zwischen zwei Optionen. Sie konnten entweder ihre Fahrzeuge akkreditieren lassen (mitsamt Umwelt- und Auslastungsaufgaben) oder einen City-Hub (Midi-Hub) nutzen, von dem aus die Belieferungen durch einen neutralen Anbieter erfolgten (vgl. Straube et al. 2017, S. 30). Generell kann White-Label-Anbietern²⁹ im urbanen Kontext vor allem im KEP-Bereich hohes Potenzial zugesprochen werden. Eine von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp betreute Bachelorarbeit kam in Simulationen zum Innenstadtbereich Düsseldorf auf eine Reduktion von zurückgelegten Kilometern mittels White-Label-Logistiker und Mikro-Depots um bis zu 56% (vgl. Kuchhäuser 2018, zitiert nach Leerkamp 2018, S. 20). In London wurden in einem Projekt zur KEP-Konsolidierung mittels eines Mikro-Hubs sieben Diesel-Vans durch sechs Lastenräder, drei E-Vans und einen Diesel-Van ersetzt. Hier wurden in der Projektphase die CO₂-Emissionen pro Paket ca. halbiert (vgl. Leonardi et al. 2012, S. 154–155).

Durch die Einrichtung von Hubs kann die Verkehrsmenge (vor allem lokal) ansteigen (vgl. Dasburg & Schoemaker 2006, S. 72). So ergab eine Analyse von 31 Güterverkehrszentren in Deutschland, dass diese insgesamt für 49.000 Lkw-Fahrten am Tag verantwortlich sind. Von den 31 Hubs geht also – in unterschiedlicher Verteilung – eine hohe Anzahl an Lkw-Fahrten einerseits als Quell- und andererseits als Senkenort aus (vgl. BMVBS 2010, S. 48).

²⁹ White-Label-Logistik (für Hubs, Transporte, Plattformen, Lagersysteme etc.) ist ein Ansatz zur Verbesserung von Effizienz in der Logistik. Dabei werden etwa Transporte, Lagerungen oder Konsolidierungen von neutralen Betreibern durchgeführt und das Problem der mangelnden Kooperation unter Logistikern adressiert.

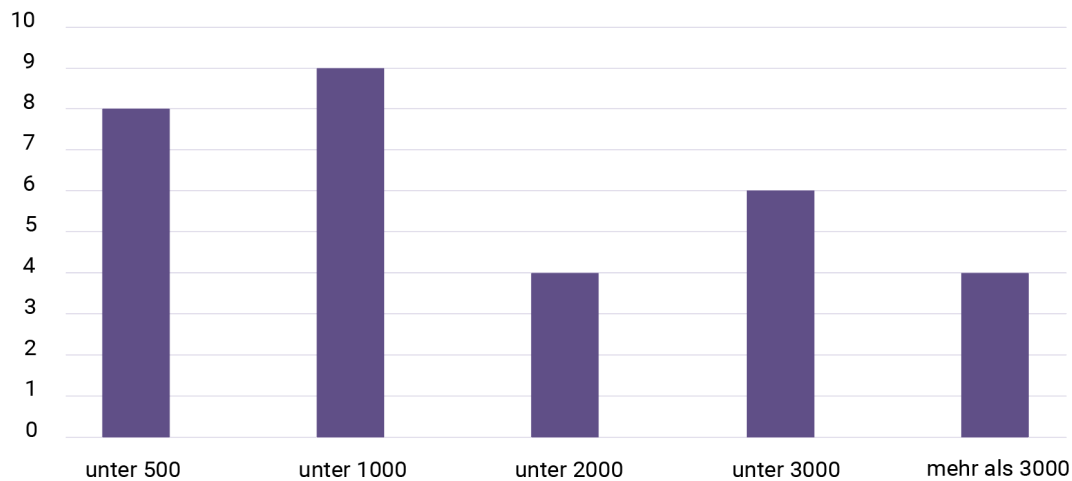


Abbildung 59: Anzahl der Fahrten pro Tag und Hub (n=31). Quelle: Eigene Darstellung nach BMVBS 2010, S. 48

Die Zubringer- und Erschließungsstraßen weisen einen höheren Grad an Lkw-Belastung als die restlichen Straßen der Stadt auf. Eine Untersuchung des GVZ Leipzig zeigt, dass der Lkw-Anteil im Straßenverkehr auf den unmittelbaren Zubringerstraßen ca. 24% beträgt (vgl. BMVBS 2010, S. 51). Dies ist vor allem in urbanen Lagen problematisch. Die zusätzliche Verkehrsbelastung würde bei einer größeren Anzahl an Hubs sinken, allerdings ergibt sich sodann die Frage der Flächenverfügbarkeit und der Errichtungs- wie Betreiberkosten. Insbesondere bei Mikro-Hubs, also bei innerstädtischen Standorten, stellt sich die Verfügbarkeit von Flächen als problematisch dar. So müssen für die Mikro-Depots in München oder Hamburg Flächen des öffentlichen Raums für das Abstellen der Container angemietet werden. Weiters stellt mangelnder Wille zur Kooperation bzw. des (Auf-)Teilens von Lieferwegen ein Problem bei gemeinschaftlich genutzten Mikro-Hubs ebenso wie bei GVZs dar (vgl. BMVBS 2010, S. 59–60). Bei gemeinsam genutzten Hubs wird oft nur der Raum geteilt, Container und Lieferwege werden weiterhin getrennt geplant und bestritten (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 7). Damit ist das Interesse der privaten Akteure bzw. deren Anreiz, an solchen Projekten teilzunehmen oder gar selbst kooperativ zu initiieren, gering. Das stellt viele City-Logistik-Projekte vor Probleme:

„Es besteht eine zu große Abhängigkeit von Konzepten wie urbane Konsolidierung und Umschlag, bei denen Experimente nur unter ganz bestimmten Umständen erfolgreich verliefen, da bei Speditionen und Nutzern der Eindruck vorherrscht, dass damit zusätzliche Kosten, aber kein wirtschaftlicher Mehrwert verbunden sind“ (EP 2010, S. 24).

Somit ist die Etablierung eines kooperativen und damit erfolgreichen Hub-Konzepts mit hohen Projekt- und Errichtungskosten verbunden. Es verspricht jedoch nennenswerte Einsparungen bei Fahrten und Emissionen sowie den Einsatz von alternativen Antriebsformen bei Lieferfahrzeugen (vgl. BMVBS 2010, S. 113–114). Sammel- und Verteilzentren verschiedener Skalierung können also für City-Logistik-Projekte ein maßgeblicher Schlüssel zum Erfolg sein – vor allem, wenn sie als Katalysator für den Einsatz von Lastenrädern oder elektronischen Verkehrsträgern dienen.

4.2.2. DAS PHYSICAL INTERNET

„The way physical objects are currently transported, handled, stored, realized, supplied, and used throughout the world is not sustainable economically, environmentally, and socially. This unsustainability assertion, supported through numerous symptoms outlined in this paper, reveals a harsh reality. Addressing this global unsustainability is a worldwide grand challenge, hereafter termed the global logistics sustainability grand challenge“ (Montreuil 2011, S. 71).

Der Begriff „Physical Internet“ (PI) ist im Vergleich zu anderen Konzepten und Entwicklungen in der Logistik relativ jung und stammt aus dem Jahr 2006 (vgl. Pan et al. 2017, S. 2603). Seither sorgt das Konzept für Aufsehen, weil damit ein Treiber für eine globale Standardisierung der Logistik entstehen könnte. Es geht davon aus, dass die Logistik in ihrer heutigen Form nicht nachhaltig (ökologisch, gesellschaftlich) und nicht effizient ist (ökonomisch). Zusätzlich werden Innovationen durch einen Mangel an Standards, Protokollen, Transparenz, Modularität und durch eine systemische, offene Infrastruktur weitestgehend verhindert (vgl. Montreuil 2011, S. 74). Durch eine Vereinheitlichung könnten (v.a. digitale) Maßnahmen besser gesetzt werden, womit ein wesentliches Hindernis für erfolgreiche City-Logistik-Projekte damit entschärft werden könnte. Kurz: Das Konzept des PI bietet einige vielversprechende Potenziale in der Logistik – vor allem hinsichtlich der Digitalisierung.

Dabei greift die Idee des PI die Prinzipien und Gedanken des digitalen Internets auf: Auf verschiedenen Infrastrukturen können in unterschiedlicher Geschwindigkeit (Daten-)Pakete basierend auf einheitlichen Protokollen in einem globalen Netzwerk (Information Highway) bewegt werden (vgl. Montreuil 2011, S. 72). Nach der Entwicklung des digitalen Internets soll also in mehr oder weniger direktem Bezug ein physisches entstehen.

„Drastically summarized, the digital world had faced a fast evolution from a world dominated by isolated large computers to a world filled with minicomputers and their workstations linked by private networks, and then to an explosive world filled with unconnected microcomputers sitting on everyone’s desk“ (Montreuil 2011, S. 72).

Aus diesem Zitat lässt sich eine Analogie zur heutigen Logistik herauslesen. Während Güterbewegungen historisch vielfach isoliert (z.B. durch die Betreiberstruktur) bewegt wurden, zeichnet sich durch zunehmende Vernetzung ein global verbundenes und untereinander abgestimmtes Netzwerk in der Logistik ab. Die fortzuschreibende Entwicklung wäre folglich geprägt von physischer, digitaler und operationaler Interkonnektivität, die durch Kapselungen³⁰, Interfaces und Protokolle erreicht wird (Montreuil et al. 2013, S. 152). Wesentlich hierbei ist – wie im digitalen Internet – die Standardisierung von Paketen, von der man sich eine Effizienzsteigerung von bis zu 30% erwartet. Dabei profitiert das PI von der Nutzung des digitalen Internets (vgl. Schauer et al. 2015, S. 9). Standardisierte Behälter und anbieterunabhängige Transporte könnten die Auslastungsgrade von Lkw dabei um bis zu 30% erhöhen. Durch lokale 3D-Drucker könnten teilweise Daten anstatt von Gütern transportiert werden (vgl. GSV 2016, S. 118). All das kann die Verkehrsbelastung und somit negative Effekte senken.

Sendungen werden dabei nicht mehr in einer Tour von A nach B (Point-to-Point) oder von A zu einem Hub zu B (Hub-and-Spoke), sondern auf bestimmten Abschnitten in kürzeren Intervallen transportiert. Ähnlich einer russischen Puppe wird das System in verschiedenen Ebenen gedacht, zwischen denen die Knotenpunkte angesiedelt sind, an denen „Pakete“ (standardisierte Transportbehälter) weitergegeben und automatisiert weiterverteilt werden (vgl. Montreuil 2011, S. 78).



Abbildung 60: Schematische Skalierung einer Supply Chain samt Knotenpunkten. Quelle: Eigene Darstellung nach Montreuil 2011, S. 78

Dabei können Sendungen – bedingt durch die allgegenwärtige Vernetzung – aufgeteilt werden: je nachdem, wo Kapazitäten frei sind und eine schnellere oder effizientere (je nach Zielsystem) Lieferung möglich ist. Durch die umfassende Überwachung der Sendungsverläufe ist eine genauere Darstellung der verursachten Emissionen möglich (vgl. Kiwitt & Frankenberg 2012, S. 173).

30 Kapselung: Das Verpacken von etwa Daten in verschiedenen Strukturen, Schichten und Skalierungen.

Während ein umfassendes PI, das ja im Sinne der Anbindung aller Logistikproduzenten und -nachfrager funktionieren muss und somit nicht nur spezifische Hubs miteinschließt, noch nicht absehbar ist, können doch Potenziale in naher Zukunft gesehen werden. Kleinstädtisch oder auf bestimmten Ebenen, mit bestimmten Nutzern, kann eine Art physisches Intranet gebildet werden, das einen Rahmen für verbesserte Abläufe durch Instrumente der Digitalisierung in etwa der städtischen Logistik bildet. Bis dahin erhöhen nationale oder durch die Initiative der EU geförderte europäische Einzelprojekte unter dem Gesamtkonzept des PI die schrittweise Annäherung an dessen Prinzipien (vgl. Kasztler et al. 2017, S. 3–6).

Dementsprechend ist eine vernetztere, einheitlichere, kooperativere Form der Stadtlogistik mit fortschreitenden Tendenzen in Richtung PI möglich, da in Teilräumen eine Art „Intranet“ denkbar ist.

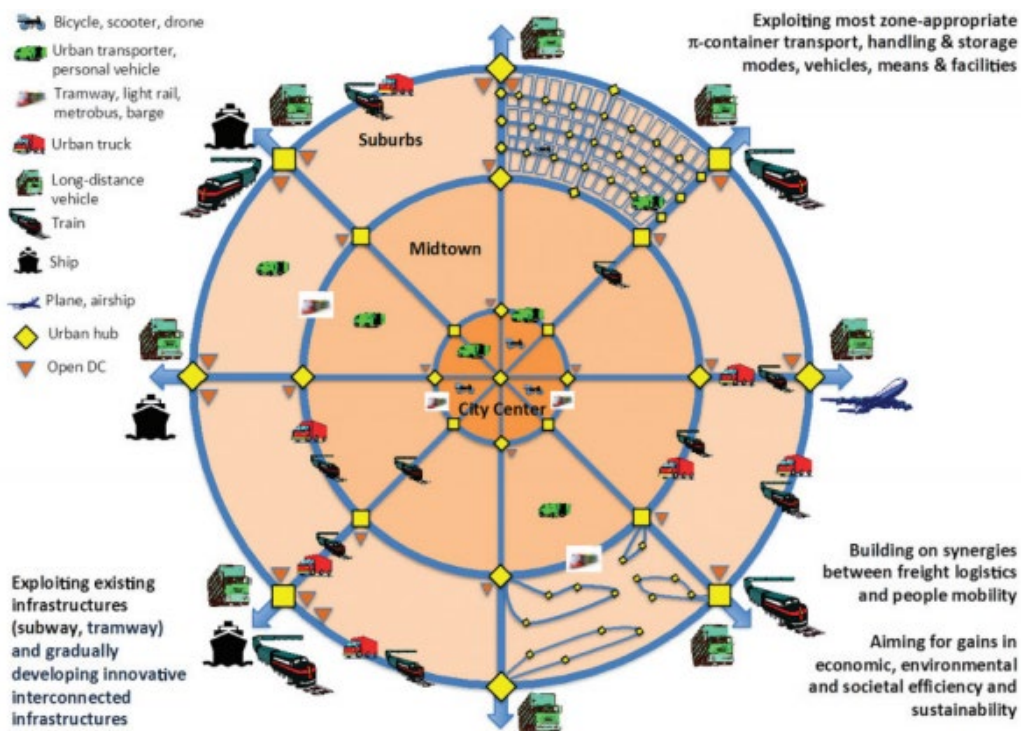


Abbildung 61: Schematische Darstellung eines multiskalaren vernetzten Physical Internet in der Stadtlogistik. Quelle: Crainic & Montreuil 2016, S. 394.

4.2.3. NEUE TRANSPORTMODI

Eine weitere Entwicklung ist jene der Verlagerung des Verkehrs hin zu alternativen (effizienteren und/oder nachhaltigeren) Verkehrsträgern. Diskutiert werden einerseits neue Verkehrsträger (Drohnen, automatisierte Lieferroboter), eine Weiterentwicklung von Verkehrsträgern (automatisierte Lieferwagen als Verbesserung herkömmlicher Vans) und die Etablierung bestehender Verkehrsträger (Lastenrad). Entwicklungen also, die aus einer technischen-funktionalen – und nicht aus einer konzeptionellen – Sichtweise erklärt werden können. Nicht betrachtet werden somit etwa Konzepte einer kollaborativen Logistik, welche etwa die Mitnahme von bestimmten Gütern bei privaten Pkw-Fahrten andenk³¹.

31 Der Nutzen hier wäre sehr partikular, es müsste sich viel im Verkehrssystem ändern. Kollaborative Logistik stellt somit nicht eine bloße technologische (Weiter-)Entwicklung dar, sondern erfordert ein ganzes Bündel an Maßnahmen.

Automatisierter Zustellroboter

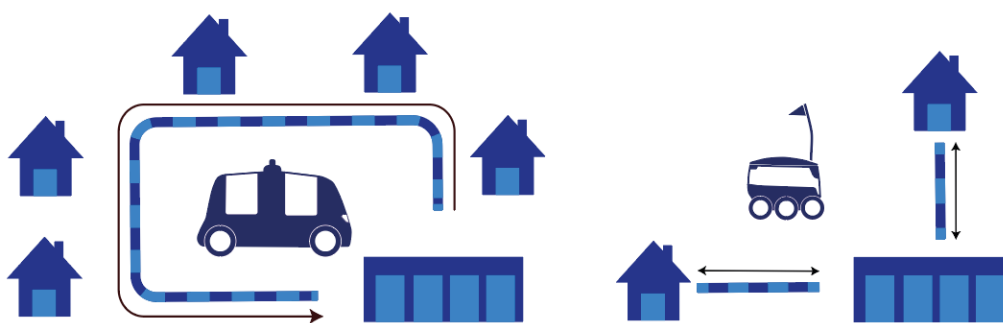


Abbildung 62: Automatisierte Zustellroboter und mögliche Lieferstrukturen. Quelle: Eigene Darstellung nach KPMG 2018, S. 13.

Durch die Fortschritte in der Fahrzeugautomatisierung bildete sich eine neue Form des Lieferfahrzeugs heraus: der Zustellroboter (engl. Deliverybot). Dieser kann entweder auf Fußgängerwegen und in Fußgängerzonen (vgl. Starship Technologies o.J.; vgl. Piaggio 2017) oder als Lieferroboter auf öffentlichen Straßen eingesetzt werden (vgl. Nuro o.J.; vgl. Toyota o.J.). Bots eignen sich im Besonderen für Just-in-time-Lieferungen, da sie keine FahrerInnen benötigen (vgl. KPMG 2018, S. 13).

Der Zustellroboter mit den Einsatzgebieten abseits der öffentlichen Straßen – wie jener von Starship Technologies – wird aufgrund geringer Geschwindigkeiten und des begrenzten Einsatzgebietes schon in verschiedenen Städten getestet und eingesetzt – etwa in Hamburg (vgl. Stoppenhagen 2020) oder in Milton Keynes und San Francisco (vgl. O’Kane 2018). Vor allem in heterogenen Stadtzentren oder auf Campus können diese Fahrzeuge ihre Vorteile ausspielen, indem sie auf kurzen Strecken kleine Pakete oder Essenslieferungen auf dem „letzten Meter“ zustellen. Ein weiteres Konzept hierzu sieht eine Art „mobiles Einkaufs-sackerl“ vor, bei dem der Roboter einem bestimmten Menschen folgt, um etwa Einkäufe zu transportieren (vgl. MyGita o.J.). Dabei ist der Gehsteig-Bot flexibel und eignet sich insbesondere für kleinräumige Just-in-time-Anwendungen.

Im Einsatz selbst kristallisieren sich jedoch Konflikte heraus. Gerade in Gebieten mit einer hohen Dichte an potenziellen Zielen konkurriert der Lieferroboter mit anderen BenutzerInnen des Gehsteigs. Vor allem mobilitätseingeschränkte Personen können dadurch Nachteile in ihrer Mobilität erfahren. Es stellt sich die Frage, ob die Logistik der Zukunft wirklich in einen Konkurrenzkampf auf einem ohnehin schon umkämpften und räumlich beschränkten Raum treten soll. Diese Fragen und erste Erfahrungen mit Lieferrobotern auf den Gehsteigen hat die Stadtverwaltung San Franciscos im Dezember 2017 dazu gebracht, Regulationen für den Einsatz von Lieferrobotern zu erlassen, obwohl erst eine geringe Anzahl an Robotern auf den Gehsteigen im testweisen Einsatz war (vgl. Said 2017). Angesichts dieser Reaktionen ist es fraglich, ob diese Lieferroboter im städtischen Bereich flächendeckend zum Einsatz kommen werden.

Die straßengebundenen Lieferroboter weisen ein höheres Volumen auf und sie können je nach der Vehikelgröße ein deutlich höheres Gütervolumen transportieren. Auch autonome Shuttles wie jener von Easymile, die ursprünglich für Personentransporte angedacht waren, setzen auf die Möglichkeit des Gütertransports (vgl. Fraunhofer 2020.). Dabei stellt sich vor allem die Wandelbarkeit der Verkehrsträger als zumindest interessant heraus. Das Konzept von Toyota, die E-Palette, greift die Idee der Umwandelbarkeit in mobile Werkstätten auf, welche bedarfsorientiert an die Zieldestination fahren können (vgl. Toyota o.J.). Im Grunde handelt es sich bei dieser Art von Verkehrsträger um ein weiterentwickeltes Lieferwagenkonzept, welches die Infrastruktur der öffentlichen Straßen benötigt. Wie im Kapitel der Automatisierung beschrieben, ist die Technologie noch nicht reif für einen Einsatz.

Dabei besteht für die kleineren, langsameren Gehsteig-Bots eine größere Wahrscheinlichkeit, schon bald flächendeckender eingesetzt zu werden – auch, weil die Einsatzumgebung begrenzt und dem Fahrzeug schnell bekannt ist. Die Covid-19-Gesundheitskrise zeigt dabei aber vor allem eines auf: Automatisierte Zustellroboter sind vor allem auf der Straße noch nicht bereit für den Einsatz, sie sind technologisch noch nicht ausgereift (vgl. Marshall 2020).

Lastenrad

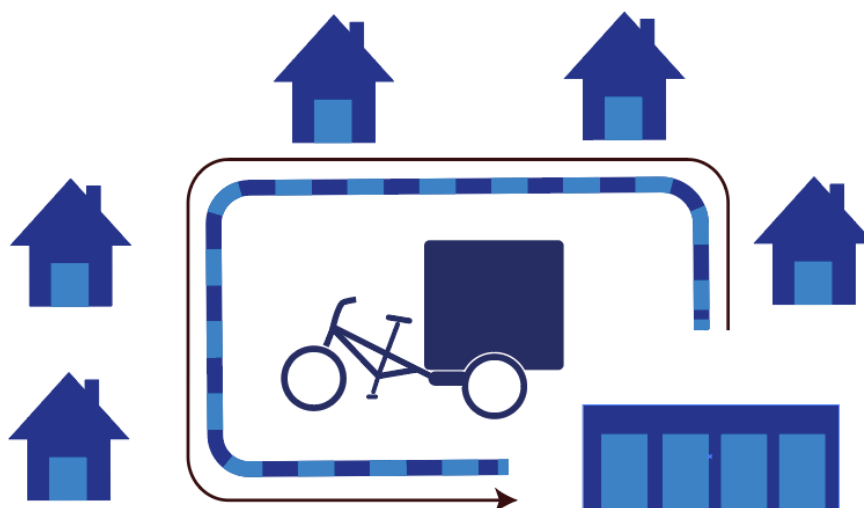


Abbildung 63: Lieferstruktur eines Lastenrads. Quelle: Eigene Darstellung nach KPMG 2018, S. 13.

Lastenräder, immer öfter mit E-Motoren ausgestattet, haben in den letzten Jahren vermehrt ihren Weg auf die Straßen europäischer Großstädte gefunden. Neben den Vorreitern der Bastler und Kollektive sowie einem hohen Anteil an Privatbesitzern sind mittlerweile ca. 15% der Lastenräder Wiens in den Händen und im Einsatz von Unternehmen. Die gesamte Anzahl an Lastenrädern in Wien übersteigt mittlerweile die 1000 (Emailverkehr mit Daniel Böhm – Radlobby Wien, 23. August 2018). Lastenräder kommen vorrangig in der Logistik der letzten Meile – und dabei auf kürzeren Strecken – zum Einsatz. Hauptsächlich bei KEP- und Stückguttransporten eingesetzt, gibt es Modelle, die sich für den Transport von palettierten Gütern eignen (vgl. Starke o.J.). Es existiert eine Vielzahl an Bauformen, wodurch sich Unterschiede in der möglichen Nutzlast ergeben. Diese kann bis zu 500 kg betragen (vgl. Dorner et al. 2020).

Dass Lastenräder zunehmend attraktiver für Logistikbetreiber werden (vgl. TfL 2009, S. ii–iii), liegt vor allem an gewissen Vorteilen gegenüber der Van-Logistik in urbanen Gebieten mit hoher Nutzungsdichte. Durch einen erhöhten Bedarf an termingerechten und Just-in-time-Lieferungen bieten Lastenräder in sich ständig ändernden Verkehrsströmen eine flexiblere Lösung. Weiters sind sie umweltfreundlicher, billiger in Anschaffung und Betrieb, erschließen gewisse Stadtgebiete besser (wie etwa Fußgängerzonen) und können leichter geparkt werden (vgl. TfL 2009, S. ii–iii). Die Emissionen (nach dem transportierten Gewicht der Güter) sinken laut Benjamin Knowles (Gründer des Lastenradunternehmens „Pedal Me“) im Gegensatz zu elektrischen Lieferfahrzeugen um 97,5% im Bereich der Feinstaubemissionen und um 90% im Bereich der CO₂-Emissionen, die Herstellung schon miteinberechnet (vgl. Pegg 2019).

In Bezug zur Verkehrssicherheit bzw. zur Auswirkung auf Unfälle sind Lastenräder ebenfalls eine ernstzunehmende Alternative zu Vans und Lkw. Der Boom des KEP-Sektors und die damit einhergehende zunehmende Atomisierung von Lieferungen spricht ebenfalls für Lastenräder, da hier Güter kleinteiliger transportiert werden können. Einsätze von Lastenrädern sind aber auch in anderen Gütersparten – etwa in der Baustellenlogistik – durchaus denkbar. Eine Befragung in London ergab, dass Verantwortliche mit Erfahrung im Bereich Lastenräder diesen Einsätzen gegenüber durchaus aufgeschlossen gegenüberstehen und diese für vorstellbar halten (vgl. TfL 2009, S. 63).

Lastenräder sind jedoch, trotz der beschriebenen Vorteile, noch keine wirkliche Alternative zur bisher Kraftfahrzeug-gebundenen Logistik geworden. Dies liegt einerseits am unvollständigen Wissen unter Logistikbetreibern (vgl. Riehle 2012, S. 115), aber auch an einer nicht für Lastenräder optimierten Infrastruktur aus Lagern, Verkehrswegen sowie Umschlagzentren und an der Verkehrsform an sich. So zeigt ein groß angelegtes, deutsches Forschungsprojekt („Ich ersetze ein Auto“), dass die Vorbehalte gegenüber Lastenrädern in Unternehmen, welche noch keine Lastenräder eingesetzt haben, sehr groß sind (vgl. Gruber 2015, S. 10). Unternehmen aber, die Lastenräder probeweise eingesetzt hatten, integrierten diese dann in ihre Lieferketten (vgl. ebda, S. 11). Die Unterschiedlichkeit von Straßenräumen, Straßenquerschnitten, das Vorhandensein von adäquater fahrradtauglicher Infrastruktur sowie die Art der transportierten Güter beeinflussen die Art der eingesetzten Lastenräder, was die Anschaffung und Routenplanung verkompliziert (vgl. TfL 2009, S. ii–iv). Vor allem bei Hubs im Umfeld der Städte stellt sich die geringere Lastenkapazität und damit die Reichweite als Problem heraus. Je näher die Hubs sich an der Gütersenke befinden, desto mehr Einsatzmöglichkeiten existieren bzw. desto eher ist ein Lastenrad für den Einsatz tauglich (vgl. Gruber 2015, S. 37). Verschiedene Unternehmen haben mit der Einrichtung kleinerer City-Hubs oder mit Containern & Vans als mobile City-Hubs reagiert, um den Transport via Lastenrad zu fördern (z.B. Hamburg, vgl. Ninnemann et al. 2017). Die Wiener Linien stellen Teile ihrer untertags leeren Remisen als innerstädtische Lager für Lastenräder zur Verfügung (vgl. Schmid 2020). So könnten laut ExpertInnenumfragen rund 25% der städtischen Güter per Lastenrad transportiert werden (vgl. Riehle & Lenz 2013, S. 40).

Drohne

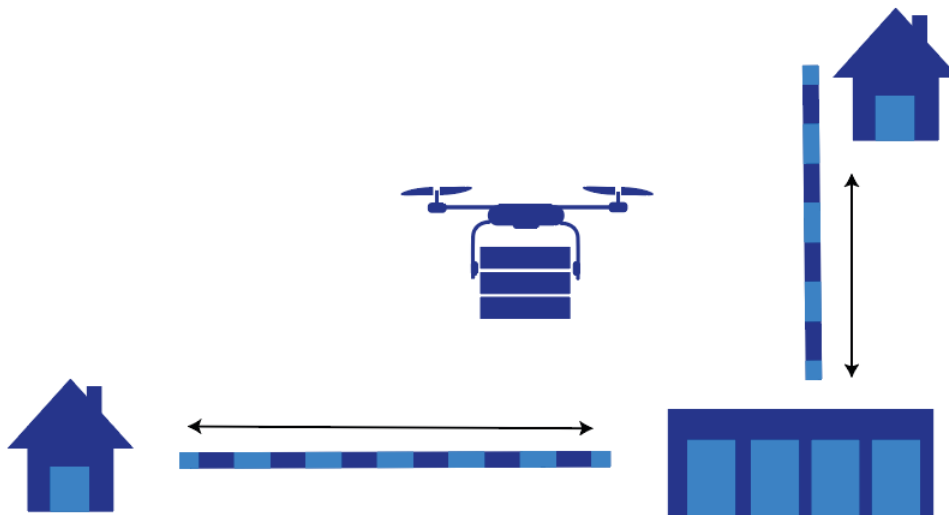


Abbildung 64: Lieferstruktur einer Lastendrohne. Quelle: Eigene Darstellung nach KPMG 2018, S. 13.

Drohnen, die zu Logistikzwecken eingesetzt werden, sind ein gern gesehener Bestandteil visualisierter, städtischer Zukunftsszenarien – unter anderen arbeiten Mercedes und Amazon an Konzepten zur Drohnenlogistik. Gerade Amazon sorgt durch ausgefallene Patentanmeldungen in diesem Bereich für Aufsehen. So stellt sich Amazon ein über der Stadt schwebendes Zeppelin als mobiles Lager für die Lieferdrohnen über dem Stadtgebiet vor (vgl. Michel 2017). Der Zeppelin als mobiles Lager für die Lieferdrohnen ist übrigens bis jetzt noch nicht verwirklicht worden.

Das Thema der Drohnenlogistik ist vor allem durch den Einsatzbereich im boomenden E-Commerce und der vordergründigen Ungebundenheit an schon von anderen Verkehrsteilnehmern genutzte Infrastrukturen attraktiv. Während vor allem Amazon Drohnen in städtischen Gebieten – limitiert durch Reichweite und Größe sowie Gewicht der Güter – als Ergänzung zur herkömmlichen Logistik einsetzen will, gehen andere Konzepte von einem Mehrwert bei Katastropheneinsätzen und bei Notfällen aus (vgl. Haidari et al. 2016).



Abbildung 65: So stellt sich Amazon einen über der Stadt schwebenden Zeppelin als mobiles Lager für die Lieferdrohnen über dem Stadtgebiet vor. Quelle: Leskin 2019

Neben den genannten Szenarien haben Drohnen potenzielle Anwendungsmöglichkeiten im ruralen und alpinen Bereich, was sie in der Versorgung von etwa Katastrophengebieten oder schlecht erschlossenen Gegenden anwendbar macht. Tests in Österreich (im Rahmen des von der Post und der Technischen Universität Graz initiierten Projekts „Heidi“) zeigen die Möglichkeiten der Güterlieferung in alpinen Gebieten auf, in denen die Bevölkerung weit verteilt und mit herkömmlichen Transportmodi ineffizient und kompliziert zu erreichen ist (vgl. Eigner 2017).

In China werden solche Konzepte hingegen bereits umgesetzt. Das chinesische Pendant zu Amazon – JD – setzt auf den großen, bisher schlecht erschlossenen ruralen Markt. In Gegenden, in denen die Bevölkerung erstmals mit einem diversifizierten Angebot und dem Internet konfrontiert ist, wird E-Commerce als Basis der Versorgung aufgebaut, große Kaufhäuser gibt es in den ländlichen Strukturen Chinas kaum. Sieben verschiedene Drohnentypen werden hier eingesetzt, um die geringen benötigten Mengen in ausgewählte Dörfer zu transportieren (vgl. Fan 2018).

Amazon bezieht sich auf Drohneneinsätze im amerikanischen Bebauungskontext der weitläufigen suburbanen Einfamilienhausgebiete. Eine spezielle Matte dient der Drohne als Lande- und Orientierungsplatz (vgl. Aurambout et al. 2019). Andere Tests in Afrika zielen, aufgrund teils nicht ausreichend entwickelter Infrastruktur, auf die Chancen der Entwicklung eines Logistiksystems von Grund auf ab. Drohnen können folglich einen mannigfaltigen Beitrag zur Logistik leisten, vor allem in den beiden Raumtypen der weitläufigen Einfamilienhaussiedlungen und den dispers und schwach besiedelten ländlichen und alpinen Bereichen.

Speziell im Bereich der Paketlieferung wird von der Drohnenlogistik grundsätzlich erwartet, einen signifikanten Anteil der Lieferungen in urbanen Gebieten übernehmen zu können. So beträgt der Anteil der Lieferungen von Amazon unter 2,2 kg³² rund 86% (vgl. Doole et al. 2018, S. 3), was für eine Eignung von kleinteiligen Transportmodi wie Drohnen spricht. Rund 70% der in Städten transportierten Pakete eignen sich so grundsätzlich aufgrund der Abmessungen und des Gewichts für den Transport via Drohne (vgl. Narkus-Kramer 2017, zitiert nach Doole et al. 2018, S. 3). Die Reichweite beträgt dabei für kommerzielle Anwendungen

32 Die 2,2 kg stellen in der betrachteten Studie den Referenzwert dar, da mehrere namhafte Unternehmen diesen Wert als Ziel angaben (vgl. Doole et al. 2018, S. 3).

im urbanen Bereich zwischen 10 km (vgl. Doole et al. 2018, S. 3–4) und 20 km (vgl. Boysen et al. 2018, S. 506). Doole, Ellerbroek und Hoekstra untersuchten das Phänomen des Transports via Drohne am Beispiel Paris. Dabei wurden für das Jahr 2035 zwischen 110.224 und 275.559 stündliche Flugbewegungen errechnet. Bis zum Jahr 2050 sollte dieser Wert auf zwischen 174.521 und 1.010.383 Flugbewegungen pro Stunde ansteigen (vgl. Doole et al. 2018, S. 4).

Angesichts dieser Werte ist die Akzeptanz für einen breiten Einsatz von Lieferdrohnen im Stadtgebiet fraglich. Ebenso stellen sich u.a. Sicherheitsbedenken und der limitierte Einsatz bei bestimmten Wetterbedingungen als Unsicherheitsfaktoren dar (vgl. Anbaroğlu 2017, S. 73–77).

Lieferwagenbasierte, drohngestützte Paketzustellung



Abbildung 66: Lieferstrukturen eines kombinierten Systems neuer Transportmodi. Quelle: Eigene Darstellung nach KPMG 2018, S. 13.

In einem Konzept, das unter anderem von Daimler (unter dem Namen Daimler Vision Van, vgl. Daimler o.J.) vorangetrieben wird, sollen Lieferwägen als mobile Hubs und Ausgangspunkte für Last-Meter-Lieferungen mittels Drohnen und Gehsteig-Bots dienen. Weil diese Verkehrsträger nur geringe Gewichte und bestimmte Paketgrößen transportieren können, sind sie in ihrer Reichweite und Effizienz beschränkt. Durch den Einsatz von Lieferwägen aber, so die Idee, kommt es zu einer starken Verkürzung der Transportwege und es könnten mehr Lieferungen in einem bestimmten Zeitfenster getätigt werden (vgl. Campbell et al. 2017, S. 32).

Daimlers Vision Van ist nicht das einzige Projekt zu lieferwagenbasierten Zustellsystemen. Weiters existiert etwa „Workhorse“, ein Projekt unter Beteiligung von u.a. UPS und DHL, das in den USA getestet wird (vgl. Workhorse 2020). Der Einsatz bleibt hier vor allem auf Paketlieferungen beschränkt, was aus der Projektbeteiligung der beiden Paketdienste & Logistikunternehmen UPS und DHL ersichtlich wird. Unter dem Gesichtspunkt eines stetig wachsenden E-Commerce kann durch diese neuartigen Lieferwägen mit der Unterstützung von Gehsteig-Bots und Drohnen ein Teil der Logistik verlagert und gebündelt werden. Vor allem durch die Unterstützung mehrerer Drohnen kann so ein bedeutender Anteil an Stopps im suburbanen Gebiet eingespart werden (Campbell et al. 2017, S. 32). Dennoch lässt sich dieses Konzept lediglich als eine Erweiterung des bestehenden bezeichnen. Außerdem ist es von der Akzeptanz von Gehsteig-Bots und Drohnen abhängig und hat seine Stärken nicht in dicht besiedelten Räumen.

4.2.4. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG

Sammel- und Verteilzentren:

Hubs können – ob als GVZ oder Mikro-Hub – dabei helfen, Güter zu bündeln und die Auslastung der Verkehrsträger zu erhöhen. Ebenso können Touren damit verkürzt werden, was auf bestimmten Strecken den Einsatz alternativer, emissionsärmerer Fahrzeuge möglich macht. Außerdem lassen sich durch Hubs städtische Regulativen besser ein- und umsetzen. So können, etwa durch Lizenzierungen, Instrumente der City-Logistik begleitend eingesetzt werden (vgl. Straube et al. 2017, S. 30). Sie stellen einen vielversprechenden Ansatz zur Reduktion des Verkehrs und der induzierten Emissionen dar. In Verbindung mit den Trends und den Entwicklungen können Hubs in ihren Potenzialen weiter gestärkt werden. Allerdings erfordert ein Netzwerk, das diese Skaleneffekte ermöglichen könnte, einiges an Planung, infrastrukturellen Maßnahmen, Kosten und Zeit.

Das Physical Internet:

Durch eine Standardisierung der Transportbehälter, der Protokolle und der Kommunikation sowie dem Ansatz, dass im Internet jeder gleich ist, können sich stetige Effizienzsteigerungen ergeben. Ebenso werden bestimmte Instrumente der Digitalisierung zu einer besseren Entfaltung gebracht, wenn z.B. Schnittstellenprobleme durch ein einheitlicheres System verbessert werden. Es ist vorstellbar, dass sich nach und nach – im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung – immer mehr Betriebe wie Logistikdienstleister die Potenziale der Vernetzung nützen und stetig Skaleneffekte entwickeln. Dies kann jedoch nur schrittweise über einen langen Zeitraum entstehen.

Neue Verkehrsträger:

Durch alternative Verkehrsträger kann in Zukunft präziser auf spezifische Herausforderungen in Transportwegen eingegangen werden. Die Verlagerung vor allem in Innenstädten vom Lkw zum Lastenrad oder E-Van ermöglicht eine Senkung der lokalen Emissionen des Güterverkehrs in Zukunft deutlich. Vor allem sei hier jedoch auf den wechselseitigen, verstärkenden Effekt zur Einrichtung bzw. Errichtung von Hubs verwiesen, der für eine umfassendere Verlagerung des Verkehrs notwendig ist.

	Vermeiden	Verlagern	Verbessern
Sammel- und Verteilzentren	++ Neue Möglichkeiten in der Bündelung von Gütern und der Verbesserung der Zuverlässigkeit von Lieferfenstern.	+ Durch die Ansiedelung von Hubs können alternative Verkehrsträger ihr Potenzial besser und großflächiger ausspielen.	+ Neue Möglichkeiten in der Organisation von Güter- und Verkehrsströmen durch automatische Erfassung von Lieferungen und Lieferzeitfenstern.
Das Physical Internet	+ Durch partielle Verbesserungen in der Transparenz können Effizienzen erhöht und Verkehre eingespart werden.	+ Eine größere Transparenz und bessere Vernetzung führt dazu, dass unter bestimmten Parametern gewisse Verkehrsträger in der automatischen Routenplanung bevorzugt werden können.	++ Neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz und des Fußabdrucks (ökonomisch und/oder ökologisch) in einem bestehenden infrastrukturellen System.

Neue Verkehrs- träger	+	+
	Güterverkehre können zu einem gewissen Teil auf schonendere Verkehrs- träger verlagert werden.	Neue Möglichkeiten zur Verringerung lokaler Emis- sionen.

Abbildung 67: Entwicklungen der Logistik: Bewertung der Wirkungen. Quelle: Eigene Darstellung

Eine Bewertung der Entwicklungen offenbart, dass bei jeweiliger Durchsetzung durchaus positive Effekte entstehen können. In Bezug zu negativen Effekten der Logistik auf die Stadt sind ebenfalls Verbesserungspotenziale gegeben.

	Unfälle	Luft	Lärm	Staus	Lade- zonen	Flächen	Aus- lastung
Sammel- und Verteilzentren	+	+	~	-	++	~	++
Das Physical Internet	~	~	~	~	+	~	+
Neue Ver- kehrsträger	+	++	+	+	~	-	+

Abbildung 68: Bewertung der möglichen Effekte der Entwicklungen auf die negativen Effekte der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung

Es zeigt sich, dass die Entwicklungen offensichtlich – durch Inkorporation und Inkubation positiver Effekte der Trends – durchaus Potenzial haben, die städtische Logistik stadtverträglicher zu gestalten. Allerdings ist die zeitliche (Physical Internet, Hubs), technische (Physical Internet) und anwendungsbezogene (neue Verkehrsträger) Komponente noch ein Hemmnis einer zeitnahen Umsetzung dieser Potenziale. Dementsprechend wird – etwa analog zu Überlegungen der Deutschen Post (vgl. Kiwitt & Frankenberg 2012, S. 65) oder der Europäischen Union (vgl. EP 2010, S. 24)³³ – das Potenzial einer neuen Logistikinfrastruktur im Untergrund analysiert.

4.3. UNTERGRUNDLOGISTIK ALS CHANCE?

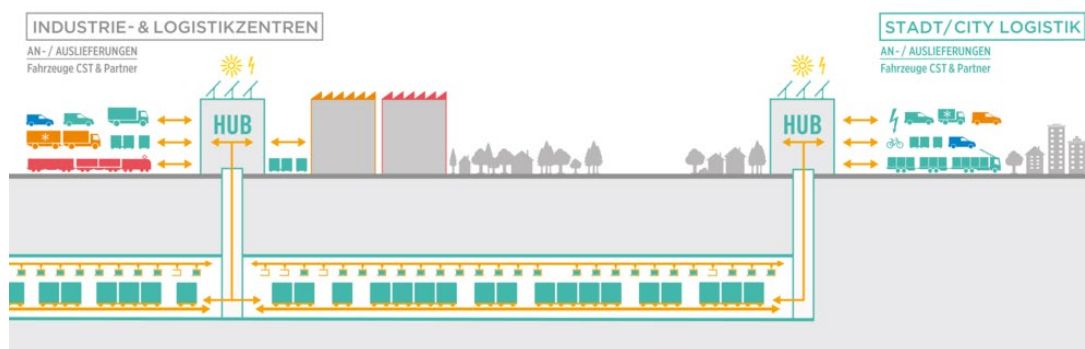


Abbildung 69: Stellt unterirdische Logistik eine Lösung für Verkehrsprobleme dar? Mehrere Projekte – darunter Cargo Sous Terrain in der – verfolgen diesen Ansatz. Quelle: Cargo Sous Terrain o.J.a

33 In beiden Papern wird die Logistik im Untergrund als wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen Zukunft ins Feld geführt. Beide erschöpfen sich jedoch in flachem Utopismus und denken das Konzept nicht weiter, sondern lediglich an.

4.3.1. POTENZIAL: LOGISTIK IN DEN UNTERGRUND

Nach einer Betrachtung der Trends und Entwicklungen wird klar, dass diese lediglich das Potenzial (einmal mehr und einmal weniger) haben, die negativen Effekte der Logistik in Teilsegmenten zu lindern. Somit müssen einzelne Lösungen projektbezogen neu entwickelt werden und schaffen somit erheblichen Aufwand für wenig ganzheitlichen Nutzen. Es stellt sich die Frage, inwiefern die benannten Potenziale der Trends gefördert und deren optimale Wirkung entfaltet werden kann.

Lastenräder können einen wichtigen Beitrag zu einer klima- und stadtverträglicheren Logistik leisten, momentan ist das logistische System jedoch noch nicht auf diese zugeschnitten. Eine städtische Logistik mit Lastenrädern und umweltverträglicheren Formen der Logistik wie Drohnen oder Gehsteig-Bots als Substitut braucht (unter anderem) eine bedarfsgerechte Infrastruktur.

Ein flächendeckendes Netz aus City-Hubs würde die Einzugsgebiete klein halten und verschiedenste Formen einer „sanften“ City-Logistik der kurzen Wege ermöglichen. Die Belieferung der Hubs erzeugt allerdings zumindest lokal eine höhere Verkehrsbelastung (siehe S. 35), da diese vor allem mit Lkw beliefert würden. Stadtverträgliche Alternativen der Belieferung dieser innenstädtischen Hubs gibt es kaum – eine Belieferung per Schiene bzw. Zügen im Kontext der City-Hubs ist nicht realistisch. Aus diesem Grund soll die Belieferung durch den Untergrund untersucht werden.

Bei einer Belieferung der Hubs und relevanter Logistik-POIs durch den Untergrund könnten sowohl Platzverbrauch auf der Straße sowie in der Fläche (durch unterirdische Lagermöglichkeiten und Just-in-time-Lieferungen) als auch lokale Emissionen vermieden und somit eine klima- und stadtgerechte, funktionierende Logistikkette aufgebaut werden (vgl. Kiwitt & Frankenberg 2012, S. 175). Durch die Unabhängigkeit von der Verkehrssituation an der Oberfläche wären die Lieferungen besser planbar; Waren könnten – durch die deutlich geringeren Lärmemissionen an der Oberfläche – auch in den Nachtstunden an ihre Bestimmungsorte transportiert werden:

„The economic advantages are to be found in an almost direct delivery (no more need for roundtrips with mixed cargo), twenty-four hour service, low variable and exploitation costs and short turn-around times. The social advantages concern the low (local) environmental burden, resulting in reduction of noise, visual pollution, and emissions, reduction of congestion problems, reduction of energy use, and a related reduction in CO₂ emissions, more intense use of available space and an increase in traffic safety“ (Wiegmans et al. 2010, S. 38).

	Zug	Lieferwagen	Lkw	Lastenrad	Gehsteig-Bot	Drohne	Untergrund-Kapsel
Geschwindigkeit	++	+	++	++	~	+	+
Kapazität	++	+	+	~	--	--	~
Be- und Entladung	+	++	++	++	++	+	~
Witterungseinfluss	+	+	+	~	~	--	++
Energieverbrauch	~	--	--	++	~	-	+

Zeit- beschränkung	+	-	-	+	+	-	++
Umwelt- freundlich	+	-	--	++	~	~	++
Flexibilität	--	++	+	+	+	++	~
Reichweite	++	+	++	--	--	-	++

Abbildung 70: Vorteile und Nachteile verschiedener Transportmodi. Quelle: Eigene Darstellung nach Sun & Wang 2011, S. 18

Eine Studie, welche die Auswirkungen eines solchen Systems in Tokio untersuchte, kam zum Schluss, dass ein 300 km langes System mit 150 Hubs 30% des Güterverkehrs auf der Straße aufnehmen könnte. Dies würde zu prognostizierten Einsparungen von 10% NO₂, 18% CO₂ und 18% des Energiebedarfs sowie zu einer Steigerung der Durchschnittsgeschwindigkeit im Verkehr von 24% führen (vgl. Ooishi & Taniguchi 1999, zitiert nach Milinković & Pantelić 2015, S. 317). Gleichzeitig erhöhen aber die Trends und Entwicklungen in der Logistik die Machbarkeit solcher Projekte (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 79). Die folgende Gegenüberstellung der verschiedenen Transportmodi zeigt, wo Logistik im Untergrund diese Vorteile ausspielen könnte.

	Last Mile	City-Hub	GVZ	Überregional	Fazit
Zug	--	-	+	++	Hohe Kapazität, hohe Reichweite, geringer Einsatzraum
Van/Zustell-Bot	++	+	+	~	Mittlere Kapazität, mittlere Reichweite, großer Einsatzraum
Lkw	+	++	++	++	Hohe Kapazität, hohe Reichweite, großer Einsatzraum
Lastenrad	++	~	~	--	Niedrige Kapazität, wenig Reichweite, großer Einsatzraum
Gehsteig-Bot	++	-	-	--	Niedrige Kapazität, wenig Reichweite, beschränkter Einsatzraum
Drohne	++	-	-	--	Niedrige Kapazität, mittlere Reichweite, eingeschränkte Eignung, großer Einsatzraum
U-Kapsel	-	++	+	+	Mittlere Kapazität, mittlere Reichweite, geringer Einsatzraum, große Anfangsinvestitionen

Abbildung 71: Vor- und Nachteile der verschiedenen Transportmodi in einem räumlichen Kontext. Quelle: Eigene Darstellung

Dabei wird klar, dass eine unterirdische Transportinfrastruktur im urbanen Bereich vor allem in der Belieferung von City-Hubs und bestimmten, logistikintensiven Zielen der letzten Meile als Ersatz zum Lkw und zum Lieferwagen werden kann. Durch die Möglichkeit zeitlich präziserer und auf weiterführende Verkehrsträger abgestimmte Ladungen können Einsatzmöglichkeiten und positive Effekte anderer alternativer Verkehrsträger verstärkt werden. In der näheren Zukunft ist der Aufbau eines flächendeckenden Netzwerks „bis zur Haustüre“ unrealistisch – deshalb muss es Teil eines innerstädtisch intermodalen Verkehrssystems sein. Durch die eingeschränkte ODD stellen unterirdische Transportinfrastrukturen ein mögliches Einsatzfeld für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge dar, womit die Möglichkeiten für positive Skaleneffekte zu den Trends der Digitalisierung und der Automatisierung gegeben sind (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 79). Dadurch können unterirdische Logistikinfrastrukturen einen Baustein des Physical Internet bilden.

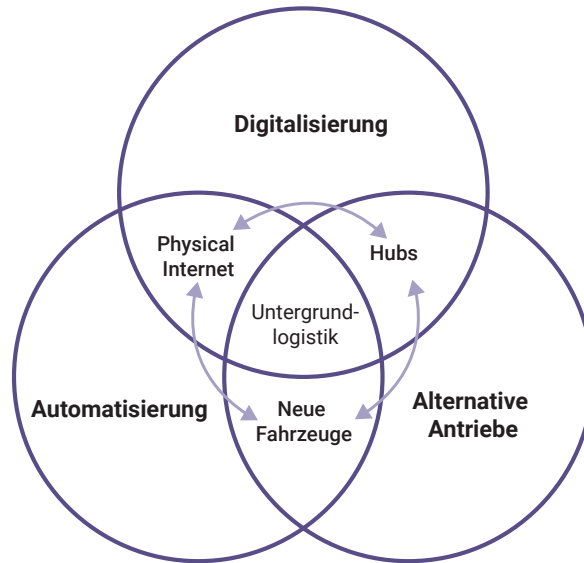


Abbildung 72: Wirkungsdiagramm: Einbettung und Wechselbeziehungen von Untergrundlogistik auf Trends und Entwicklungen. Quelle: Eigene Darstellung

Für Skepsis und Kritik sorgen die Größe und Komplexität eines solchen Infrastruktursystems sowie die damit verbundenen notwendigen Investitionen. Somit existieren sowohl Meinungen, welche der Idee keine Umsetzbarkeit bescheinigen (vgl. bauingenieur24 2003), als auch welche, die von der Idee und Machbarkeit überzeugt sind (vgl. Dong et al. 2019). Unbestritten sind jedoch die möglichen Vorteile eines solchen Systems auf Umwelt, Stadt und Gesellschaft (vgl. ebda, S. 3–4). Dies deswegen, weil technische, organisatorische und stadträumliche Ansätze zusammen gedacht, vereinheitlicht und organisiert werden können.

4.3.2. BEWERTUNG DER POTENZIALE

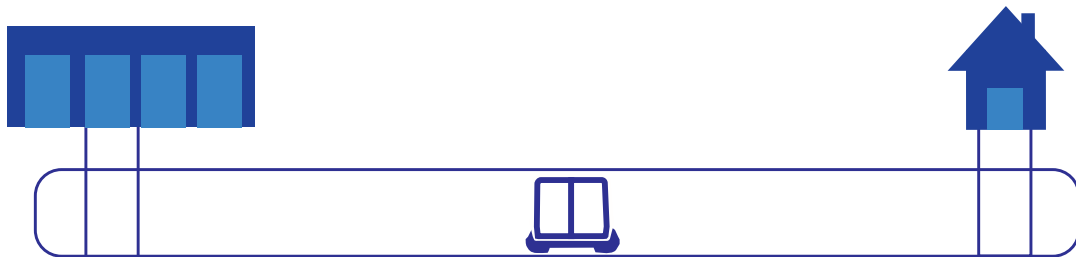


Abbildung 73: Lieferungen durch den Untergrund. Ein Potenzial für die Zukunft? Quelle: Eigene Darstellung

Neue Logistikinfrastrukturen im Untergrund:

Infrastrukturen zum unterirdischen Warentransport haben neben dem vordergründigen Vorteil der Verlagerung des Transports von der Oberfläche vor allem als Bestandteil eines zukünftigen Logistiksystems Sinn. Mit dieser Infrastruktur als Basis können einerseits andere Trends und Entwicklungen ihre Potenziale besser ausspielen, und andererseits können viele Maßnahmen besser umgesetzt werden (Konsolidierung, Kooperation, telematische Vereinheitlichung etc.). Hindernisse sind die sehr hohen Errichtungskosten, die Einbettung in das logistische System und eine weitgehende Unkenntnis von Folge- und Skaleneffekten bzw. ein Mangel an praktischen Erfahrungen.

	Vermeiden ++	Verlagern ++	Verbessern ++
Untergrundlogistik	Durch die U-Infrastruktur werden wesentliche Hürden zu einer effizienteren Auslastung bzw. Bündelung abgebaut (wie unterschiedliche Schnittstellen, mangelnde Kooperationsbereitschaft u. a.). Durch einheitliche Lieferungen wird ein wesentlich höherer Konsolidierungsgrad möglich.	Durch den Hub-and-Spoke-Ansatz können auf der letzten Meile alternative Verkehrsträger eingesetzt werden. Der Transport zwischen GVZ und City-Hub geschieht unterirdisch mit einer elektrisch angetriebenen Kapsel.	Durch die Echtzeit-Überwachung und Standardisierung von Hardware wie Software können wesentliche Einsparungen in Auslastung und Steuerung erzielt werden. Lieferwege können kürzer gehalten werden.

Abbildung 74: Potenzial der Logistik: Bewertung der Wirkung von Untergrundlogistik. Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund der hohen Potenziale zur Vermeidung, Verlagerung und Verbesserung von Verkehren durch Logistik im Untergrund, stellen sich auch die möglichen Effekte auf die externen Effekte positiv dar. Lediglich beim Flächenanspruch sind durch die notwendigen Entnahmestellen keine optimalen Ergebnisse zu erwarten.

	Unfälle	Luft	Lärm	Staus	Ladezone	Flächen	Auslastung
Untergrundlogistik	++	++	++	++	++	+	++

Abbildung 75: Bewertung der möglichen Effekte der Untergrundlogistik auf die negativen Effekte der Logistik. Quelle: Eigene Darstellung

4.3.3. TABELLARISCHE ÜBERSICHT DER UNTERSCHIEDLICHEN TRANSPORTMODI

Folgend werden die verschiedenen diskutierten Transportmodi miteinander verglichen. Dies geschieht aufbauend auf ihren Einsatzmöglichkeiten und hinsichtlich der gewünschten Effekte der Verkehrsvermeidung, -verlagerung und -verbesserung.



Abbildung 76: Bis zu 23% der städtischen Waren können mit Lastenrädern geliefert werden. Aber wer liefert die Lastenräder? Quelle: Gruber & Rudolph 2016, S. 48, Foto: Hermes 2019

	Vorteile	Herausforderungen	Mögliche Logistikarten	Fazit
Gehsteig-Bots	Kleine Lieferungen können lokal zeitnah erledigt werden. Unabhängig vom Straßenverkehr.	Limitierter Platz auf Gehsteigen. Technologische Reife noch nicht erreicht.	Vor allem KEP, bzw. Stückgut mit geringem Gewicht und geringer Größe (z.B. Einkäufe, Lebensmittel).	Für Last-Meter-Lieferungen praktikabel, können durch große Nutzungskonflikte auf Gehsteigen wohl nicht flächendeckend eingesetzt werden.
Zustellroboter	Lieferungen können bedarfsgerechter erfolgen.	Potenzielle Erhöhung der Fahrzeuge im Straßenverkehr. Technologische Reife noch nicht erreicht.	Vor allem KEP, vereinzelt bis zu palettierbaren Gütern, je nach Größe.	Durch verschiedene Größen kann die Auslastung optimiert werden. Einige Anwendungsfälle.
Lastenräder	Emissionsarmer Transport auf der letzten Meile. Teilweise unabhängig vom Straßenverkehr.	Weniger Fassungsvermögen als ein Lieferwagen. Einsatz nur auf kurzen Strecken flächendeckend möglich.	Vor allem Stückgut, es können aber auch Paletten und sogar Bauschutt transportiert werden.	Sinnvoll als Ergänzung im Last-Mile-Verkehr, hier auch mit viel Potenzial.
Drohnen	Kleine Lieferungen können lokal zeitnah erledigt werden. Unabhängig vom Straßenverkehr.	Wetterabhängig. Technologische Reife noch nicht erreicht. Nur leichte Fracht möglich.	Vor allem KEP, bzw. Stückgut mit geringem Gewicht und geringer Größe (z.B. Einkäufe, Lebensmittel).	Drohnen eignen sich für bestimmte, urgente Lieferungen. Der flächendeckende Einsatz im urbanen Raum ist jedoch fraglich.
Lieferwagenbasierte Logistik	Effizientere Alternative zu Lieferwagen. Mehrere gleichzeitige Lieferungen möglich. Unterstützt den Einsatz von Drohnen und Gehsteig-Bots.	Trägt zur Verkehrsbelastung auf der Straße bei. Technologische Reife noch nicht erreicht.	Stückgut, KEP-Güter, palettierbare Güter.	Eine Weiterentwicklung zum herkömmlichen Lieferwagen, der negative Wirkungen der Logistik nur teilweise entschärft. Nur möglich bei hohen Fortschritten in der Automatisierungstechnik. Mögliche Anwendung im sub-urbanen Raum.
Untergrundlogistik	Stark verringerte lokale Emissionen. Unabhängig von Wetter, Staus und Tageszeit. Andere Infrastruktur kann gleichzeitig verbessert werden.	Flächendeckende Versorgung ist kostspielig. Großer politischer Wille erforderlich.	Stückgut, KEP-Güter, palettierbare Güter, in Einzelfällen auch Schüttgut.	Neben den herkömmlichen, straßengebundenen Logistikformen kann Untergrundlogistik viele Aufgaben übernehmen und Straßen entlasten.

Abbildung 77: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile sowie der Eignung verschiedener Transportmodi unter der Prämisse eines nachhaltigen Gesamtsystems. Quelle: Eigene Darstellung

4.3.4. UNTERGRUNDLOGISTIK ALS ERGÄNZUNG ZUR HERKÖMMLICHEN CITY-LOGISTIK

Seit Jahrzehnten versuchen Städte durch City-Logistik-Projekte und andere Maßnahmen, die negativen Effekte der Logistik zu minimieren und erzielen dabei aufwändige Teilerfolge, die oftmals schnell von den laufenden Entwicklungen kannibalisiert werden. Im individuell nutzbaren System Straße ist eine Neuorganisation der städtischen Güterströme und eine Kontrolle der öffentlichen Hand nicht einfach herzustellen. Konzepte zur City-Logistik sind dadurch entweder durch hohe Kosten oder durch mangelnde Kooperation bzw. Anreize wenig effektiv (vgl. BMVBS 2010, S. 59–60).

Durch City-Logistik-Projekte können Reduktionen in den negativen Wirkungen (etwa Emissionsreduktionen von bis zu 40%) erzielt werden (vgl. Lierow 2012, S. 7). Das Erreichen dieses Werts ist jedoch mit einigen Hürden verbunden, da solcherlei Projekte oft nicht, nur kurzfristig, oder lediglich (räumlich) partiell von Erfolg gekrönt sind. Aufgrund des anhaltenden Verkehrswachstums (für den Raum Wien ist bis 2030 ein Wachstum des Güterverkehrs von 23% gegenüber 2013 prognostiziert, vgl. Aspalter et al. 2015, S. 10) und Trends wie der Atomisierung von Lieferung durch E-Commerce muss auch bei funktionierenden City-Logistik-Projekten von anhaltenden Problemstellungen ausgegangen werden. Eine unmittel- wie mittelbare Verbesserung der logistikinhärenten und -induzierten Probleme zeichnet sich nicht ab. An der verkehrlichen Belastung würde sich also aufgrund der steigenden Verkehrszahlen nur wenig ändern. Die Maßnahmen, Trends und Entwicklungen versprechen zwar partikular Verbesserungen,

- stehen aber entweder im Widerspruch miteinander (z.B. Aufhebung von Nachtfahrverboten und Ziele zur Verringerung von Lärmemissionen)
- sind zeitlich nicht naheliegend umzusetzen (wie telematisch einheitliche Schnittstellen oder eine Flottenmodernisierung auf alternative Antriebe),
- müssen jedes Mal (oder meistens) aufwändig und neu konzipiert werden und sind damit nur partikular praktikabel,
- und funktionieren nur durch eine starke Prozessbegleitung wie Finanzierung durch die öffentliche Hand und sind nicht auf langfristigen, selbst tragenden Erfolg ausgerichtet.

Gemäß dem Prinzip des Vermeidens, Verlagerns und Verbesserns (drei V der Verkehrsplanung, vgl. Heinfellner et al. 2019, S. 71) lässt sich feststellen, dass auf der bestehenden Infrastruktur Straße zwar für alle drei V Maßnahmen existieren und ausgearbeitet werden können, dass diese jedoch oft nicht ineinandergreifen und mit hohen Aufwänden verbunden sind. So entstehen:

- gegenläufige Effekte (z.B. die Einführung von Gehsteig-Bots und die Ziele einer lebenswerten, inklusiven Stadt mitsamt einer Attraktivierung sanfter Mobilitätsformen),
- zeitlich oder politisch nicht in naher Zukunft umsetzbare Ziele (etwa die Einführung einheitlicher Telematik),
- sehr kostenintensive Maßnahmen (etwa Bau und Betrieb von Hubs) bei keinen oder wenigen Anpassungen im Gesamtsystem (und dadurch bestehen weiter Unsicherheiten).

Ein neues System, das emissionsfreie Last-Mile-Zustellungen mittels Lastenräder, E-Vans und zu Fuß ermöglicht, indem es ein dichtes Netzwerk an Mikro-Hubs mit den Güterumschlagszentren am Stadtrand verbindet – und so durch die Anlieferung im Untergrund

Kilometer in der Stadt einspart –, erscheint folglich als eine theoretisch vielversprechende Lösung. Dieses kann den Rahmen für organisatorische wie stadträumliche und technische Maßnahmen bilden.

Innerhalb des U-Systems	Organisatorisch	Stadträumlich	Technologisch
Vermeiden	Lizenzierungen für Hubs erhöhen die Auslastung.	Logistik-POIs werden angebunden, Hubs werden errichtet.	Echtzeit-Tracking verringert Wartezeiten und erhöht Auslastung. Standardisierte Buchungssysteme ermöglichen höhere Auslastung.
Verlagern	Lizenzierungen/Aus-schreibungskriterien fördern alternative Verkehrsträger.	Logistikströme werden in den Untergrund verlagert. Kürzere Routen (durch Hubs) ermöglichen alternative Verkehrsträger.	Echtzeit-Daten ermöglichen präzisere Auswahl von passenden Verkehrsträgern.
Verbessern	Umstieg auf Elektrofahrzeuge.	Waren können in „Aus-buchungen“ im Untergrund temporär zwischengelagert werden. Errichtung von E-Ladezonen an den Hubs.	Verkehrsleitsysteme in Abstimmung zu den Entnahmestellen. Automatisierung kann in geschlossener Umgebung besser umgesetzt werden.

Abbildung 78: Einordnung von Zielen in Maßnahmen- und Wirkungskategorien. Quelle: Eigene Darstellung

4.3.5. PROJEKTIONEN EINER ZUKÜNFTIGEN LOGISTIK

Angesichts des sich abzeichnenden kontinuierlichen Wachstums von Verkehr, E-Commerce und des Handlungsdrucks durch den Klimawandel, durch die sich steigernden Anwendungsmöglichkeiten von Potenzialen aus Digitalisierung, Automatisierung, neuer Antriebe, durch die fortschreitende Entwicklung hin zu einem Physical Internet, zum Bau von Sammel- und Verteilzentren und einer zunehmenden Verlagerung auf alternative Verkehrsmodi und der Instrumente der City-Logistik lassen sich mögliche Entwicklungspfade skizzieren und hinsichtlich ihrer Verbesserungspotenziale bewerten. Es ergeben sich fünf Projektionen einer möglichen Zukunft, die aufeinander aufbauend den Zusammenhang zwischen Maßnahmen der City-Logistik und externen Wirkungen beschreiben.

A. Business as usual:

Der Logistics Sprawl setzt sich fort, Transporte werden nach wie vor per Lkw und Lieferwagen getätigt. Durch modernere Fahrzeuge verringern sich die Emissionen, teilweise ermöglichen neue Technologien Verbesserung in Kooperation, Auslastung und Routenplanung, an der Gesamtsituation ändert sich allerdings wenig. Die Verbesserungen werden außerdem von einem stetigen Anstieg der Verkehrsmenge konterkariert.

B. Piloten werden verstärkt in Maßnahmen überführt:

Mit hohem partikularem Aufwand werden einzelne Pilotprojekte und Living-Labs zur Stadtlogistik umgesetzt. Teilweise wird bei der Entwicklung neuer Stadtteile die Güterversorgung mitgedacht, so entstehen einzelne Projekte zur Belieferung von Vierteln mit Lastenrädern. Eine projektgebundene Offenheit für innovative Lösungen führt zu einer teilweisen

Verkehrsvermeidung und -verlagerung. Auch Effizienzverbesserungen in bestimmten Räumen oder Teilbereichen der Logistik sind denkbar. Der Transport von Gütern in die Stadt wird weiterhin mit teilweise geringen Auslastungen und per Lkw absolviert.

C. Hubs am Stadtrand bündeln Lieferungen:

Durch den stärkeren Fokus auf die Errichtung von White-Label-Hubs im Stadt-Umland können Güter besser gebündelt, und durch die fortschreitende Digitalisierung die Ankunftszeiten besser geplant werden. Das führt zu deutlich verbesserten Effekten in der Auslastung und Routenplanung. An Hauptverkehrsadern bzw. auf Einfahrtsstraßen bleibt die Verkehrsbelastung hoch, wovon Transitbezirke besonders betroffen sind.

D. Hubs am Stadtrand bündeln Lieferungen, City-Hubs werden errichtet:

Neben den Güterverteilzentren am Stadtrand werden auch zunehmend Midi- und Mikro-Hubs in der Stadt realisiert. Das macht eine deutliche Verlagerung auf elektrisch betriebene Lieferwagen und Lkw in der Anlieferung möglich, deren Routen werden optimiert. Projekte zur Belieferung der Last Mile mit alternativen Transportmodi können nun leichter umgesetzt werden. Ein Großteil des Transports findet dennoch auf der Straße statt.

E. Ein neues unterirdisches Transportsystem verbindet die Hubs:

Ein unterirdisches Logistiksystem verbindet die Güterverkehrszentren am Stadtrand mit den Hubs in der Stadt und weiteren logistikintensiven Standorten. Damit entfallen große Teile der Anliefer- und Binnenverkehre auf der Straße und werden in ihrer Fahrleistung reduziert. Durch die bessere Planbarkeit in der Belieferung wird auch der Transport auf der letzten Meile mit alternativen Verkehrsmitteln effizienter, da der Anteil an erfolgreichen Anlieferungen erhöht werden kann.

	A	B	C	D	E
Unfälle	--	+	+	+	++
Luft	--	~	~	++	++
Lärm	--	~	~	++	++
Stau/Verkehrsbelastung	--	-	~	~	+
Ladezone	--	~	~	+	+
Flächenverbrauch	--	-	-	~	++
Auslastung	--	-	+	+	++

Abbildung 79: Wirkungsbewertung der Projektionen zur Zukunft der City-Logistik. Quelle: Eigene Darstellung

Es kann also lohnen, einen Schritt weiterzudenken. In den folgenden Ausführungen wird untersucht, inwiefern eine neuartige Infrastruktur im Untergrund als Katalysator und Inkubator für die Umsetzung von Lösungsansätzen in der City-Logistik dienen kann. Dadurch kann das Problem der Vielfalt an Zielen und Logistikanbietern gesamtsystemisch verbessert werden.



1



2



3



4



5

Die approbierte germanisierte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abbildung 80: Neue Möglichkeiten in der Last-Lieferung zeichnen sich ab. Können deren positive Effekte durch unterirdische Logistik verstärkt werden? Quelle: 1: Hermes 2017; 2: Potter 2019; 3: © Flystock, Shutterstock; 4: Eigenes Foto; 5: EPG 2018

5. STÄDTISCHE LOGISTIK IM UNTERGRUND ALS INKUBATOR FÜR GANZHEITLICHE LÖSUNGSANSÄTZE

Edith aus Edward Bellamys Werk „Looking Backward“ beschreibt schon 1888 mit Begeisterung die Neuerungen des Gütertransports, die Rohrpost und verbesserte Kommunikationssysteme:

„The system is certainly perfect; for example, over yonder in that sort of cage is the dispatching clerk. The orders, as they are taken by the different departments in the store, are sent by transmitters to him. His assistants sort them and enclose each class in a carrier-box by itself. The dispatching clerk has a dozen pneumatic transmitters before him answering to the general classes of goods, each communicating with the corresponding department at the warehouse. He drops the box of orders into the tube it calls for, and in a few moments later it drops on the proper desk in the warehouse, together with all the orders of the same sort from the other sample stores. The orders are read off, recorded, and sent to be filled, like lightning“ (Bellamy 1888, S. 34).

5.1. ARTEN VON LOGISTIKINFRASTRUKTUREN IM UNTERGRUND

Es wird also ersichtlich, dass durch die Komplexität von Städten, die Unterschiedlichkeit von Transporten und Transportarten und die vielfältigen Wechselwirkungen mit der Stadt logistikbedingte Herausforderungen nicht automatisch durch neue Technologien, Fahrzeuge oder Teilkonzepte gelöst werden können. Ein seit langem diskutierter – und in einigen Projekten erprobter – Lösungsansatz ist daher die Verlagerung von Logistikströmen in den Untergrund, beziehungsweise in Tunnel und Leitungen (ULS³⁴). Eine Studie für Tokio errechnet beispielsweise, dass bei der Errichtung einer 300 km langen Tunnelstrecke mit 150 Depots/Ladestellen 30% des städtischen Güterverkehrs ersetzt werden können. Hierdurch ergäben sich auch verringerter Energiekonsum (-18%), Stickstoffoxidemissionen (-10%) und CO₂-Emissionen (-18%, (siehe S. 79).

Im Modal Split (siehe S. 17) wird ersichtlich, dass diese Art des Transports für Öl und Gas, weiters in Städten im Bereich der (Ab-)Wasserversorgung, bereits ein durchwegs erprobter Modus ist. Dies stellt sich allerdings lediglich für bestimmte, eng abgegrenzte Gütertypen dar. Somit ist ein mehrere Gütergruppen umfassender Transport im Untergrund bisher für Städte keine wirkliche Alternative zum Transport auf der Straße. Städte, Forschung und Wirtschaft sehen allerdings in der Verlagerung der Logistik in den Untergrund viele Potenziale, Probleme der Logistik in der Stadt zu beheben (vgl. Milinković & Pantelić 2015, S. 316–317). Sie setzen daher schon seit dem 18. Jahrhundert (siehe S. 95) in Einzelprojekten auf die Verlagerung von Gütertransport in den Untergrund. Dabei stehen vor allem folgende Ziele im Vordergrund:

- Einsparung von gütertransportbezogenen Flächen (für Transport, aber auch für Lagerung und Kommissionierung) an der Oberfläche,
- Erhöhung der Effizienz des Güterverkehrs (bessere Bündelung möglich, keine Abhängigkeit von Staus),
- Reduktion von Staus (wirkt positiv auf andere Verkehre, Branchen und Stadtentwicklungsziele),

34 ULS steht in der Literatur für Underground Logistics System.

- Höhere Zuverlässigkeit und geringere Vulnerabilität von Lieferungen (bessere Planbarkeit von Ankunftszeiten),
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (sicherere Transportumgebung, weniger Verkehr auf der Straße),
- Verringerung von Emissionen, Erhöhung der Lebensqualität (aus Sicht der Stadt) (vgl. Chenglin et al. 2014, S. 7).

Jeweilige Ausprägungen, Potenziale und Ziele variieren oder sind je nach Einsatzort und transportierten Gütern differenziert. Diese Orte sind

- a. Städte: Hier werden vor allem Postämter, der Handel und Büros beliefert. Der Fokus in der Tunnelinfrastruktur liegt auf der Ermöglichung von KEP- und Palettentransporten. Hierfür gibt es historisch ein paar Beispiele (Zürich, London, Rohrpost).
- b. In oder zwischen Betriebsgeländen bzw. Industrie- und Logistikkomplexen: Güter sollen hier platzsparend in oder zwischen bestimmten Arealen mit sehr hohem Logistikaufkommen transportiert werden. Konzepte und Projekte gibt es hierzu in mehreren Städten (etwa in Schiphol, Singapur, Shanghai und Antwerpen).
- c. Interregional: Produkte, vor allem Masegüter aus der Agrar-, Berg- und Abfallwirtschaft werden mit eigenen „Transportkapseln“ befördert. Umgesetzte Projekte finden sich in Japan, den USA und Russland.
- d. Überregionale Anbindung von Logistikhubs an das Hinterland: Hier sollen vor allem Containertransporte auf langen Strecken in den Untergrund verlagert werden. Hierzu gibt es keine nennenswerten umgesetzten Projekte (vgl. Visser 2018, S. 125).

Gemein ist ihnen die Möglichkeit zur – und häufig auch schon umgesetzten – Elektrifizierung und Automatisierung der Transporte. Aufgrund der einheitlichen Infrastruktur ergeben sich auch durch die fortschreitende Digitalisierung viele Möglichkeiten zur Entfaltung der Potenziale. Bisher wurden allerdings, abgesehen von einigen Tests und Machbarkeitsstudien, wenige Systeme umgesetzt (vgl. Visser 2018, S. 124).

ULS unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihres Einsatzortes, sondern auch bezüglich ihrer Eignung für jeweilige Behälter. Ausschlaggebend ist hier vor allem der Durchmesser. Visser unterscheidet drei Arten von Typen:

- **Stückgut-Systeme:** Der Durchmesser dieser Systeme übersteigt selten die 1,5 Meter und transportiert vor allem Pakete, Post und kleinere Ladungen. Für Reparaturen ist ein solches System schwer zugänglich. Es eignet sich im Speziellen für kleinräumige Verteilungen und kann viele Ziele ansteuern. Auch eine Verlagerung von Paletten oder Rollcontainertransporten bzw. eine Atomisierung der Sendungsgrößen ist bei einer gleichzeitigen Etablierung eines durchgängigeren Just-in-time-Ansatzes denkbar. Somit sind die Systeme vor allem auf der letzten Meile bzw. in einer räumlichen Mikro-Ebene tauglich – gleichzeitig aber auch für eine Belieferung der Nachfrager von Palettengütern wie z.B. dem Handel.
- **Paletten-Systeme:** Der Durchmesser solcher Systeme liegt bei ca. 2 bis 3 Metern. Damit können Paletten oder Rollcontainer befördert werden. Somit ergibt sich ein optimaler Einsatzbereich in der Belieferung des Handels oder etwa der Gastronomie. Durch die geringere Anzahl an Zielen eignet dieses System für einen Einsatz in der räumlichen Meso-

Ebene. Damit – auch hinsichtlich der in Frage kommenden Güterarten – stellt dieses System einen geeigneten Kompromiss zwischen den beiden anderen dar.

- **Container-Systeme:** Der Durchmesser dieser Systeme kann die 5 Meter übersteigen. Sie eignen sich somit für den Transport der meisten Waren, unter anderem auch für Container. Durch die großen Durchmesser ist dieses System in der Errichtung deutlich kostspieliger als die anderen, weist aber auch die wenigsten möglichen Ziele auf und dient eher der Verbindung großer Logistik-POIs – der Fokus liegt auf einer räumlichen Makro-Ebene (vgl. Visser 2018, S. 125).

Es werden drei Arten von ULS identifiziert: Teil des Metrosystems, Pipeline und Vehikeltunnel (vgl. Chenglin et al. 2014, S. 7–9). Weiters können auch noch Förderbänder als mögliche Art des unterirdischen Warentransports in Betracht gezogen werden – diese jedoch lediglich als Supplement (vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 4–6).

5.1.1. URBANES METROSYSTEM

Ein mögliches Konzept für den Gütertransport im Untergrund ist die Nutzung der U-Bahnen. Diese sollen einem dualen Nutzen zugeführt werden und Menschen sowie Güter transportieren (vgl. Milinković & Pantelić 2015, S. 317). Die letzte Zustellung zum Endkunden erfolgt wie gehabt über die Straße. Dies würde alternative Lieferkonzepte im Umfeld der U-Bahnstationen zulassen. Abbildung 81 zeigt den theoretischen Einzugsbereich bei in der Literatur genannten 800 Metern Radius – analog zu einem Projekt von UPS in München (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 2).

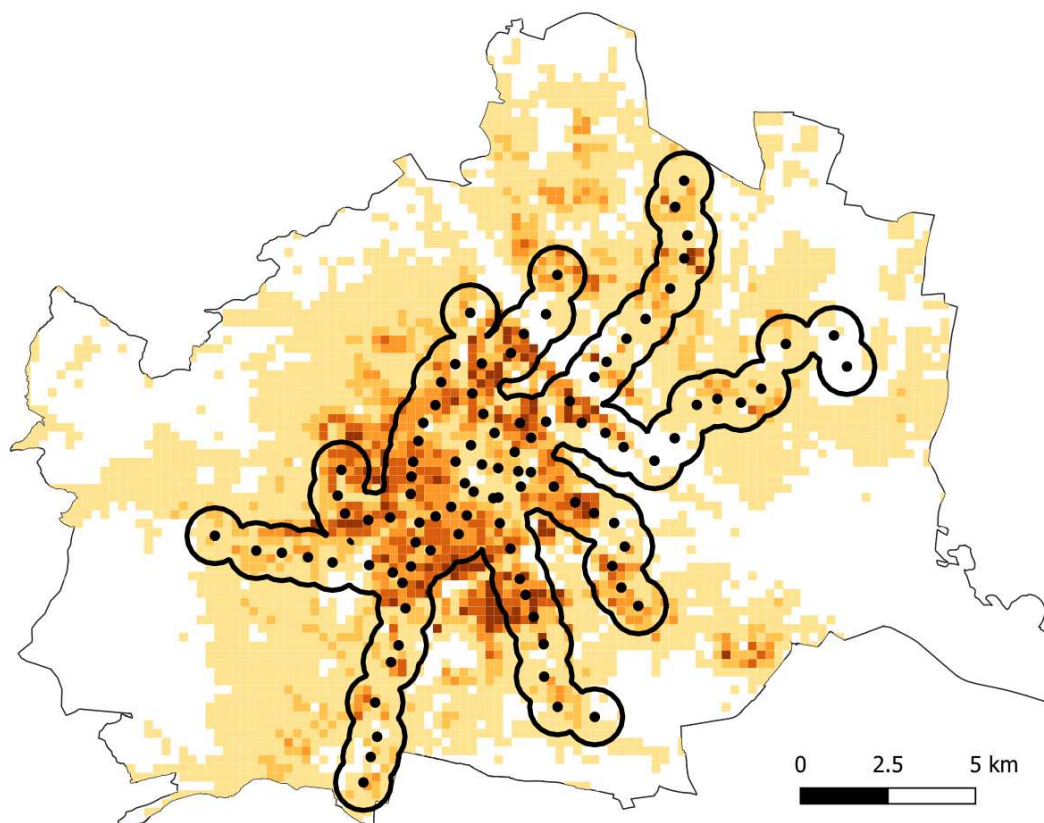


Abbildung 81: Einzugsbereich der Wiener U-Bahnstationen auf einer Darstellung der Bevölkerungsdichte. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria 2012 & Stadt Wien 2020b.

Die Verlagerung von Güterströmen in das U-Bahnnetz hat sich jedoch nicht durchgesetzt. Allein in Moskau werden Teilsegmente des Güterverkehrs auf die U-Bahn verlagert. Hier können Kunden Expresssendungen am Schalter des Betreibers aufgeben. Diese Sendungen werden innerhalb eines Tages innerhalb Moskaus und zu anderen ausgewählten Städten an ihr Ziel transportiert (vgl. Bundesverband E-Commerce und Versandhandel Deutschland e. V. 2019, S. 132). Für eine konzentrierte Verteilung bestimmter Güter kann sich dieses System also eignen, im Maßstab der in einer Stadt anfallenden Güterströme stellt sich das Verlagerungspotenzial jedoch äußerst gering dar. Umschlagzeiten (die mehr Zeit in Anspruch nehmen als Personen ein- und aussteigen), Kapazitätsengpässe (da U-Bahnnetze oft schon nah an ihrem Fassungsvermögen operieren) und infrastrukturelle Gegebenheiten (etwa bezüglich der Art der Ent- und Beladung) verhindern einen erfolgreichen, flächendeckenden Einsatz. Ebenso ist die Nutzung der Metrolinien in der Nacht aufgrund der zu dieser Zeit erfolgenden Wartungsarbeiten keine wirkliche Alternative. Auch wenn aufgrund des Tunnel diameters von einer grundsätzlichen Eignung für zumindest Paletten ausgegangen werden kann (je nach U-Bahntyp bestünde eine Eignung auch für Container), führen die realen Umstände höchstens zu einer Eignung für Teilsegmente von Stückgutlieferungen.

5.1.2. PIPELINE: ZENTRALER ANTRIEB

Ein anderer Lösungsansatz ist der unterirdische Transport in Pipelines. Meist werden darin heute Güter wie Öl, Gas und (Ab)Wasser transportiert, wodurch Pipelines bezüglich der möglichen Güterarten beschränkt sind. Aber Pipelines bieten, vor allem im historischen Kontext, noch weitere Anwendungsmöglichkeiten. Rohrpostsysteme wurden im 19. und 20. Jahrhundert in vielen Städten der Welt umgesetzt oder konzipiert. Während diese heute vor allem innerbetrieblich (etwa in Krankenhäusern) eingesetzt werden, wurden im letzten und vorletzten Jahrhundert Rohrpostsysteme über die ganze Stadt realisiert.

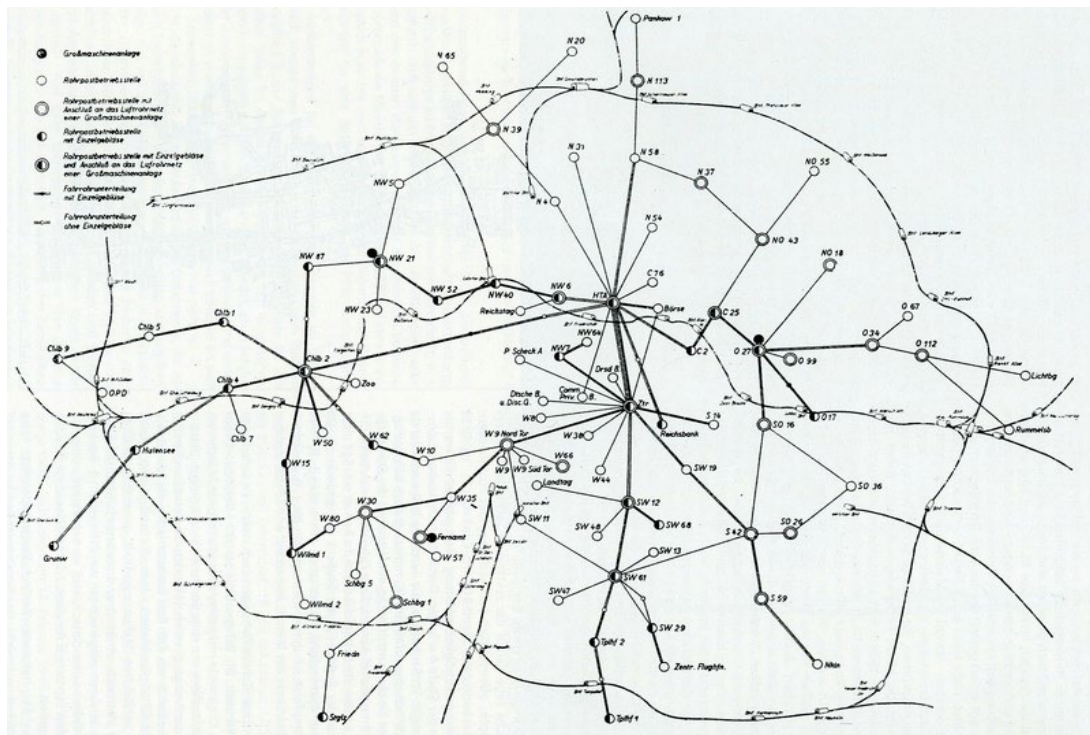


Abbildung 82: Ausdehnung des Berliner Rohrpostnetzes im Jahr 1933 (bezogen auf den innerstädtischen S-Bahn-Ring). Quelle: Arnold 2020

1853 wurde in London der erste Teil eines Rohrpostsystems für Telegramme in Betrieb genommen, welches bis 1909 auf 64 km Länge anwuchs (vgl. Visser 2018, S. 124). In Wien gab es Pläne, den 1874 gerade eröffneten Zentralfriedhof mittels eines solchen pneumati-

schen Systems mit der Stadt Wien zu verbinden, da durch Staus Leichentransporte oftmals lange und offen sichtbar auf den Straßen Wiens vorgenommen wurden. Sogar eine Stadt, die dem Tod laut gängiger Einschätzung so zugeneigt ist wie Wien, wollte diese Transporte also nicht sicht- und auch riechbar an der Oberfläche haben³⁵. Die hohen Kosten verhinderten letztlich einen Bau (vgl. ORF 2014). Auch in Berlin (vgl. Arnold 2020) oder Hamburg (vgl. Rehrmann 2014) wurden Rohrpostsysteme umgesetzt.

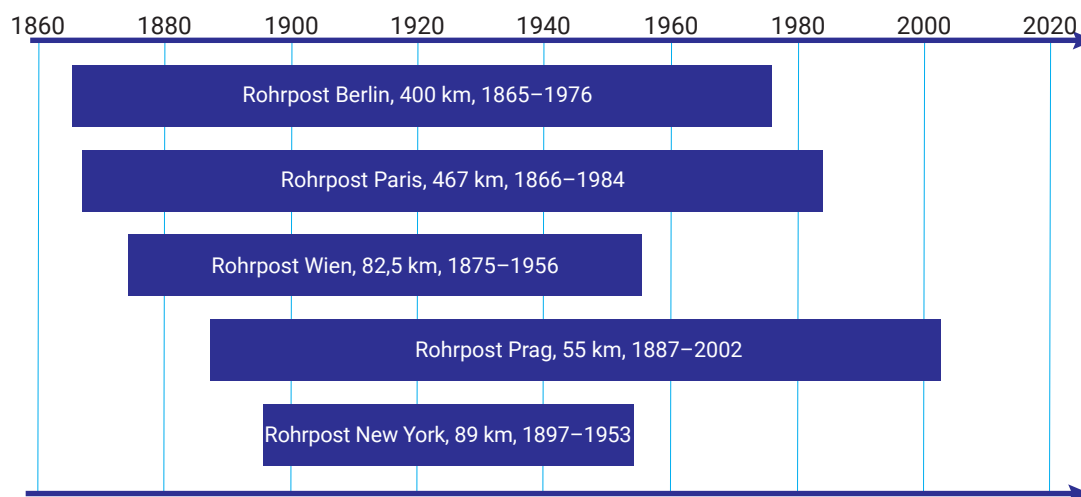


Abbildung 83: Darstellung der Betriebszeiten einiger Rohrpostsysteme. Quelle: Eigene Darstellung nach Sun & Wang 2011, S. 16. Ergänzt durch Cohen 1999, S. 4 und Prachensky o.J.

Während diese Rohrpostsysteme vor allem pneumatisch angetrieben werden, sind auch hydraulische oder elektromagnetische Antriebe möglich (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 68–70). Auch hinsichtlich der Diameter, und damit auch der Anwendungsmöglichkeiten, existiert eine Breite an Anwendungen. Rohrpostsysteme müssen dabei nicht auf den Transport kleiner (vorwiegend postalischer) Güter beschränkt sein. Der Transport von Gütern kann – je nach Pipelinediameter – in verschiedenen großen Kapseln erfolgen, was dieses System für die meisten relevanten (urbanen) Transportgüter tauglich macht. Mit Diametern von bis zu einem Meter konnten so auch schwere Massegüter wie Steine und Aushub transportiert werden. Vor allem die damalige UdSSR schuf mit dem „Transprogress“ ein bis heute in mehreren Städten im kommerziellen Einsatz befindliches System, aber auch aus Japan und den USA gibt es erfolgreiche Anwendungen (vgl. Visser 2018, S. 125; vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 68).

Die ausschließlich für eine singuläre Nutzung ausgelegte Infrastruktur, der Fokus auf wenige, bestimmte Gütergruppen und die hohen Errichtungs- und Wartungskosten haben einen flächendeckenden Erfolg dieses Modells bisher verhindert³⁶. Hohe Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie das nicht – wie prognostiziert – gestiegene Sendungsvolumen machten einen Betrieb (vor allem der Rohrpost) letztlich unwirtschaftlich (vgl. Rehrmann 2014; vgl. Chenglin et al. 2014, S. 11). Dennoch werden weiterhin solche Systeme entwickelt und angedacht (weniger jedoch tatsächlich gebaut). Dabei wird vor allem auf die Möglichkeit der Integration größerer Gütergruppen wie Paletten und Schüttgut fokussiert (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 69). Durch weitere technologische Fortschritte (etwa in der Automatisierung und Digitalisierung) verringern sich ökonomische Hürden (vgl. Levinson & Zou 2005, S. 232). Aktuell erfährt diese Technologie durch den Hyperloop, ein unter anderem von Elon Musk vorangetriebenes Projekt für Hochgeschwindigkeitsmobilität in Vakuumröhren, eine kleine Renaissance bzw. einen weiteren Schub.

³⁵ Nachdem die Pläne für eine Rohrpost ad acta gelegt worden waren, wurde eine eigene Straßenbahnlinie errichtet. Somit wurden Verstorbene mit einem weiteren, heute immer noch diskutierten Verkehrsmittel zum Güterverkehr transportiert (vgl. Tögel 2019, S. 3).

³⁶ Ein ähnliches System, die „atmospheric railway“, welche eine Kabine mit Passagieren mittels eines luftdruckbetriebenen Rohrsystems fortbewegte, scheiterte unter anderem an einer massiven Rattenpopulation in den unterirdischen Röhren (vgl. Geuss 2017).

5.1.3. TUNNEL: INDIVIDUELLER ANTRIEB

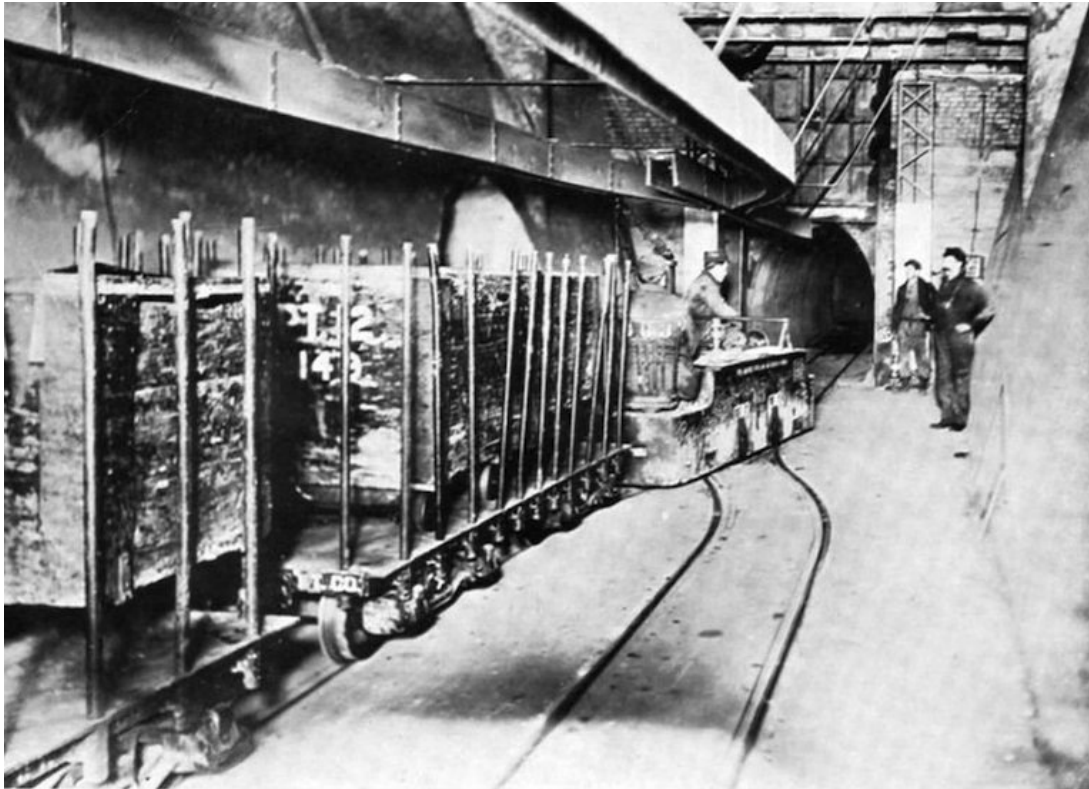


Abbildung 84: Ein Untertunnel für kleine Güterzüge in Chicago im Jahr 1912. Quelle: Marshall Fields 1912

Im Gegensatz zu Rohrpost- bzw. pneumatisch betriebenen Systemen werden in Tunneln keine fremd angetriebenen, sondern individuell angetriebene Kapseln eingesetzt. Dies kann etwa mittels Reifen oder mittels Schiene erfolgen. Der Antrieb der Verkehrsträger in diesen Systemen erfolgte schon im frühen System in Chicago elektrisch (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 67) und heute hauptsächlich über Induktionsbänder, Fahrleitungen und Stromabnehmer sowie Batterien in den Fahrzeugen selbst. Durch die abgeschlossenen Tunnelsysteme (Exklusion externer Einflussfaktoren) kann der Transport hier leichter autonom erfolgen, weshalb auch frühe Vertreter dieser Kategorie schon teilweise fahrerlos auskamen (wie etwa die Mail Rail in London seit den 1930er Jahren, vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 8). Im Vergleich zu Pipeline-basierten Systemen können mittels Tunnel – etwa durch größere Durchmesser und nicht-pneumatische Antriebsarten – größere Gütermengen, höhere Gewichte und mehrere Gütergruppen transportiert werden. Damit eignet sich der Einsatz dieses Systems grundsätzlich für verschiedene Teilräume, in denen größere Gütermengen anfallen, unter anderem auch in/unter Städten.

Die Abnützung des Materials und der Infrastruktur ist im Vergleich zu herkömmlichen Pipelinesystemen geringer, auch die technischen Voraussetzungen sind einfacher zu erfüllen. Dies auch, weil die Steuerung freier erfolgt und nicht durch die Pipelinewand direkt geleitet wird (vgl. Chenglin et al. 2014, S. 8). So sind große Projekte der Verlagerung von Güterverkehr in den Untergrund in dieser Kategorie anzufinden. Dabei greifen diese aber durchaus Elemente der herkömmlichen Pipelines bzw. Rohrpost auf, was etwa die Art des Tunnels oder der Transportkapsel betrifft – wie etwa CargoCap (siehe S. 101). Aufgrund der Eignung für eine bedeutende Verlagerung des innerstädtischen Güterverkehrs in den Untergrund wird im Fortlauf der Arbeit auf dieses System referenziert.

5.1.4. TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG UNTERSCHIEDLICHER MODI DER UNTERIRDISCHEN LOGISTIK

Aufgrund der Flexibilität und der vielen unterschiedlichen Ziele und Routen sind in Städten (u.a. selbstfahrende) Fahrzeuge/Kapseln in Tunnelsystemen, die im System frei gesteuert werden können, zu präferieren (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 79–81). Die anderen Transportarten eignen sich mehr zum Warentransport in bestimmten Arealen (Förderbänder) oder nur für bestimmte Gütergruppen (Rohrpost, Metro) und können somit in einem intermodalen urbanen Logistiknetzwerk keine tragende Rolle spielen. Kapselgebundene Systeme weisen dieses Potenzial allerdings auf. Durch die Größe der Kapseln (Paletten oder Containertauglichkeit) und systemintern flexible Routen- und Zielauswahl (u.a. durch den eigenen Antrieb) wird dies möglich. Deshalb wird dieses System im Folgenden näher beleuchtet.

	Kapazität/ Wirkung	Güterarten	Vorteile	Nachteile
Förderbänder	Sehr gering	v.a. Stück- und Schüttgut	Leicht adaptierbar, schon bei geringen Systemgrößen möglich	Eignung nur für wenige Güterarten und auf kurzen Strecken
Klassische Rohrpost	Gering	kleine KEP-Güter	Erprobte Technologie, vor allem innerbetrieblich	Hohe Kosten durch geringe Bandbreite an möglichen Gütern
Metro	Gering	v.a. kleines Stückgut	Einbindung in ein bereits bestehendes Netz	Eignung nur für einen kleinen Prozentsatz des Gütervolumens
Pipeline: Zentraler Antrieb	Mittel	Flüssiggut, Schüttgut, Stückgut, KEP-Güter	Geringe Diameter	Wenige Entnahmestellen, schnellere Abnutzung
Tunnel: Individueller Antrieb	Mittel/hoch	KEP-Güter, Schüttgut, Stückgut, Paletten, Container	Flexibel, viele Ziele, Routen und Güterarten möglich	Errichtung durch größere Diameter und Netzstruktur kostspielig

Abbildung 85: Eignung, Vor- und Nachteile von verschiedenen Untergrundlogistiksystemen. Quelle: Eigene Darstellung. Zu Kapazitäten vgl. Rijsenbrij et al. 2006.

5.2. DESKRIPTIV-ANALYTISCHER VERGLEICH VON FALLBEISPIELEN

Bisher wurde in dieser Arbeit immer wieder auf historische Beispiele der Verlagerung von Transporten in den Untergrund referenziert. So haben Städte seit dem 18. Jahrhundert auf logistische wie verkehrlich-bedingte Herausforderungen durchaus auch mit dem Versuch reagiert, logistische Operationen in den Untergrund zu verlegen. Ein Blick auf die vordergründig sehr positiven Wirkungen in Bezug auf Verkehrsentlastung, Emissionseinsparung und Verbesserung des Verkehrsflusses lässt ein solches System attraktiv erscheinen. Ein Blick auf bisherige Projekte und Studien zeigt jedoch, dass nur wenige Projekte tatsächlich umgesetzt wurden oder vor allem noch bis heute bestehen. Ein Blick in die Vergangenheit lohnt also, um Herausforderungen damals wie heute zu identifizieren und Kriterien für ein erfolgreiches unterirdisches Logistiksystem zu erstellen.

Ausgewählte Projekte	Ort	Raum	Zeit	Status	Transportart	Transportierte Güter
Chicago Tunnel Company	Chicago	Verbindung von (Waren-)Häusern in der Innenstadt	1899–1959	Stillgelegt	Züge in Tunnel	v.a. Kohle
Post-U-Bahn	München	Verbindung des Bahnhofs mit der Poststelle	1910–1988	Stillgelegt	Schienegebundene, fahrerlose Kapseln in Tunnel	v.a. postalische Güter
Versorgungstunnel LKH Graz	Graz	Ent- und Versorgung eines Krankenhausareals	1910–heute	Im Einsatz	Elektronisch betriebene Fahrzeuge	KEP, Wäsche, Müll
Mail Rail	London	Verbindung innerstädtischer Poststationen	1927–2006	Stillgelegt, heute ein Museum	Schienegebundene Kapseln	v.a. postalische Güter
Post-U-Bahn	Zürich	Verbindung des Bahnhofs mit der Poststelle	1938–1990er	Umgenutzt	Schienegebundene, fahrerlose Kapseln in Tunnel	v.a. postalische Güter
Dual Mode Truck	Japan	Flächendeckende Transporte	1980er–??	Nicht umgesetzt	Fahrerlose Lkw	Alles
Metrofreight	London	Belieferung logistikintensiver Räume	1993	Studie	Fahrerlose Fahrzeuge	Palettierbare Güter abwärts
SubTrans	New York	Zwischen Distribution-Centern und Flughafen	1994	Machbarkeitsstudie, Status unbekannt	Fahrerlose Kapsel in Pipeline	Palettierbare Güter abwärts
OLS	Amsterdam/Schiphol	Verbindung von POIs	1994–2001	Tests und Projektstatus (stillgelegt)	Fahrerlose Kapseln	v.a. Luftfracht
FoodTubes	London	In Städten und interregional	2006–2011 (?)	Tests, Studien	Fahrerlose Kapseln in Pipeline	v.a. Lebensmittel
L-Net	Tokio	Verbindung von Postämtern	Bis 1994	Projektstatus, nicht umgesetzt	Fahrerlose Kapseln	v.a. postalische Güter
CargoCap	Deutschland	Sowohl City-Logistik als auch Verbindung von POIs	Seit 1998	Tests/Machbarkeitsstudien	Schienegebundene, fahrerlose Kapseln in Pipeline	Vor allem Paletten
Mole Solutions	UK	Sowohl City-Logistik als auch Verbindung von POIs	Seit 2002	Tests/Machbarkeitsstudien	Schienegebundene, fahrerlose Kapseln in Pipeline	Alles
Pipe\$net	Italien	Interregional	Seit 2005	Tests/Machbarkeitsstudien	Pneumatisch, Kapseln in Pipeline	Container abwärts

Cargo Sous Terrain	Schweiz/ Zürich	Verbindung zwischen mehreren Städten	Seit 2013	Projektstatus, Machbarkeitsstudie	Fahrerlose Kapseln in Tunnel	Alles
iGMS – Interstate goods movement system	Singapur	Verbindung von POIs	Seit 2013	Machbarkeitsstudie, Projektstatus	Fahrerlose Kapseln und Förderbänder	v.a. Paletten
JTC	Singapur	Versorgung eines neuen Stadtteils	Um 2015	Unklar, eher stillgelegt	Fahrerloses Vehikel in Tunnel	v.a. KEP
ULS Shanghai	Shanghai	Hafen zu Terminal	Um 2016	Errichtet	Unklar	Container

Abbildung 86: Übersicht ausgewählter ULS-Projekte. Quelle: Eigene Darstellung

Aus dieser Übersicht stechen einige Beispiele hervor, bei denen der Hergang, die Entstehung, die Folgen und die Schwierigkeiten von ULS beschrieben und miteinander verglichen werden können. Es sollen nun vor allem geplante und umgesetzte Projekte sowie ihre Machbarkeitsstudien – also Projekte mit mindestens Konzeptstatus – beleuchtet werden. Rein wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema werden hier aufgrund der mangelnden Praxisnähe nicht explizit untersucht.

5.2.1. DER PIONIER: CHICAGO

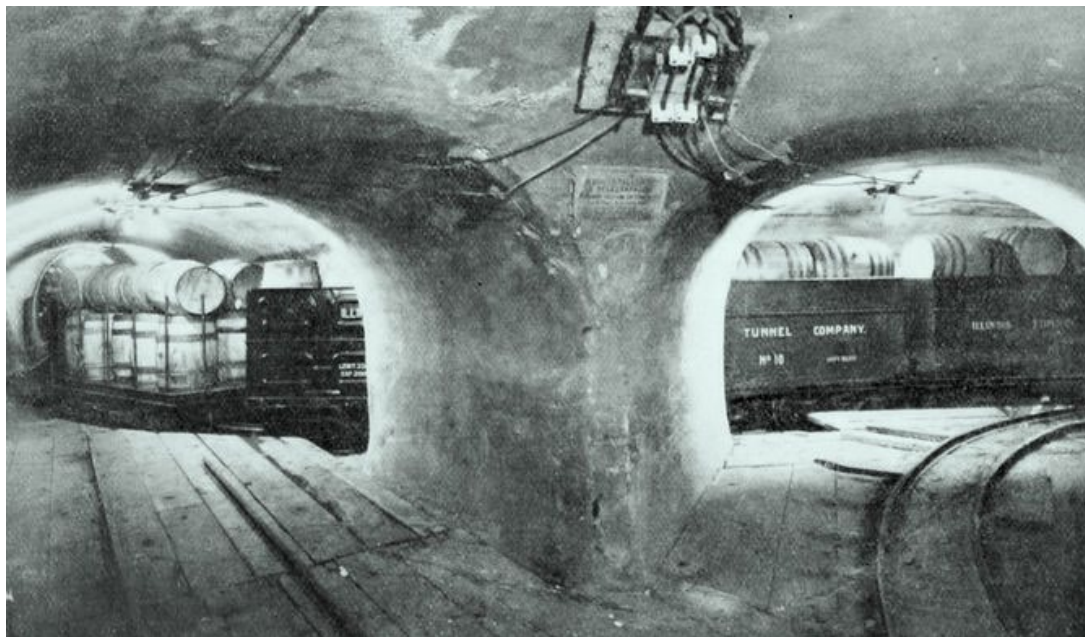


Abbildung 87: Ausschnitt aus dem Tunnelsystem Chicagos. Quelle: Unbekannt 1904

Als prototypisches Beispiel gilt ein Infrastrukturprojekt der Illinois Tunnel Company: In 12 Metern Tiefe erbaut, sollten Konflikte mit Leitungen, eventuellen U-Bahnen und Anwohnern beim Transport von Gütern vermieden werden (vgl. Tracy 1929). Das System bestand aus Zügen, die sich elektrisch manuell gesteuert im Untergrund Chicagos fortbewegten. Anstatt ausgewählte Ziele miteinander zu verbinden, wurden die Tunnel analog zum Straßennetz der Downtown verlegt – beinahe jedes Gebäude konnte so einzeln erschlossen werden. Es handelt sich im Gegensatz zu anderen Modellen (siehe London und Zürich) also auch um den Versuch, neben schnellerem Transport von Waren, Kohle, Asche und Bauschutt auch Last-Mile-Lieferungen (Post) zu ermöglichen (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 67).

Ursprünglich war jedoch vom privaten Betreiber eine ausschließliche Errichtung von Utility-Tunnels für Telefonleitungen vorgesehen (1899) und erst vier Jahre später wurden die Pläne zugunsten schienengebundener Liefermöglichkeiten angepasst (vgl. Williams 1910). Die großen Vorteile des Chicagoer Tunnelnetzwerks, das insgesamt eine Länge von 96,6 km aufwies, sind die Verkehrsverringerung, eine Reduktion von Lärm und Schmutz und eine verminderte Straßenabnutzung durch Lkw. Hohe (auch gesellschaftliche) Kosten und hygienische Probleme der Logistik sollten verbessert werden (vgl. Tracy 1929). Der Journalist Mark Allen beschrieb in einem Artikel im „Ohio State Engineer“ im März 1929 die Typologie der Chicagoer Downtown als ein von Verkehr und Überpopulation geplagtes Stadtviertel, das – zu Geschäftszeiten – das am dichtesten bevölkerte der gesamten USA war. Trotzdem stellte er in seinen Beobachtungen fest, dass ein wesentliches Element amerikanischer Innenstädte zu dieser Zeit im Straßenraum gänzlich fehlte: der „heavy-duty truck“. Logistische Operationen gab es an der Oberfläche lediglich durch kleine Lieferfahrzeuge, der Rest verlief im Untergrund (vgl. Allen 1929, S. 6).

LOOK UNDER THE LID!

Tunnel Your Goods and Save Money

Look under the lid of Chicago's Loop—"the busiest square mile in the world"—and see what is going on forty feet below. The business traffic of the city is not all on the surface.

Busy Beavers

A veritable army of busy beavers are at work down under the Loop's lid—and many of them work both day and night. In the form of steel freight cars they are busily plowing their way over the 60-mile network of tunnel tracks constituting the transportation facilities of the

Chicago Tunnel Company

Quietly, efficiently, rapidly and safely these tireless carriers haul 2,400 tons or more of freight daily from the freight terminals of the railroads to the city's warehouses and office buildings. They will carry for a customer a single package or a carload or a whole trainload. They carry as willingly a lady's hat as a ton of coal. And they help to beautify the city by being the silent arteries through which flows the debris of razed buildings, excavations and other unsightly impedimenta.

There are four Public Receiving stations, all conveniently reached from the Loop, and there are hundreds of connecting stations within the Loop itself.

This system for freight traffic keeps 6,000 or more trucks off the already congested Loop streets during every business day.

Save Time—Save Money

This method of transportation is a saving to the shipper, for the railroads literally "pay the freight." Save your money and your time. Tunnel your goods and pull down your overhead.

CHICAGO TUNNEL COMPANY
CHICAGO WAREHOUSE AND TERMINAL COMPANY
 754 W. JACKSON BLVD.
 Telephone Haymarket 6300.

Abbildung 88: Eine Werbung der Chicago Tunnel Company aus dem Jahr 1923. Diese hatte ständig mit dem geringen Bekanntheitsgrad zu kämpfen. Quelle: Tracy 1929

Bei der Betrachtung des Projektes fällt die starke Analogie zu eingangs genannten, heutigen Problemen in der City-Logistik auf – auch wenn als Emissionen damals noch Staub, Abgase und Lärm genannt wurden und der CO₂-Ausstoß noch gänzlich vernachlässigt blieb. Allen nannte als einen der wesentlichen Vorteile des Systems neben einer Verbannung der Emissionen auch explizit die entschärfte Problematik der Ladezonen:

„Underground delivery of coal offers no obstruction to street traffic which, in the case of coal trucks, is particularly obtrusive. Backed into the curb for unloading, large coal trucks displace much street area, and alley delivery is even more annoying. Tunnel delivery of coal is without noise or dirt“ (Allen 1929, S. 7).

Die Stadtverwaltung ließ das Projekt aufgrund genuinen Interesses an einer Verkehrs- und Emissionsverhinderung grundsätzlich zu, verfolgte jedoch den Plan, die Tunnel tief genug zu bauen, um zukünftige Nutzungen des Untergrunds für U-Bahnen zuzulassen. Ursprünglich war der Tunnel eine Kooperation aus verschiedenen Gesellschaften und Unternehmen, die jedoch schon 1912 vor allem aufgrund des Konkurses der ursprünglichen Betreibergesellschaft – der Illinois Tunnel Company – in der Chicago Tunnel Company, einer Tochterfirma der städtischen Versorgungsgesellschaft, zusammengefasst bzw. aufgekauft wurden. Die Errichtungskosten betrugen 30 Millionen Dollar (im Jahr 1909), was einem inflationsangepassten Gegenwert von ca. 830 Millionen Dollar entspricht. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass heutige Errichtungskosten aufgrund ausgefeilterer Technik und verschärfter Sicherheitsvorkehrungen über diesem Wert liegen.

3000 und mehr Fahrzeuge bewegten die Güter im Untergrund des Zentrums von Chicago und spannten neben dem Transport an sich auch weitere Geschäftsfelder für die jeweiligen Betreibergesellschaften auf. Während des U-Bahnbaus und anderen Bauprojekten erfüllten die Tunnel zusätzlich die Funktion des Abtransportes des Schutts. 1913 wurden 560.000 Tonnen, in den Hochzeiten bis zu 650.000 Tonnen im Jahr, an Gütern transportiert. Gespeist wurde das System lediglich durch Aufzüge, die das System mit Bahnlinsen, Schiffslinien, Warenhäusern und öffentlichen Ladestellen verbanden. 1916 wurden bereits 18% des Güteraufkommens der Chicagoer Downtown (Chicago Loop) über die Tunnel transportiert. Doch nicht nur im Bereich der Logistik erfüllte das System seinen Zweck, bis 1920 – vor dem Verkauf der Telefongesellschaft aus der Chicago Tunnel Company an die American Telephone and Telegraph Company – verliefen auch die Telefonleitungen der Innenstadt Chicagos im Tunnel. Eine unerwartete Nebeneinkunft war der Verkauf von Tunnelluft. Durch die konstante Lufttemperatur im Tunnel wurden im Sommer Gebäude mit dieser Luft gekühlt. Im Winter wurde die im Gegensatz zur Außenluft deutlich wärmere Luft zum Heizen verwendet. Ab 1933 wurden auch Fernwärmeleitungen im Tunnelsystem verlegt (vgl. Tracy 1929).

In den Tunneln arbeiteten zeitweise zwischen 500 und 3000 Menschen, was sich dementsprechend auf die Betriebskosten auswirkte. Der Siegeszug des Lkw setzte dem Unternehmen schließlich doch zu, da Waren doch nicht mehr vor Ort umgeschlagen werden mussten, sondern direkt an die Endkunden geliefert werden konnten – und dies bei sinkenden Preisen im Lkw-Verkehr (vgl. O’Keefe o.J.).

1959 wurde der Betrieb der Tunnel letztlich eingestellt, die Betreibergesellschaften meldeten Insolvenz an. Obwohl dann Frachttunnel langsam in Vergessenheit gerieten, gab es sie noch immer vereinzelt. 1992 etwa brach ein Tunnel unter dem Chicago River im Zuge von Bauarbeiten ein. Das gesamte Tunnelnetzwerk wurde geflutet und verursachte eine Überschwemmung des Untergrunds der Downtown. Die Folgen waren immens: Für fast drei Tage kam das Treiben in der Downtown zum Erliegen, der Schaden wurde mit über 1 Milliarde Dollar beziffert (vgl. Wren 2007).

Dieses Tunnelsystem unter dem Chicago Loop dient als anschauliches Beispiel dafür, wie private Betreiber in Zusammenspiel mit der Stadtverwaltung ein neues tragfähiges Logistiksystem auf die Beine stellen können, wie ein System (für einige Zeit) erfolgreich organisiert sein kann und an welchen Dynamiken ein System letztlich scheitern kann. Für Allen war das Tunnelsystem Chicagos offensichtlich ein Grund zur Hoffnung:

„Facts like this bring home the conclusion that the sole hope for relieving the traffic congestion in our large cities lies with the underground system of transporting freight. Such methods, if employed extensively, will remove the truck from our streets, and make for more rapid, cleaner, and safer hauling. The initial cost of construction will cause many a city council to balk at employing this method. Far-seeing individuals will perceive, in spite of this fact, that continued congestion will cost as much, if not more“ (Allen 1929, S. 22).

Heute versucht sich Chicago wieder an einem privat finanzierten Tunnel. Elon Musks „The Boring Company“ hat 2018 den Zuschlag erhalten, einen Tunnel zur Anbindung des Flughafens an die Innenstadt zu errichten (vgl. The Boring Company o.J.). Dabei wird allerdings das Problem offenkundig, dass der städtische Untergrund keineswegs eine Tabula rasa ist, sondern Eigentumsverhältnisse und bestehende sowie vergessene Leitungen im Boden berücksichtigt werden müssen.

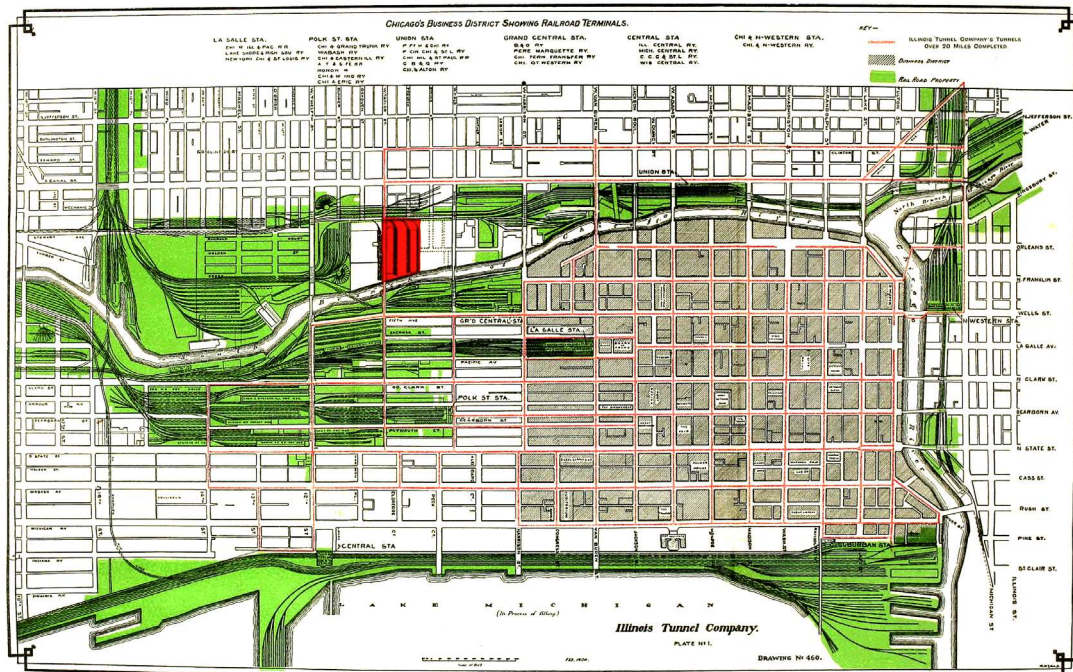


Abbildung 89: Das Tunnelnetz im Zentrum Chicagos orientierte sich an den Straßenverläufen. Bei nahe jede Straße war untertunnelt. Quelle: Illinois Tunnel Company 1904

5.2.2. DER ERFOLGREICHE: LONDON. POST OFFICE RAILWAY

Im frühen 19. Jahrhundert sah sich die Stadt London vor großen Herausforderungen. Die Industrialisierung brachte einen Urbanisierungsboom und eine enorme Dichte mit sich, die Straßen waren geprägt von Verkehrsproblemen, was Warentransporte zunehmend erschwerte. Warum also die Straßen für Logistik benutzen? Als Antwort auf die anhaltenden Verkehrsprobleme in der Londoner Innenstadt wurde so – auch mit Blick auf die Erfahrungen in Chicago – 1915 ein Projekt ins Leben gerufen, das den postalischen Verkehr teilweise in den Untergrund verlagerte: (vgl. Karlslake o.J.). Dieses Projekt war keineswegs das erste dieser Art in London, es war lediglich das umfangreichste. Schon 1853 ging die erste, 200 Meter lange Rohrpost erfolgreich in Betrieb, und läutete damit viele weitere – zu ihrer Zeit erfolgreiche – Projekte ein (vgl. Steadman 2013).

1915 starteten also die Bauarbeiten, 1927 wurden die ersten Güter (Post) innerhalb Londons transportiert, 1928 ging das System in Betrieb (vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 67; vgl. Karlslake o.J.). Acht Sortierstationen der Post waren an das rund 10 km lange System angebunden, der Anschluss an ein großes Sortierzentrum in einem späteren Zeitraum wurde aufgrund der hohen Kosten nicht mehr durchgeführt. Ebenso wurden die angedachten und lange diskutierten Erweiterungen letztlich nie umgesetzt (vgl. Karlslake o.J.).

2003 wurde das unterirdische Distributionssystem schließlich stillgelegt, nachdem im Laufe der Jahre ein paar Standorte von Postverteilungszentren, welche an die Untergrundstrecke angeschlossen waren, geschlossen wurden. Dies geschah im Zuge einer Umstrukturierung, in der klar wurde, dass die bisherigen Standorte für das bestehende London (auch aufgrund

der sinkenden Bedeutung des Postwegs in der Kommunikation) nicht mehr geeignet waren. Das System der Mail Rail wurde somit und aufgrund der im Vergleich zum Straßenverkehr bis zu fünfmal höheren Kosten obsolet (vgl. Post Office 2002). Seit 2017 dient der Tunnel als Attraktion des Londoner Postmuseums; er kann in leicht umgebauten, originalen Wägen von Touristen und anderen Interessenten befahren werden (vgl. Visser 2018, S. 124; vgl. Khaira-Hanks 2017).

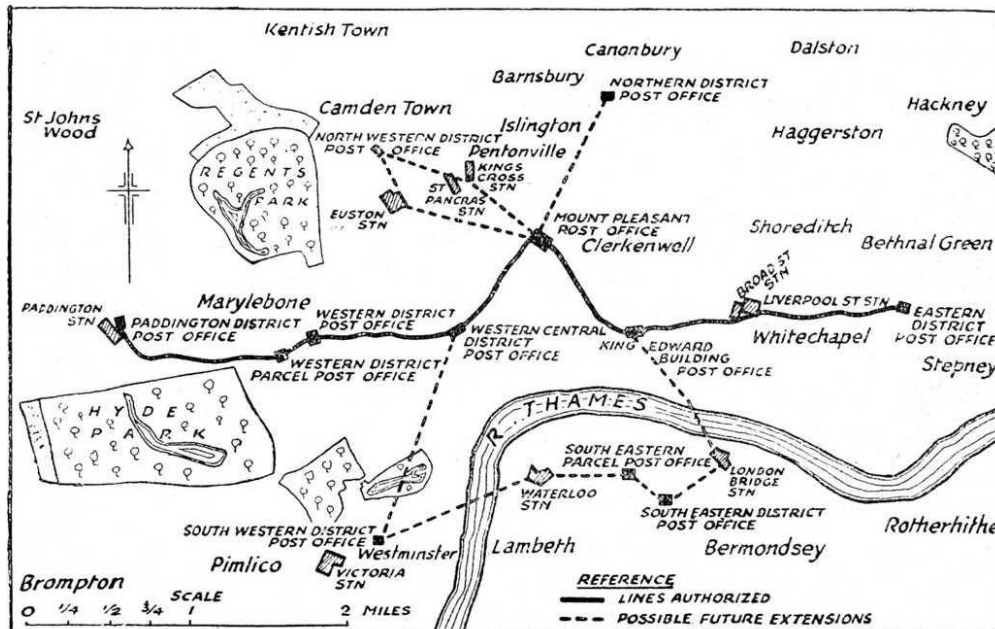


Abbildung 90: Die Route der Post Office Railway im Jahr 1929. Quelle: The New Zealand Railways Magazine 1929, S. 21

5.2.3. DER PRAGMATIKER: ZÜRICH: DIE POST-U-BAHN

Mit zunehmendem Autoverkehr und damit einhergehenden Nutzungskonflikten wurde der Platz für die große Menge postalischer Transporte zwischen der Poststelle des Hauptbahnhofs Zürich und der Sihlpost (Hauptpost Zürich) am gegenüberliegenden Flussufer knapp. Dabei stellte sich das Nadelöhr der Postbrücke als Hindernis für einen zuverlässigen, flüssigen Verkehr heraus. Im Dezember 1938 wurde so eine führerlose, 340 Meter lange Untergrundbahn in Betrieb genommen, welche die Züricher Hauptpostfiliale mit dem Bahnhof verband (vgl. Waldburger 1980, S. 133). Als Vorteile wurden die Entlastung des Straßenverkehrs und der große postinterne Zeitgewinn durch Transport und Vorkommissionierung genannt. Die Entnahme der vorwiegend postalischen Güter im Postzentrum erfolgte per Aufzug durch das Untergeschoss (vgl. Bratschl 1939, S. 136–137).

Anscheinend sorgte die Technik aber immer wieder für Probleme. An den Verladestellen wurde an kurzen stromlosen Stellen an einen anderen Motor gekoppelt, was die Geschwindigkeit von 16 km/h auf 1,1 km/h reduzierte. Alle paar Jahre schien diese Technik zu versagen, und ein führerloser Wagen fuhr ungebremst in die Wand ein. Dieser Missetand wurde nach 1958 durch eine Modernisierung der Anlage behoben. Ein Wagen fasste rund 250 kg. Mit Knopfdruck wurde er in Bewegung gesetzt. Für den Weg von A nach B wurden 96 Sekunden in Anspruch genommen, mitsamt Anlieferung über den Aufzug vergingen 4 Minuten und 25 Sekunden. Das System war 23 Stunden am Tag im Einsatz und schaffte sechs Hin- und Rückfahrten pro Stunde. Bis 1980 war dieses System im Einsatz (vgl. Waldburger 1980, S. 133–134). In adaptierter und stark umgebauter Variante wurde das System bis in die 1990er genutzt. Heute ist es durch den Bau der „Durchmesserlinie“ und weitere Bauarbeiten zerstört. Reste werden noch als Lager- oder Technikräume genutzt (Emailverkehr mit Daniele Palmieri, SBB AG, 14. Mai 2010).



Abbildung 91: Beladung eines Verkehrsträgers. Quelle: Bratschl 1939, S. 136.

5.2.4. DER FUNDIERTE: NIEDERLANDE: OLS-ASH

In den 1990er Jahren wurden die Potenziale und Wirkungen von ULS im Zuge mehrerer Projekte in den Niederlanden systematisch untersucht. Dabei wurden verschiedene Ausgestaltungen in Betracht gezogen und schließlich deren Umsetzung für die Jahre nach 2000 anvisiert (vgl. Wiegmans et al. 2010, S. 38; vgl. Visser et al. 2008, S. 2). Dazu kam es allerdings nie (vgl. Visser et al. 2008, S. 2). Dennoch finden die Bemühungen hier Erwähnung – vor allem das OLS-ASH-Projekt in Schiphol sticht heraus. Es war ein Forschungsprojekt und unterscheidet sich somit in der Herangehensweise und den Ergebnissen von CargoCap oder Cargo Sous Terrain. Dies auch deswegen, weil die Gründe für den nicht erfolgten Bau wissenschaftlich dargelegt wurden (vgl. ebda, S. 5).

Ausgangspunkt für das Projekt und weitere Konzepte zu ULS in den Niederlanden (etwa in Utrecht, Leiden, Twente, Arnhem-Nijmegen) bildeten Bestrebungen aus 1970ern, ein Hochgeschwindigkeitsnetz für unterirdischen Transport aufzubauen. Dieses Konzept wurde bis zu OLS-ASH kontinuierlich weitergedacht und 1995 in eine Machbarkeitsstudie überführt (vgl. Visser et al. 2008, S. 4–5). Dabei sollte die Möglichkeit einer unterirdischen Verbindung des Flughafens Schiphol, des Blumenmarkts in Aalsmeer und eines neuen Schienengüterterminals in Hoofddorp untersucht werden. Die Resultate versprachen Vorteile wie bessere Konnektivität und eine Reduktion von negativen Effekten auf die Umwelt. Nach weiteren Studien wurde schließlich 1999 ein Testareal eingerichtet, in welchem auch verschiedene autonome Kapseln zum Einsatz kamen (vgl. ebda, S. 6; vgl. Pielage & Rijsenbrij 2005, S. 75). Ebenso wurde verschiedene Erschließungsstrukturen wie Be- und Entladungskonzepte untersucht und bewertet (vgl. van der Heijden et al. 2002; vgl. Pielage 2001). Die vielversprechenden Ergebnisse führten dazu, dass eine Task Force von der niederländischen Regierung eingesetzt wurde, welche zwischen 1997 und 2000 weitere Machbarkeits- und Projektstudien durchführte (vgl. Visser et al. 2008, S. 6). Aufgrund des hohen (vor allem finanziellen) Risikos wurden aber keine Projekte direkt umgesetzt.

Damit wurden in den Niederlanden einige Studien durchgeführt und mehrere Projekte in verschiedenen Skalierungen angedacht, die alle nicht weiterfolgt und nicht umgesetzt wurden. Die Verbindung mehrerer Räume, interregional wie innerurban, war in ihrer Skalierung ambitioniert. Am Beispiel der Niederlande lassen sich somit vor allem die „Tücken der Ebene“ nachverfolgen und erklären.

5.2.5. DER VISIONÄR: DEUTSCHLAND: CARGOCAP

CargoCap ist ein Konzept aus Deutschland, welches von 1998 bis 2002 im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsverbunds an der Ruhr-Universität Bochum aus technischer, juristischer, ökonomischer und ökologischer Sicht entwickelt und bewertet wurde (vgl. Stein 2014a, S. 24). Seither wurde das Konzept beständig weiterentwickelt – auch eine kleine Teststrecke wurde eingerichtet. Die Grundidee stellt ein Transport von Gütern in Kapsel mit dem Fassungsvermögen zweier Euro-Paletten in Röhren mit zwei bis drei Metern Durchmesser dar. Als „5. Transportalternative“ (vgl. Stein 2014b) soll es neben Straße, Schiene, Luft und Wasser ein neues System zum Gütertransport geben. Der geringe Durchmesser (im Vergleich etwa zu Tunneln für den Personenverkehr) der Rohrleitungen lässt einen Einsatz auch in dicht verbautem, innerstädtischem Untergrund konfliktfreier zu. Dem Projekt liegen die Problematik der zunehmenden Verkehre an der Oberfläche samt den damit verbundenen negativen Effekten bezüglich Emissionen, Staus und Kapazitäten zugrunde (vgl. Stein 2014a, S. 22).

Es stechen insbesondere die vielschichtig erarbeiteten Details in diesem Projekt hervor, da neben der technischen (theoretischen) Machbarkeit vor allem auch an der betriebswirtschaftlichen gearbeitet wurde und die Einbettung in das restliche Verkehrsnetz (samt den Güterströmen an der Oberfläche) Priorität hatte. Im Rahmen des Projekts wurde auch die Tunnelbautechnik (Rohrvortrieb) beschrieben, die gleich der Methode des Baus von Abwasserkanälen sein soll, da diese oft einen ähnlichen Durchmesser aufweisen (vgl. Aldejohann & Wagner 2010, S. 4–5). Dadurch lassen sich auch die Kosten für den Tunnelbau besser beschreiben. CargoCap berechnet bis zu 3,2 Millionen Euro pro km bei Rohrvortrieb und 2,3 Millionen Euro pro km bei offener Bauweise (vgl. Stein 2014b, S. 7).

Die Größe der Transportkapsel (welche zwei Paletten fassen können) soll laut CargoCap immerhin für rund zwei Drittel aller in Deutschland transportierten Waren tauglich sein (vgl. Stein 2014b, S. 4). Anders als bei Cargo Sous Terrain (vgl. nächstes Kapitel) ist durch den geringen Durchmesser und die inhärente Systemlogik eine Anlieferung nicht nur durch City-Hubs möglich, sondern auch durch verästelte Anschlüsse, die direkt Zielorte beliefern (etwa Produktionshallen, Fließbänder, Rampen in Warenhäusern). Mittels Rollen, resp. bestimmter technischer Einrichtungen, wird eine automatische Belieferung der Transportkapsel sichergestellt (vgl. Stein 2014b, S. 4).

2009 wurde das Konzept hinsichtlich einer Umsetzung im Raum Duisburg–Dortmund in einem interdisziplinären Team aus u.a. Wirtschaftswissenschaftlern, Bauingenieuren und Juristen genauer untersucht. Es wurde ein etwa 85 km langer Trassenverlauf mit 24 Stationen und zwei Fahrtröhren auf seine Machbarkeit geprüft. Dabei wurde die Anbindung an große Geschäftszentren in Innenstädten und große Handelsstandorte entlang der Strecke angenommen. Es handelte sich also um eine regionale Verbindung von relevanten POIs.

Bei Kosten von 782 Millionen Euro inklusive Baukosten, Fördertechnik und Kapseln (Caps) wurden insgesamt acht Jahre Bauzeit (in Etappen) veranschlagt. Die Studie ergab einen Mengenanteil von 4,1 Millionen Tonnen pro Jahr (15% der entlang dieser Strecke transportierten Güter, Stand 2007), um einen Break-Even (inklusive den Rendite-Forderungen der Investoren) zu erreichen. Unter Einbezug der prognostizierten Verkehrsmenge für 2015 ergibt sich gar ein notwendiger Anteil von 11,4% der gesamten Lieferungen an der Strecke. Das CargoCap-System wäre zu 10% ausgelastet und würde folglich noch Steigerungen bieten, was zu geringeren Kosten pro Lieferung führen würde (vgl. Stein 2014b, S. 11). Laut Studie erfolgten die Berechnungen und Annahmen sehr konservativ, weshalb auch bei einem geringeren Marktanteil bereits mit einem Break-Even zu rechnen sei. In die betriebswirtschaftlichen Kosten nicht inkludiert sind externe Effekte/Kosten des Güterverkehrs auf der Straße, wie Staus, Emissionen, Landschaftsverbrauch etc. (vgl. Stein 2014b, S. 10–11).

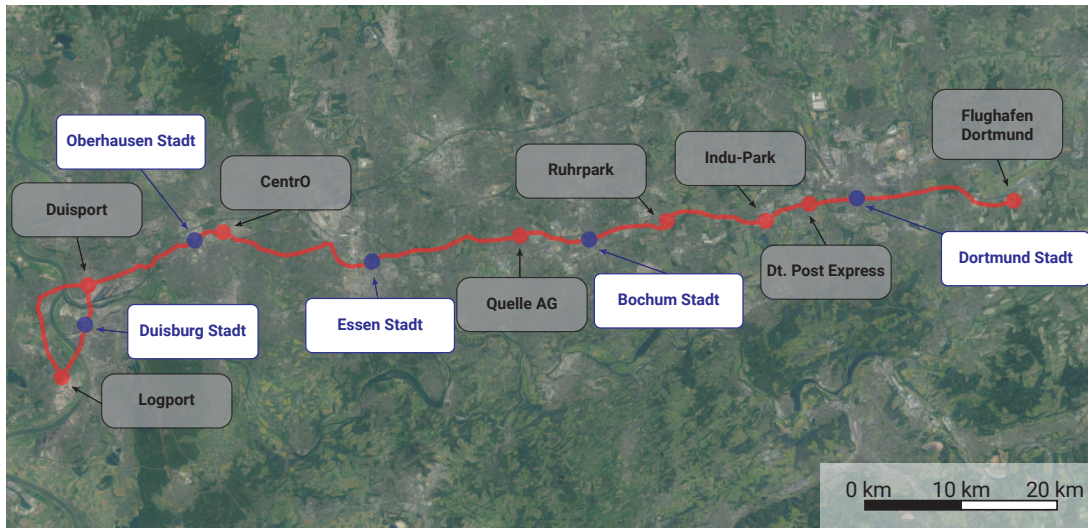


Abbildung 92: Ungefäher Verlauf der konzipierten Strecke von CargoCap im Ruhrgebiet. Quelle: Eigene Darstellung nach Stein 2014b, S. 10.

Momentan ist eine Machbarkeitsstudie für ein System in Bergisch Gladbach im Gange (vgl. CargoCap o.J.b; vgl. Watzlawek 2019). Es sollen Autobahn und eventuell auch der Flughafen Köln/Bonn an Gewerbegebiete angebunden werden. Dafür werden auch Umfragen bei betroffenen Unternehmen durchgeführt, welche dem Projekt bisher teilweise eher skeptisch gegenüberstehen – u.a. aufgrund ausgelagerter Logistik (vgl. Watzlawek 2019).

Das Projekt CargoCap stellt ein interessantes Beispiel dar, inwiefern trotz positiver Machbarkeitsstudien und Untersuchungen ein Projekt nicht zur Umsetzung kommt. Obwohl durchaus detailliert juristische wie technische und betriebswirtschaftliche Bedenken ausgeräumt wurden, stellt sich die Umsetzung auf lokaler Ebene vor allem aufgrund zweier Punkte offenbar als schwierig dar:

- a. Alltagspolitische Gründe wie hohe Investitionskosten oder der zusätzliche Flächenverbrauch der Güterverteilzentren in peripherer Lage, wo etwa bei Neubauten/Neuwidmungen auf der „Grünen Wiese“ mit Bürgerprotesten gerechnet werden könnte, verhindern breites politisches Commitment.
- b. Der Eingriff in bestehende Lieferketten ruft Skepsis hervor. So argumentiert ein Oppositionspolitiker in Bergisch Gladbach mit dem Beispiel des Unternehmens Krüger. Dieses verursache pro Tag 100 Lkw-Lieferungen á 34 Paletten. Diese 3400 Paletten würden nun anstatt in 100 Lkw-Fahrten in rund 1700 CargoCap-Fahrten aufgrund des deutlich geringeren Fassungsvermögens transportiert werden (vgl. Röhr 2019). Auch wenn dieser Einwand von einem Oppositionspolitiker kommt, zeigt das Beispiel doch auf, dass das System in etablierten Logistikketten in seinen Kapazitäten unterlegen ist und mehr Fahrten erzeugen kann, als es einspart. Diese in den Untergrund verlagerten Fahrten aber weisen laut CargoCap einen deutlich geringeren Energieverbrauch pro Tonnenkilometer aus (vgl. Stein 2014b, S. 8), wodurch sich die Problematik eher an den Entnahme- und Einspeisestellen des Systems zeigt, wo mit hohen Ent- oder Beladeaufwänden zu rechnen wäre. Ein weiterer Vorwurf in Bergisch Gladbach betrifft den Eingriff in etablierte Supply Chains. Am Beispiel Aldi-Nord wird deutlich, dass über Deutschland ein Netz an Logistikzentren gespannt wurde, von wo die Filialen möglichst effizient beliefert werden können (vgl. Röhr 2019). Ein Umladen und Anfahren würde zusätzliche Kosten und Wege in einem in sich schon effizienten System verursachen. Dies trifft sicherlich auf viele Supply Chains im regionalen und lokalen Maßstab zu. Dieser Punkt lässt sich allerdings dadurch entkräften, dass sich durch neue Infrastrukturen

Standortqualitäten verändern und sich dies im Lauf der Zeit auch räumlich darstellt (vgl. Maibach et al. 2016, S. 25). Dieser Prozess lässt sich dadurch auch von Seiten der Raumplanung bewusster steuern. Weiters könnte diese Problematik durch eine zunehmende Netzgröße abgedeckt werden.

Der sprichwörtliche „Teufel“ in der Umsetzung liegt also im lokal-räumlichen Detail und am Commitment der Stakeholder und Akteure. Die Zukunft wird weisen, ob in Deutschland noch ein CargoCap-System umgesetzt wird.

5.2.6. DER MODERNE: SCHWEIZ: CARGO SOUS TERRAIN

Im Gegensatz zu CargoCap, welches von einem universitären Forschungsprojekt ausgeht, hat sich in der Schweiz ein Projekt entwickelt, welches 2013 von einem Förderverein getragen wird, der 2017 in eine AG übergegangen ist. Initiiert und finanziert wird es von der Wirtschaft (vgl. CST 2020, S. 3). Dabei folgt das Projekt einer Schweizer Tradition – weitere Pioniere der Verkehrsinfrastruktur wie 1882 die Gotthardbahn oder 1912 die Jungfraubahn (am Jungfrauoch) wurden ebenfalls privat errichtet.

Erst 2019 hat das Projekt auch politische Unterstützung durch die Bereitschaft einer Gesetzesänderung erfahren (vgl. Schweizerische Eidgenossenschaft 2019). Noch (Stand 29. Jänner 2020) gibt es allerdings kein CST-Gesetz. Der Bundesrat hat jedoch am 29. Jänner 2020 beschlossen, eine Gesetzesgrundlage für Cargo Sous Terrain zu schaffen (vgl. CST 2020). Bemerkenswert ist der Umstand, dass Unternehmen (wie Sutterlüti, die Schweizer Post, Migros, Coop) bereits die Initiative für eine neue Logistikinfrastuktur auf den Schweizer Straßen ins Leben gerufen haben. Grund dafür waren bestehende Engpässe und Verkehrsprognosen, welche von 2010 bis 2040 ein Plus im Güterverkehr von bis zu 37% erwarten (vgl. CST o.J.b). Das Cargo Sous Terrain-Netzwerk soll im Endausbau von Genf bis St. Gallen, also von West bis Ost, durch die ganze Schweiz führen. Dies würde positive Skaleneffekte ermöglichen. In einem ersten Schritt ist für 2031 die Eröffnung eines 70 km langen Teilstücks von Härkingen-Niederbipp nach Zürich geplant (siehe Abbildung 93).

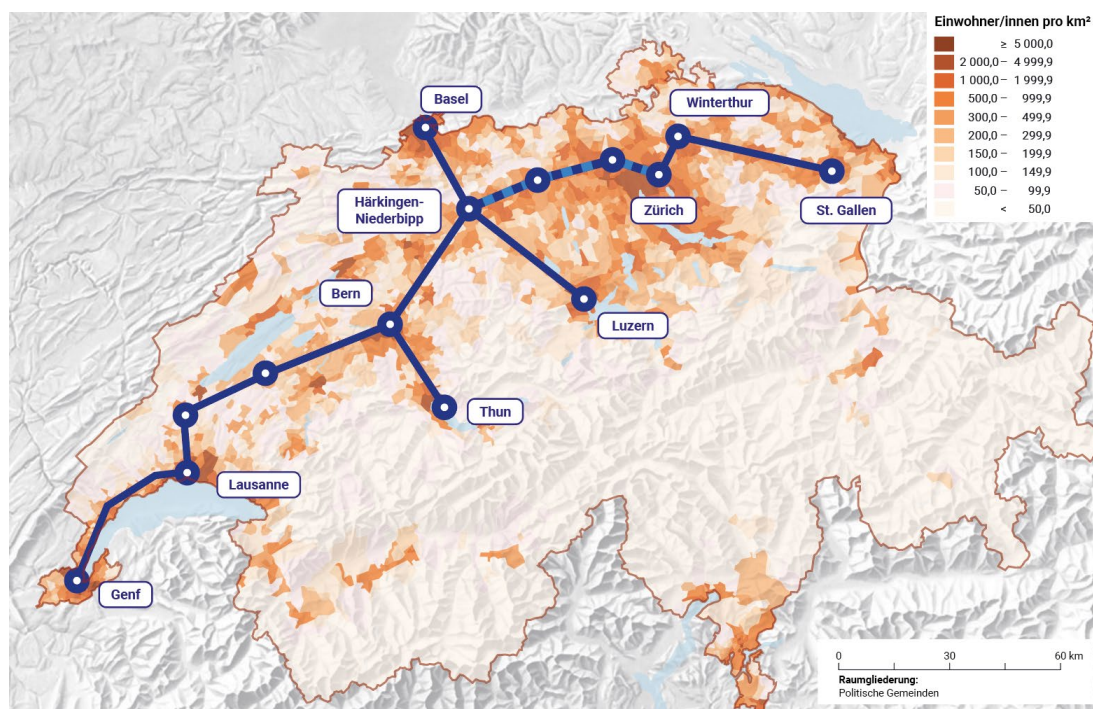


Abbildung 93: Geplanter Trassenverlauf von Cargo Sous Terrain anhand der Bevölkerungsverteilung und Geologie der Schweiz. Erster Streckenabschnitt gekennzeichnet. Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesamt für Statistik 2019; CST o.J.c.

Für den ersten Abschnitt sind Kosten (Errichtung, Software, 10 Hubs, unterirdische und oberirdische Fahrzeuge für die City-Logistik Zürich) von 3 Milliarden Schweizer Franken geplant. Einerseits sollen also die Autobahnen und die Bahn – respektive die interregionalen Zubringer – entlastet werden und andererseits ein City-Logistik-System implementiert werden, welches Verkehrsprobleme in der Stadt reduziert und Lieferwege verkürzt. Dabei will Cargo Sous Terrain 30% des Lieferverkehrs und 50% der Lärmemissionen einsparen (vgl. Maibach et al. 2016, S. 9 und S. 74). Den Machbarkeitsstudien von Cargo Sous Terrain stehen Studien der öffentlichen Hand gegenüber, welche das Projekt im Zuge der für die Umsetzung notwendigen Gesetzesänderung (Cargo Sous Terrain-Gesetz) ebenfalls, aber unabhängig von CST, bewerten. Im Wesentlichen werden positive Effekte bestätigt, jedoch etwas differenzierter in ihren Wirkungen abgewiegelt (vgl. ebda, S. 67–75).

Cargo Sous Terrain zielt also primär auf die Errichtung einer neuen Infrastruktur für den Gütertransport zwischen dem Osten und Westen der Schweiz ab. Während hierfür durchaus Machbarkeit bescheinigt wird, identifiziert das Bundesamt für Verkehr gleichfalls wie Cargo Sous Terrain selbst die größten Herausforderungen an der Ebene der Stadt (vgl. Maibach et al. 2016, S. 12). Als wesentlicher Teil von CST fungiert eine eigens konzipierte City-Logistik, welche die (am Beispiel Zürich) an drei City-Hubs angelieferten Waren gebündelt und effizient in der Stadt verteilen soll. Hier kondensieren entscheidende Erfolgsfaktoren für das Projekt CST und die bereits beschriebene Problematik von City-Logistik-Konzepten. Unternehmen müssten den Betrieb der letzten Meile aus der Hand geben und sich gemeinsam mit Konkurrenten beliefern lassen. Außerdem müssten drei City-Hubs geplant und bewilligt sowie Tourenkonzepte erstellt werden (vgl. Maibach et al. 2016, S. 12). Ebenso muss die Technologie reif für neue Lieferkonzepte sein. So wurde ein großer Fokus auf automatisierte Warentransporte im Stadtkontext gelegt, was in nächster Zeit noch unrealistisch erscheint (vgl. ebda, S. 98). Weiters scheint die Ausgestaltung des Systems für Umladungen einen kritischen Faktor darzustellen (vgl. ebda, S. 12).

Kritiker monieren, dass die für die Errichtung notwendigen Summen besser in bestehende Systeme investiert werden sollen, anstatt ein privat finanziertes Konkurrenzsystem zu etablieren (vgl. Santoro 2019). Für den Schienengüterverkehr wurde die Gefahr einer Unrentabilität nach einer Verlagerung von 15% der Verkehre zur Cargo Sous Terrain befürchtet. Dieses Argument wurde vom Schweizer Bundesamt für Verkehr mit Blick auf die Entwicklung des schienengebundenen Verkehrs nicht geteilt (vgl. Maibach et al. 2016, S. 49 und S. 92).

Der im Kontext einer Analyse der Potenziale unterirdischer Logistik sicher spannendste Punkt am Projekt CST ist der klare Pfad in Richtung Umsetzung. Das dieses Projekt privat (in einer Kooperation verschiedener logistikintensiver Unternehmen) vorangetrieben und auch finanziert werden soll, ist insofern beachtlich, als die Problematik der Kooperation in der Logistik in dieser Arbeit schon deutlich wurde (siehe S. 43). Durch die leider nicht öffentliche Machbarkeitsstudie und die externe Bewertung von Maibach et al. 2016 liefert das Projekt ein wichtiges Fallbeispiel zu den Potenzialen und Problemen heutiger Untergrundlogistikprojekte.

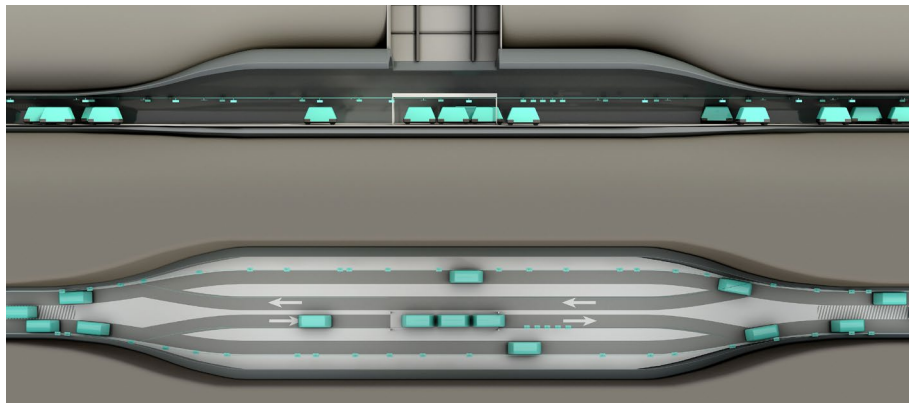


Abbildung 94: Güter können an Ausweichstellen temporär gelagert werden. Quelle: CST o.J.a

5.2.7. DIE HÜRDEN IN DER IMPLEMENTIERUNG EINES NEUEN TRANSPORTSYSTEMS



Abbildung 95: Sogar Leonard Nimoy hält eine Eröffnungsrede zur neuen Monorail in North Haverbrook. Ab dann geht alles schief. Quelle: Die Simpsons 1993.

1993 erfolgte die Erstausstrahlung einer ikonischen Folge der Simpsons, welche die erste Euphorie samt der folgenden Tragödie der Versprechungen einer neuen Technologie bzw. Infrastruktur – der Monorail – exemplarisch beschreibt. In der Folge dient die fiktive Stadt North Haverbrook als – comichaft übertriebenes – trauriges Beispiel einer Stadt, die durch ein großes Infrastrukturprojekt, welches nur auf einen Zweck (ohne wirklichen Bedarf) ausgerichtet ist, in schwere finanzielle Nöte kommt.

Nicht nur in Zeichentrickserien finden sich Beispiele, in denen eine neue Transporttechnologie ihren Versprechungen entweder nicht gerecht wurde oder sich die Realität als komplexer als gedacht herausstellte. Als Beispiel kann der PRT (Personal Rapid Transit) in Morgantown/ West Virginia genannt werden. Seit den 1970ern ist hier erfolgreich ein führerloses öffentliches Verkehrssystem im Einsatz. Hohe (Errichtungs-)Kosten, exklusive Infrastruktur und eine bestimmte räumliche Eignung bilden ein Netzwerk aus Hindernissen, das eine Anwendung in anderen Städten verhinderte. Auch die Schwebebahn Wuppertals oder die pneumatischen Bahnen des viktorianischen Londons lassen sich hier einordnen (siehe auch Steadman 2013).

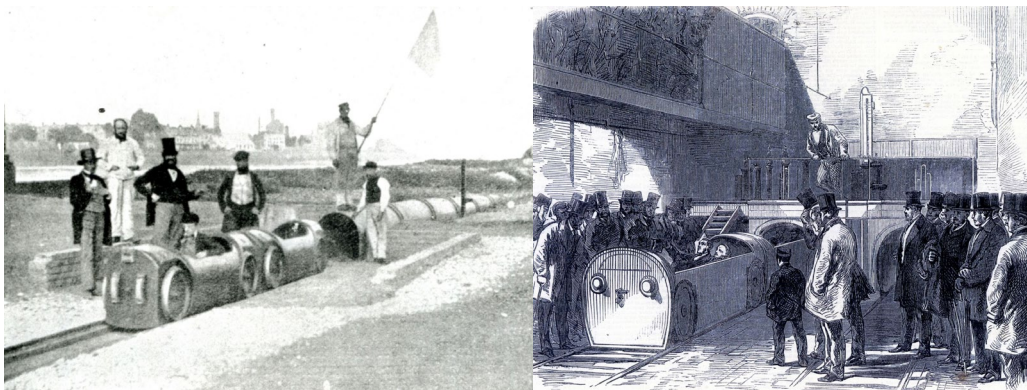


Abbildung 96: Die "Pneumatic Tube", ein klaustrophobisches Verkehrsmittel des viktorianischen London. Quelle: Steadman 2013, Rechteinhaber Royal Mail Group Ltd.

In der Moderne ab den 1920er Jahren, aber auch in den 1970er und 1980er Jahren erlebte die Welt einen Boom an fantastischen Utopien zu (städtischen) Transportmöglichkeiten. Ziegler und Klemm zeigen in ihrem Buch aus dem Jahr 1972 „Neue Nahverkehrssysteme: Verkehrsmittel der Zukunft“ insgesamt 86 innovative Verkehrssysteme der Zukunft (vgl. Ziegler & Klemm 1972). Nur wenige Elemente dieser innovativen (und nach technischem Stand möglichen sowie effizienten) Technologien haben es tatsächlich in das heutige Verkehrssystem geschafft (z.B. eine führerlose U-Bahn).

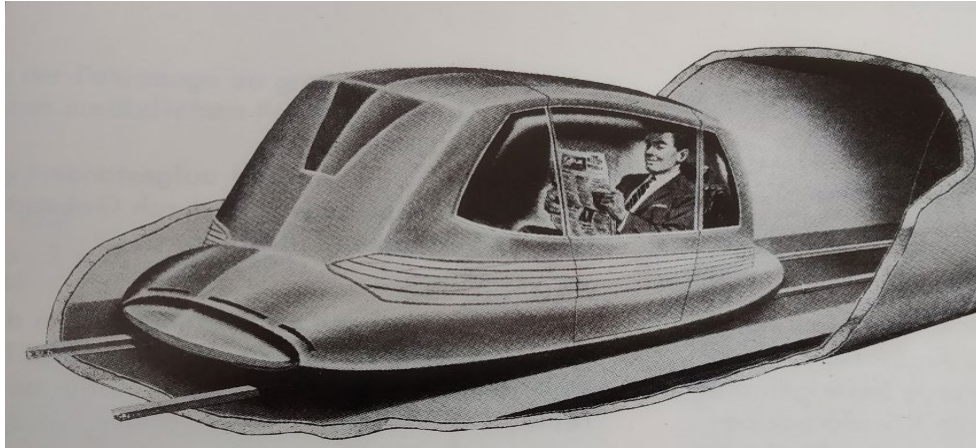


Abbildung 97: Das Teletranssystem (Individuelle, autonome Mobilität in potenziell unterirdischen Röhren) wurde nie umgesetzt. Es lässt sich allerdings in Grundzügen mit Elon Musks Boring Company vergleichen. Quelle: Ziegler & Klemm 1972, S. 36

Ein neuartiges Infrastrukturprojekt ist folglich immer mit Risiken verbunden, wie auch die Errichtung des Tunnelnetzwerks in Chicago zeigt. Mit den sinkenden Preisen von Lkw wurde das System unrentabel (siehe S. 95). Posttunnel wie Rohrpostsysteme wurden von Neuerungen in der Kommunikationstechnik überholt (siehe S. 90). Geblieben sind die hohen Investitions- wie laufenden Kosten, oder es wurde – wie im Falle Chicagos – eine Flutkatastrophe verursacht.

Der Niedergang von North Haverbrook in den Simpsons ist also ein mahnendes Beispiel für eine mangelnde Integration neuer technologischer Möglichkeiten in das bestehende Gesamtsystem Stadt und zeigt die Tücken der Integration neuer Technologien auf (vgl. Die Simpsons 1993). Wie könnte sich also das exemplarische Schicksal North Haverbrooks für zukünftige Projekte der Güterlogistik im Untergrund verhindern lassen?

Für eine Implementierung eines Transportsystems im Untergrund müssen drei Faktoren gegeben sein:

- a. die Akzeptanz des privaten Sektors,
- b. die Möglichkeit, ein System zu erleben und zu testen,
- c. die richtigen gesellschaftlichen Voraussetzungen (vgl. Visser et al. 2008, S. 9).

Es muss also einerseits ein gewisser Druck zu Änderungen vorherrschen, gleichzeitig die Technologie verfügbar, und die lokalen Akteure zur Aktion gewillt sein. Die gesellschaftlichen Voraussetzungen sind es damit, die den Erfolg wie auch die Entwicklung einer Technologie erst möglich machen. Die dahinter liegende Dynamik wird von Geels und Schot mit der Transitionstheorie beschrieben. Diese erklärt Innovation und Transition als ein Zusammenspiel aus drei Kräften, jenen der dynamischen Nische (vor allem lokale Innovateure aus Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft), jenen des vorherrschenden Regimes (der Status quo bzw. die Beharrungskräfte eines Systems) und jenen des Landscape (der global vorherrschenden Praktiken, Sichtweisen und Trends).

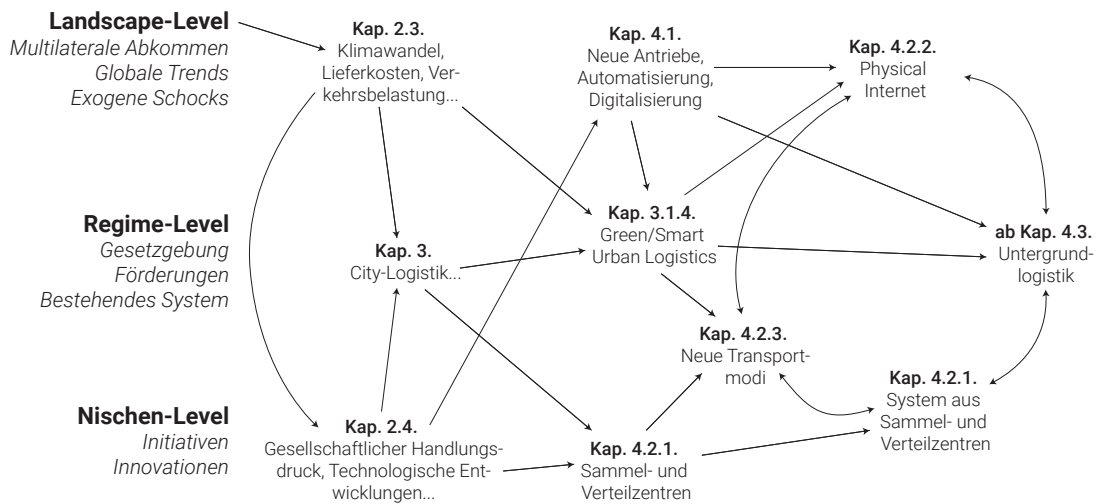


Abbildung 98: Der Pfad der rekonfigurierten Transformation der städtischen Logistik unter dem Gesichtspunkt einer starken Governance und der Errichtung einer unterirdischen Logistik. Dargestellt in Analogie zur Struktur der Arbeit. Quelle: Eigene Darstellung nach Geels & Schot 2007, S. 406–412.

So kann erklärt werden, wie Änderungen in einem soziotechnischen System entstehen und welche Faktoren zum Erfolg beitragen. Mit dem Modell können verschiedenste Arten von Transition analysiert werden, neben den Wirkungen von Schocks und Disruptionen auch Rekonfigurationen im bestehenden System. Bei der Etablierung eines netzbildenden Systems der Untergrundlogistik würde es sich vor allem um eine (länger dauernde) Rekonfiguration im bestehenden System handeln, während gleichzeitig Konkurrenzsituationen zum alten System und Elemente einer Transformation auftreten (vgl. Geels & Schot 2007, S. 406–411). Die Logistik im Untergrund wäre also aufgrund ihrer systemischen Einbettung in das Logistiksystem der Stadt (mitsamt der Vielzahl an Akteuren und Transportmodi) ein Rückgrat eines veränderten Logistiksystems und kein einzeln anzusehendes Gesamtsystem. Die Untergrundlogistik ist demzufolge als Weiterentwicklung des bestehenden Systems zu klassifizieren.

Durch die Neuordnung des Gesamtsystems der städtischen Logistik wären vor allem die Marktteilnehmer des privaten Sektors (Logistikanbieter, Grundbesitzer, Produktionsstätten, etc.) von den implizierten Änderungen betroffen:

„The reconfiguration pathway is especially relevant for distributed socio-technical systems that function through the interplay of multiple technologies (agriculture, hospitals, retailing). In these distributed systems, transitions are not caused by the breakthrough of one technology, but by sequences of multiple component-innovations. While regime actors survive in the reconfiguration path, competition and tensions occur among component suppliers“ (Geels & Schot 2007, S. 411)

Dadurch lässt sich erwarten, dass die Unterstützung privater Akteure bzw. Betreiber für ein System der ULS gering wäre. Somit wäre, im Falle einer gewünschten Errichtung eines solchen Systems, wohl mit Einsprüchen und Verzögerungen durch den privaten Sektor zu rechnen. Damit, und aufgrund der Unsicherheiten bezüglich der ökonomischen Machbarkeit und des genauen Nutzens, sind die Entscheidungsfindungsprozesse der Politik als komplex zu erwarten. Eine schnelle Implementierung solcherlei Systeme zeichnet sich nicht ab (vgl. Marchau et al. 2008, S. 410). Damit stellt sich die Frage nach der Diffusion.

Der Diffusionsexperte Arnulf Grubler beschreibt Transporttechnologien und Infrastrukturen als Bestandteil von Wachstumsimpulse bestimmenden Basisinnovationen, „deren Sättigung zu Strukturbrüchen führt und daher als Erklärungsmuster für Abschwungphasen in der langfristigen wirtschaftlichen Entwicklung dient“ (Grubler 1988, S. 207). Eine Implementierung neuer Infrastrukturen und Technologien kann so vor allem durch Strukturbrüche eingeleitet werden (vgl. ebda). Am Beispiel der Biologie beschreibt Grubler die Kapazität von

Ökosystemen als Konstante, in dessen Nischen sich neue Spezies zuerst etablieren und dann alteingesessene, nicht-angepasste verdrängen (vgl. Grubler 1987, S. 54–55). Analog dazu lässt sich ein Logistiksystem im Untergrund darstellen, welches in einer bestimmten Nische (dem Transport von Gütern in die und aus der Stadt) mit dem althergebrachten System konkurriert. Dabei ist jedoch von einem langen Zeitraum auszugehen, wobei sich, ausgehend von der Substitutions- und der Diffusionstheorie, die Frage stellt, ob angesichts der über hundert Jahre zurückreichenden Historie unterirdischer Transportinfrastrukturen in Städten nicht auch von einer schon gescheiterten Technologie auszugehen ist. Schließlich sind die Zeiten des Wachstums von unterirdischen Gütertransportsystemen schon lange vorüber (außerhalb geschlossener Entitäten).

	January 1875.		January 1885.	
	No. of Tubes.	Total Length.	No. of Tubes.	Total Length.
		Miles. Yards.		Miles. Yards.
London	25	17 1160	82 ¹	33 635
Liverpool	4	1 1237	5	2 39
Glasgow	1	242	5	1 1142
Dublin	3	940	5	1 954
Manchester .. .	5	1 266	6	1 294
Birmingham.. .	3	917	4	1235
Newcastle. . . .	0	0	1	460
Total	41	21 1242	108	40 1239

¹ Including 29 short "house" tubes.

Abbildung 99: Aus besseren Zeiten: Das Rohrpostsystem in England wuchs im späten 19. Jahrhundert rasch an. Quelle: University of Houston o.J.

Konzepte und Projekte im Untergrund werden in vielen Variationen, Umgebungen und auch schon seit mehr als einem Jahrhundert erstellt und umgesetzt. Dennoch ist die Zahl von existierenden und vor allem erfolgreichen Logistikprojekten im Untergrund äußerst überschaubar. Historisch werden sie entweder nach einer bestimmten Zeit stillgelegt oder nicht skaliert (vgl. Christiansen 2010, S. 128). Vergleicht man nun die vorherigen Beispiele des urbanen Gütertransports im Untergrund und die verschiedenen Systeme des unterirdischen Transports, fällt auf, dass solche Systeme durch Gesamtkosten (Errichtung, Betrieb und Wartung) und mangelnde Flexibilität anfällig für Störungen und finanzielle Turbulenzen sind (wie etwa im Falle Chicagos). Die Beispiele zeigen also, dass sich Systeme des unterirdischen Gütertransports nicht durchgesetzt haben, auch die in bestimmten Episoden erfolgreiche Post Office Railway in London oder der Chicago Tunnel Company sind letztlich gescheitert. Dies liegt weniger an der mangelnden Kompatibilität mit anderen Transportmodi, sondern vielmehr am Siegeszug der Lkw bzw. der straßengebundenen Logistik oder anderer neuer Technologien, wie am Beispiel Chicago gezeigt. Diese können auf Infrastrukturen disruptiv wirken, ebenso wie etwa neue Kommunikationstechnologien pneumatische Systeme zur Nachrichtenübermittlung hinfällig machten (vgl. Pogrebin 2001; vgl. Visser & Geerlings 2001, S. 139).

Ein anderer Punkt schränkt vor allem heutzutage die Nutzung ein. Nicht alle Güter können in denselben Frachtbehältern befördert werden. Dies hat teilweise rein geometrische Gründe, ebenso aber auch judikative. Lebensmittel können etwa nicht in einem Lkw transportiert werden, der vorher Müll transportiert hat. Gleiches gilt für Transportkapseln im Untergrund. Durch die auf Infrastrukturen wie Straße oder Schiene mit anderen, privaten Verkehrsteilnehmern geteilten Infrastrukturkosten erhöhen die Unsicherheiten der Errichtung von Strukturen im Untergrund (vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 32–33).

Die extensiveren Konzeptstudien zu ULS zwischen 1987 und 1993 in den Niederlanden evaluierten mehrere Varianten hinsichtlich ihrer Potenziale und Umsetzung, wobei insbesondere der Transport von Gütern mit niedriger Geschwindigkeit auf kurzen Strecken (z.B. in Ballungsräumen) als potenzielles Anwendungsfeld mit großer Wirkung beschrieben wurde. ULS wurde dabei eine Rolle als ernsthafte Alternative zum Transport auf der Straße

zugesprochen, während Transporte auf Wasserwegen und der Schiene nur auf längeren Strecken sinnvoll erschienen. Ein vernetztes System aus Tunneln mit Durchmessern von 2,4 Metern wurde als nachhaltigste und wettbewerbsfähige Alternative entworfen und identifiziert (vgl. Visser & Geerlings 2001, S. 140). Da sich die Kosten in der Errichtung eines Tunnels bei steigendem Durchmesser überproportional steigern (vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 26), sind vor allem großangelegte Projekte schwerer zu realisieren. Außerdem muss das System als Teil eines multimodalen Systems verstanden werden (vgl. ebda, S. 11). Dies zeigt einen wichtigen, diffusionsfördernden Aspekt der ULS auf: Das Konzept kann grundsätzlich skaliert und in verschiedenen Räumen angewandt werden (vgl. Visser et al. 2008, S. 11).

Allerdings scheint der Druck für eine Anpassung der Verkehrsinfrastrukturen noch nicht groß genug zu sein. Vor allem der Punkt, dass Güterverkehr immer noch weitgehend komplikationsfrei an der Oberfläche erfolgen kann, senkt den Handlungsdruck für Städte und den Logistiksektor. Hier zeichnen sich jedoch Änderungen ab. Wenn sich nun die Transporte auf der Straße verteuern, wie etwa in London durch die Congestion Charge, erhöht dies umgekehrt wieder die Attraktivität alternativer Lösungen. Ebenso dienen die Konkurse der Betreibergesellschaften (etwa in Chicago) letztlich als Leuchtturm in eine automatisierte Zukunft. Mittels automatisierter, digitalisierter und angepasster Systeme könnte einerseits die Anzahl an benötigten Arbeitskräften deutlich geringer sein. Andererseits könnten neue Warengruppen effizienter befördert werden. Dadurch würde das Volumen steigen sowie die Betriebskosten sinken. Es wird also ersichtlich, dass sich durch Maßnahmen der Politik einerseits Handlungsdruck ergeben und andererseits technologischer Fortschritt solche Systeme profitabler machen kann.

Separat davon sticht das Beispiel von Cargo Sous Terrain heraus, da sich hier der Logistiksektor (bzw. Teile davon) von sich aus zum Handeln entschlossen hat. Durch das Wachstum von Städten, das prognostizierte Wachstum im Straßenverkehrsaufkommen, die teilweise jetzt schon erreichten Kapazitätsgrenzen im Straßennetz und die schon jetzt hohen Umweltkosten des straßengebundenen Güterverkehrs wird der Bedarf an ULS nicht schwinden. Da der Verlagerung von Transporten in den Untergrund mehrfach bescheinigt wird, negative Auswirkungen des straßengelagerten Güterverkehrs maßgeblich zu lindern, scheinen die Argumente für eine Verlagerung in den Untergrund eher zu steigen.

In ihrer Masterarbeit hat Seyedeh Hosna Mousavipour eine Umfrage unter PlanerInnen und IngenieurInnen mit vorheriger Erfahrung mit ULS durchgeführt, in der Vorteile, Machbarkeiten und Möglichkeiten im Rahmen eines Projekts in Texas erörtert wurden (vgl. Mousavipour 2015 – siehe Abbildung 100).

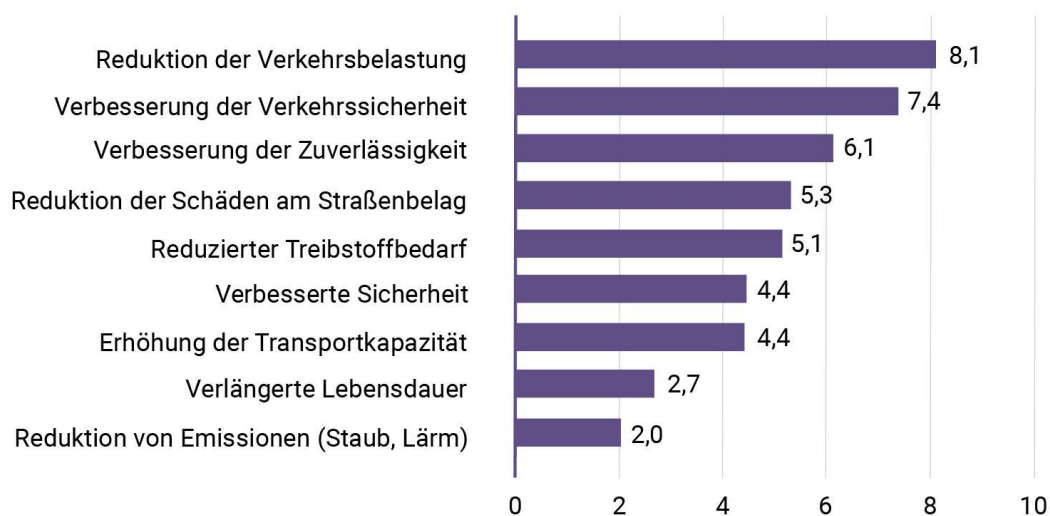


Abbildung 100: Vorteile von ULS. Ergebnisse eines ExpertInnensurveys mit der Frage: „Bitte reihen Sie die Vorteile von ULS in Texas“. Quelle: Eigene Darstellung nach einer Befragung von Mousavipour 2015, S. 57.

Zu den ULS-Projekten in den Niederlanden wurden auch Ex-Post-Analysen der letztlich nicht durchgeführten Konzepte erstellt (siehe S. 100). In ExpertInneninterviews wurden dabei „Enabler“³⁷, neutrale Effekte und Hindernisse identifiziert.

Enabler	Neutraler Effekt	Hindernis
• Emissionseinsparungen	• Komplexität	• Hohe Kosten
• Zuverlässigkeit	• Kompatibilität	• Keine Vergleichssysteme
• Technologie vorhanden		• Kontext-Konsistenz
• Geschwindigkeit		• Wettbewerbsfähigkeit
• Großer Einzugsbereich		• Politische Unterstützung
• Hoheitliche Steuerung		• Wille von Logistikern
• Verkehrsbelastungen		• Kleiner Einzugsbereich
• Durchgehende Betriebszeiten		

Abbildung 101: Vorteile und Hindernisse von ULS. Quelle: Eigene Darstellung nach Wiegmans et al. 2010, S. 47; Visser et al. 2008, S. 2; Visser 2018, S. 124–12

In dieser Abbildung werden zwar viele Gründe für die nicht erfolgte Umsetzung genannt, aber ausschlaggebend sind doch meistens die hohen Errichtungskosten bei einer langen Planungs- und Errichtungszeit. Und genau dieser Punkt wiegt zu schwer. Dass die hohen Errichtungskosten durch eine Einpreisung der verringerten externen Kosten des Verkehrs auf der Straße signifikant sinken und dass ULS-Projekte über die Kosten hinausreichende positive Effekte haben, ist dann sekundär (vgl. Milinković & Pantelić 2015, S. 319).

„The lack of support from the private sector was the main reason why political decision-makers discontinued the projects. Private companies in the transport and logistics area are not used to investing highly in infrastructure, in particular not for a very long term as in the case of OLS“
 (Visser et al. 2008, S. 2).

Es lässt sich also feststellen, dass ULS ein großer ökonomischer und sozialer Mehrwert zugeordnet werden kann, wobei die hohen Einführungskosten einem flächendeckenden Einsatz gegenüberstehen (vgl. Visser 2018, S. 127).

„Although the use of the system significantly reduces the number of environmental and social problems caused by logistic activities, analysis of the economic feasibility of its implementation resulted in the inert rate of return which amounted to 10% in the case that the infrastructure is constructed by the public sector. The results confirm that the system is not self-sustainable and can be considered reasonable only if we take into account all the social and environmental benefits for the entire exploitation period“ (Milinković & Pantelić 2015, S. 317–318).

Es gilt nach weiteren Argumenten bzw. Attraktoren zu suchen, welche dem Argument der hohen Errichtungskosten entgegengestellt werden können. Diese liegen ebenfalls im Vordergrund:

37 Die Enabler sind in diesem Kontext mehr als einfache Vorteile. Sie sind sozusagen Treiber einer möglichen Entwicklung.

Vor allem am Beispiel Chicagos sowie indirekt am Projekt Cargo Sous Terrain werden mögliche Vorteile eines unterirdischen Systems in der heutigen Zeit deutlich. In Chicago wurden in den Tunneln neben dem Transport von Gütern auch Leitungen verlegt, was eine kostengünstige Alternative zur herkömmlichen Verlegung im Untergrund darstellte. Auch im Gutachten des Schweizer Bundesamts für Verkehr zu Cargo Sous Terrain findet sich ein Hinweis auf eine Verbreiterung des Nutzungsspektrums durch eine zusätzliche Verlegung von Starkstromleitungen, was für die Erschließung zusätzlicher Einnahmequellen bzw. für die Verbesserung des Kosten-Nutzen-Effekts spricht (vgl. Maibach et al. 2016, S. 20).

Durch diese Eingliederung von anderen Infrastrukturen, die bisher eigenständig im Untergrund verlegt sind (wie Strom-, Wasser- und Gasleitungen) und bei Gebrechen Umbauarbeiten ganzer Straßenzüge mit sich ziehen, können positive Effekte bei der Rentabilität erzielt werden.

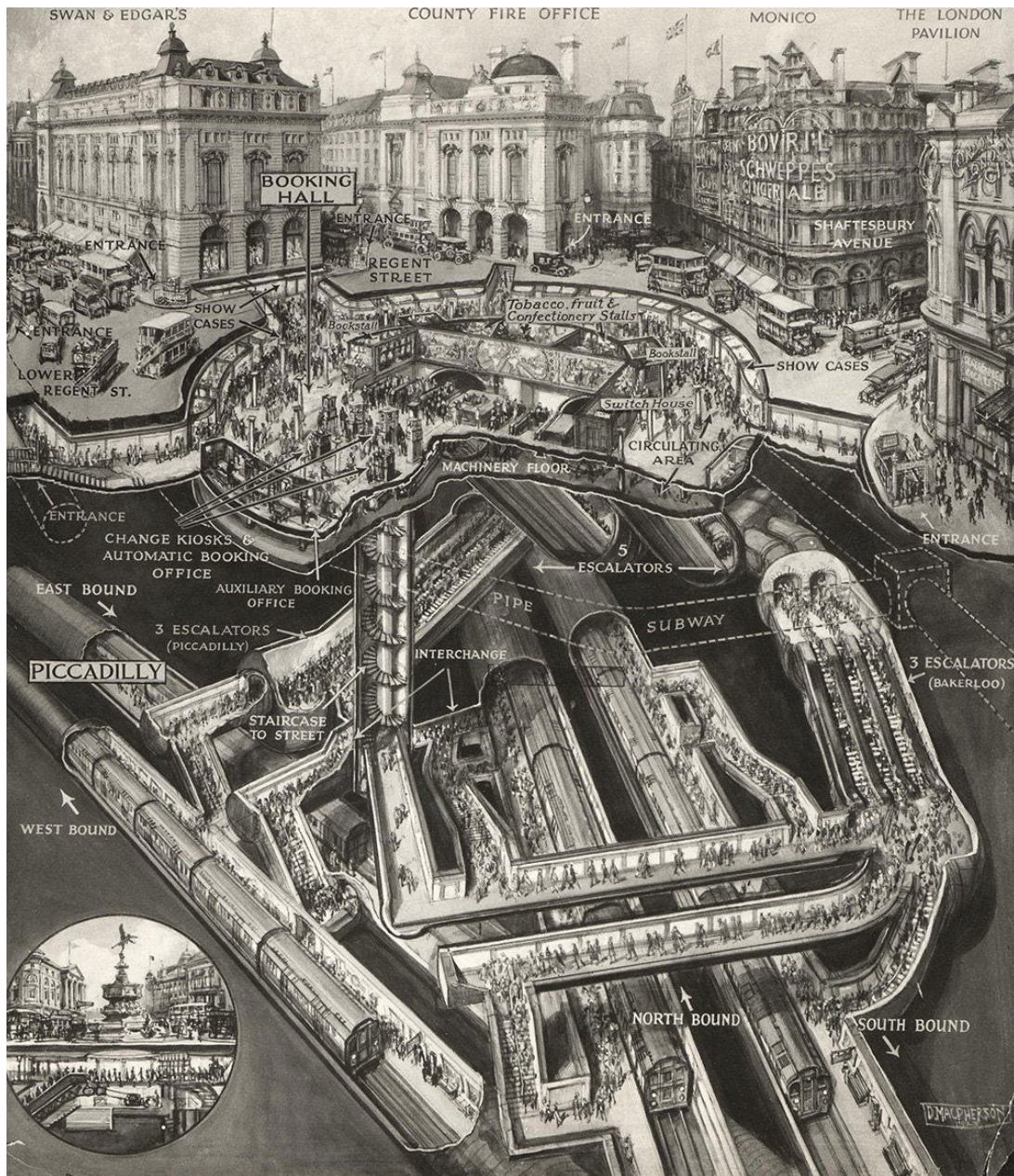


Abbildung 102: Einiges los im Untergrund Londons (hier abgebildet: der Piccadilly Circus). Der städtische Untergrund ist vielfach bereits besetzt und erfordert bei Reparaturen oder der Neuinstallation von Leitungen oder Infrastrukturen erheblichen Mehraufwand, höhere Kosten und vermehrte Umweltbelastung. Quelle: MacPherson 1928

6. MULTI UTILITY AND FREIGHT TUNNELS (MUFT) ALS NEUE STÄDTISCHE INFRASTRUKTUR

6.1. MULTI-UTILITY TUNNELS ALS ELEMENT DER STADTPLANUNG

„Ohne auf die Anlagen von untergeordneter Bedeutung einzugehen, sei nur erwähnt, daß die Kanalisation, die Wasserwerke, die Gasanstalten, die Rohrpost, die Telegraphenkabel, die Fernsprech-Kabelröhren und -Kanäle, die Feuerwehr- und Polizeitelegraphen noch neben den Starkstromleitungen ihren Platz und zum Teil sehr reichliches Baurayon beanspruchen. Hierzu kommen als weitere erschwerende Umstände die zahllosen Abzweigungen nach den Häusern für Gas, Wasser, Telephon, elektrisches Licht und dergl., ... , und all dies soll womöglich auf den Bürgersteigen plaziert [sic] werden, um die umständlichen, kostspieligen, besonders störenden Erd- und Pflasterarbeiten auf dem Damm tunlichst zu verhüten“ (Bericht aus dem Jahr 1901, zitiert nach Stein 2002, S. 16).

6.1.1. STÄDTISCHER UNTERGRUND: EINE BEGRENZTE RESSOURCE

Der städtische Untergrund war, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, seit dem 19. Jahrhundert Schauplatz von Versuchen, Güterströme in den Untergrund zu verlagern. Der Untergrund war damals wie heute aber auch schon von anderen Funktionen besetzt: zuerst von (Ab-)Wasserleitungen, dann von Gasleitungen, bald von Strom- und Telekommunikationskabeln, und immer öfter von Glasfaserkabeln (siehe Abbildung 103 auf Seite 113). Gleichzeitig begrenzen auch andere Funktionen den urbanen Untergrund. Friedhöfe, Keller, Transportsysteme, historische Bauten schränken gleichsam wie geologische Bedingungen die Nutzbarkeit des Untergrunds ein. Gerade in europäischen Städten bildet sich so ein Spaghetti-Subsurface-Problem, also ein dichtes Netz von städtischer Versorgungsinfrastruktur, das teils über-/untereinander oder eng aneinander unter den tendenziell engeren Straßenräumen mehrheitlich ungeplant und chaotisch im Untergrund von Städten entstanden ist (vgl. Oude 1992, zitiert nach Canto-Perello et al. 2013, S. 4707).

Im Diskurs um begrenzte (urbane) Ressourcen wurde der Untergrund von der Stadtplanung oft stiefmütterlich behandelt (vgl. Besner 2016, S. 224). Durch die im Lauf der Zeit erfolgte Funktionsanreicherung des Untergrunds (historisch-archäologisch und infrastrukturell-technologisch) ergeben sich jedoch im Sinne eines Nachhaltigkeitsdiskurses und der Bewahrung von Ressourcen auch hier Handlungsfelder (vgl. Canto-Perello et al. 2013, S. 4707). Schon 1999 wurde für europäische Städte beschrieben, dass das oberflächennahe Fassungsvermögen des Untergrunds für Leitungen schon jetzt teilweise erschöpft ist (vgl. Cano-Hurtado & Canto-Perello 1999, S. 335). Das begrenzte Gut des städtischen Untergrunds bedarf somit einer vermehrten Organisation der darin befindlichen Infrastruktur und des freien Raums, um auf der einen Seite Entwicklungspotenziale zu erhalten und auf der anderen Seite Eingriffe kostengünstiger und ökologischer zu gestalten. Städte wie Helsinki oder Singapur haben, auch aufgrund ihrer lokalen Spezifika, Schritte in diese Richtung gesetzt und Strategien zur nachhaltigen Nutzung des Untergrunds implementiert (Helsinki: vgl. Vähäaho 2018; Singapur: vgl. Zhou & Zhao 2016). Seit den 1990er Jahren ist bezüglich der einheitlicheren Planung des Untergrunds eine erhöhte Forschungsaktivität festzustellen (vgl. Mavrikos & Kaliampakos 2007, S. 223–224).



Abbildung 103: Ein Wirrwarr an Leitungen im Untergrund: Das Spaghetti-Subsurface-Problem.
© Linda Bair

6.1.2. DIE (LANGFRISTIGEN) KOSTEN EINER MANGELNDEN STRATEGIE FÜR DEN UNTERGRUND

Die Kabel und Leitungen aus verschiedenen Epochen, verschiedener Betreiber und Größen, welche den Untergrund der Städte meist ungeplant durchziehen, sorgen langfristig für hohe ökonomische, soziale und ökologische Kosten. Durch die nötige Instandhaltung, durch die Behebung von Schäden an Leitungen und Kabeln sowie die notwendige Verlegung neuer Leitungen in immer dichter genutzten oberflächennahen Schichten werden konstant Aufgrabungen in urbanen Straßenräumen notwendig.

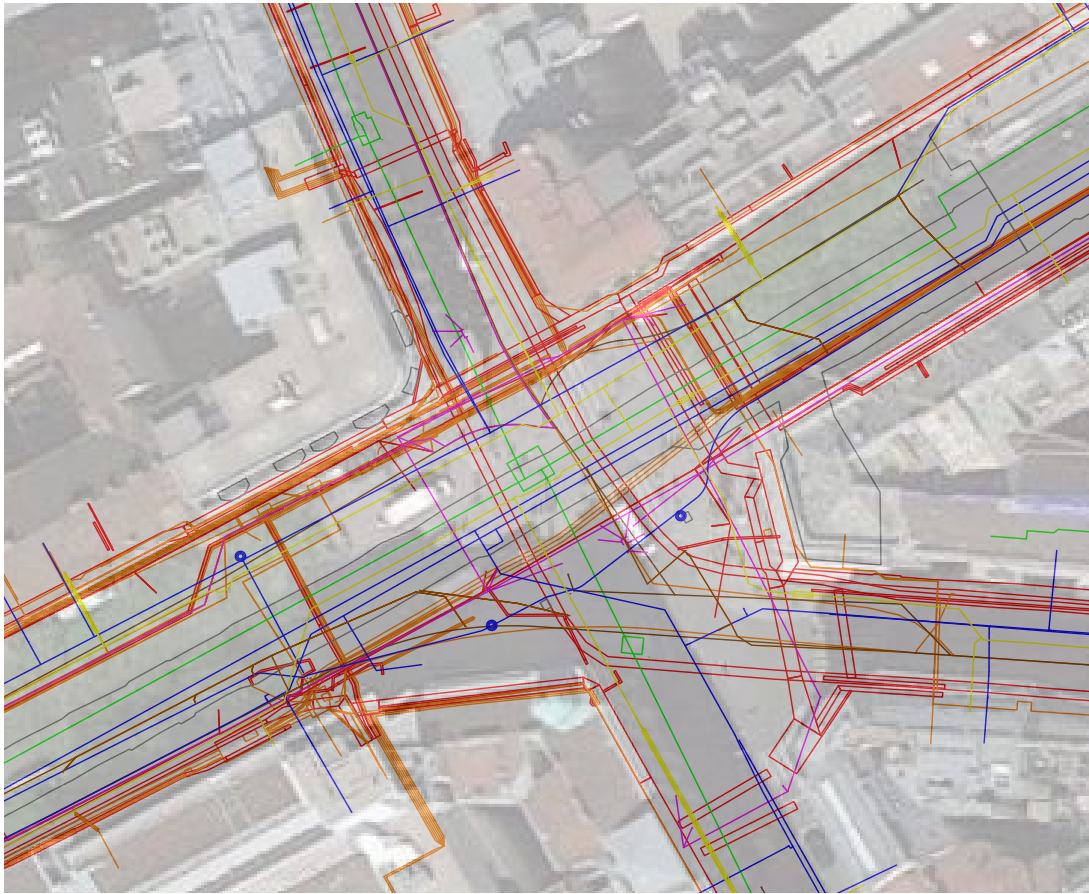
„Das Ver- und Entsorgungsleitungsnetz [in Wien] weist eine Länge von rund 42.000 Kilometern auf. [...] Es kommen immer neue Leitungen, insbesondere für Datenübertragungen, hinzu. In den meisten Fällen können die Erweiterungen, Anpassungen oder Erneuerungen nur mit Aufgrabungen durchgeführt werden“ (Stadt Wien o.J.b).

Diese Aufgrabungen sorgen für Emissionen, Kosten und Staus und haben auch Auswirkungen auf die Lebensdauer der Straße (vgl. Jaderny & Ertl 2014, S. 10–13). Eine Untersuchung aus Leipzig, die mit den Ergebnissen einer Wiener Erhebung in weiten Teilen korreliert, zeigt den altersbedingten Anstieg der Schadenshäufigkeit von unter der Straße verlegten Leitungen (vgl. Jodl 1996, S. 433).

Somit werden bei einer steigenden Anzahl an verlegten Leitungen gleichwohl wie bei fortschreitendem Alter tendenziell mehr Grabungen pro km nötig. Die Menge an verlegten „Utilities“ ist daher durchaus eine Herausforderung und stellt somit einen weiteren langfristig wirksamen Kostenfaktor dar. In der folgenden Abbildung wird die Komplexität des Untergrunds am Beispiel der Ecke Mariahilfer Straße und Neubaugasse in Wien sichtbar³⁸. Die

³⁸ Hier sei ein Dank an die Wiener Magistratsabteilung 28 ausgesprochen, welche mir freundlicherweise Daten zu den verlegten Leitungen zur Verfügung gestellt hat.

U-Bahn sowie verlegte Leitungen privater (vor allem Telekom-)Unternehmen sind hierbei noch gar nicht dargestellt. Ebenso werden bei Bauarbeiten immer wieder nicht verzeichnete Leitungen und Kabel entdeckt. Es ist also von einer noch höheren Dichte an verlegten Leitungen auszugehen.



- | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| • Wasserversorgung | • unterird. Bauwerk Öl | • Schutzeinrichtung Strom |
| • Wasserversorgung Grünanlagen | • Kanal | • unterird. Bauwerk Strom |
| • Wassermessstellen | • Regenwasserkanal | • Steuerung |
| • Wasserentnahme | • Mischwasserkanal | • Lichtsignalanlagen |
| • private Wasserversorgung | • Oberflächenentwässerung | • Schutzeinrichtung Steuerleitung |
| • Grundwasserabsenkung | • Schmutzwasserkanal | • unterird. Bauwerk Steuerleitung |
| • Schutzeinrichtung Wasser | • Teilmischwasserkanal | • Telekommunikation |
| • unterird. Bauwerk Wasser | • Einlauf | • Feueralarm |
| • Gasversorgung | • Hausanschluss | • private Telekommunikation |
| • private Gasversorgung | • Schutzeinrichtung Kanal | • Schutzeinrichtung Telekommunikation |
| • Schutzeinrichtung Gas | • unterird. Bauwerk Kanal | • unterird. Bauwerk Telekommunikation |
| • unterird. Bauwerk Gas | • Elektrizitätsversorgung | • sonstige unterirdische Einrichtung |
| • Fernwärme | • Erdung | • Baugrubensicherung |
| • private Fernwärme | • öffentliche Beleuchtung | • Leerverrohrung |
| • Schutzeinrichtung Fernwärme | • beleuchtete Haltestellen | • Schutzeinrichtung Sonstiges |
| • unterird. Bauwerk Fernwärme | • private Elektrizitätsversorgung | • unterird. Bauwerk Sonstiges |
| • Ölversorgung | • private Beleuchtung | |
| • Schmieranlagen | • Starkstrom | |
| • private Ölversorgung | • Starkstrom oberirdisch | |
| • Schutzeinrichtung Öl | • Freileitung | |

Abbildung 104: Die „Spaghetti-Subsurface“ im Raum der Wiener Mariahilfer Straße. Es ist lediglich ein Teil der Leitungen im Untergrund abgebildet. Die Auflistung gibt die bekannten Einbauten im Untergrund an. Es befinden sich folglich noch weitere Leitungen im Untergrund, die auf dieser Karte nicht abgebildet sind. Quelle: Eigene Darstellung nach MA 28 2018

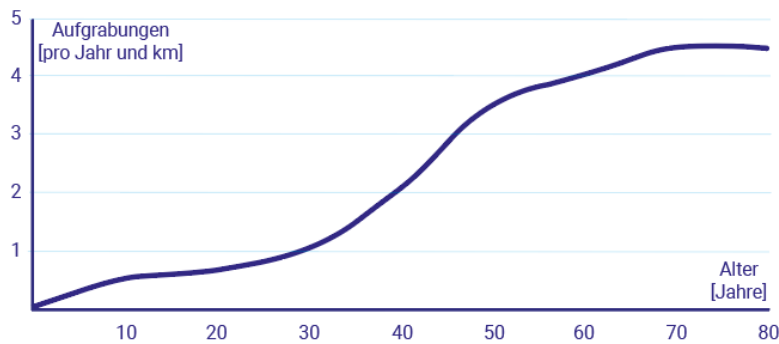


Abbildung 105: Aufgrabungen pro km Straße und Alter der Utilities. Quelle: Eigene Darstellung nach Jodl 1996, S. 433.

Die Schäden, welche an den Leitungen im Untergrund entstehen können, unterscheiden sich hinsichtlich Komplexität und Folgeschäden (Kabel vs. Rohre), beide Kategorien sind aber gleichermaßen von Abnutzung und Schäden betroffen (wobei der Güterverkehr durch hohe Erschütterungen einen Teil dazu beiträgt, vgl. Christiansen 2010, S. 128). Auch bei Aufgrab- bzw. Reparaturarbeiten kommt es immer wieder zu Beschädigungen benachbarter Leitungen. Dies erzeugt auch gewissen Handlungsdruck, Installationen oder Instandhaltungen anders abzuwickeln:

„Da die Leitungen unter Straßen liegen und jede Straßensperrung hohe volkswirtschaftliche Kosten verursacht, sind grabenlose Bau- und Sanierungstechniken für Rohrleitungssysteme und Kanäle ein weiteres intensives Gebiet der Technologieentwicklung“ (Hiessl 2005, S. 167).

Relevant ist der erwähnte Aspekt der hohen volkswirtschaftlichen Kosten. Die volkswirtschaftlichen Kosten für Verkehrsstaus in Österreich betragen ca. 1,9% des BIP, also 5 bis 6 Milliarden Euro pro Jahr (vgl. Kummer et al. 2015, S. 2). Diese sind natürlich nicht ausschließlich auf aufgrabungsbedingte Staus zurückzuführen, bilden aber eine Seite der volkswirtschaftlich relevanten Kosten von Staus ab. In einem städtischen Maßstab am Beispiel Wien ist die Dimension demnach durchaus beachtlich: „Im Jahr 2017 hat die Abteilung Straßenverwaltung und Straßenbau (MA 28) insgesamt 389 Straßenbaustellen abgewickelt und 8.196 Aufgrabungen diverser Einbautenträger koordiniert“ (Stadt Wien o.J.b).

Ein Problem in der Handhabung von Neuverlegungen oder Instandhaltungen ist einerseits die Rechtslage, nach der gewisse Abstände zwischen Leitungen und Rohren gegeben sein müssen, und andererseits die mangelnde Kenntlichmachung und Kartierung. Analoge und digitale Kataster sind weder vollständig noch genau. So gibt etwa die Welser Stromgesellschaft (EWW AG) in ihren Grabungsrichtlinien an:

„Die Maßangaben zur Lage von Leitungen sind unterschiedlichster Art und Qualität (Naturmaße, aus terrestrischer Vermessung oder aus analogen Plänen digitalisiert). Sie stellen daher nur die ungefähre Lage der Leitungen dar. Ein Abgreifen (heraus messen) von Maßen bzw. Abständen aus den Plänen ist daher nicht zulässig und führt zu falschen Ergebnissen. Die Lagegenauigkeit beträgt zum Zeitpunkt der Verlegung ca. +/- 50 cm“ (EWW AG 2015, S. 1).

Dass diese mangelnde Kenntlichmachung und Verortung durchaus zu Problemen führt, zeigt das Beispiel des österreichischen Telekommunikationsunternehmens A1. So werden etwa in Österreich im Zuge von Bau- und Grabungsarbeiten jährlich in 8000 Fällen Kabelanlagen von A1 beschädigt. Weil dann Kommunikationsnetze gestört sind, entstehen durch Aufgrabungs- und Reparaturarbeiten weitere Kosten (vgl. A1 o.J.).

In Kombination mit dem unterschiedlichen Alter und Typen der Leitungen gibt es für jede Kategorie eigene Risiken, Verlegungstiefen, Verschaltungen, Verantwortliche, etc. Dies

macht die Verlegung von Leitungen im Untergrund durch Grabungsarbeiten zu einem langfristig kostspieligen Prozess. Unter dem Aspekt von klimagerechten Städten ist das ungeplante Netzwerk von Leitungen im Untergrund ebenso ein Hindernis, weil deswegen Bepflanzungen von Straßenräumen verhindert oder erschwert werden können. Wie schon bei den logistischen Problemen der Stadt gibt es auch hier eine seit vielen Jahren erfolgreich praktizierte Lösung³⁹ für den Untergrund der Städte: die Multi-Utility Tunnels.

6.1.3. MULTI-UTILITY TUNNELS ALS LÖSUNGSANSATZ IN DER PRAXIS

Dem Multi-Utility Tunnel liegt die Idee der zentralen Bündelung von Leitungen zugrunde. Kabel und Rohre, die vorher individuell im Untergrund verlegt waren, sollen in einem Tunnel unabhängig von Grabungsarbeiten durch zentrale Einstiegspunkte erreichbar sein. Sie können in drei grundsätzliche Kategorien unterteilt werden: flush-fitting (bündig mit der Oberfläche), shallow (nah an der Oberfläche) und deep (tief). Dabei können die Tunnel direkt von der Oberfläche erreichbar (vor allem bei flush-fitting), durch Einstiegspunkte begehbar oder in begehbare Kompartiments unterteilt sein. Je nach Konstruktion können diese sogar von Fahrzeugen befahren werden (vgl. Rogers & Hunt 2006, S. 3–5). Nach ökonomischen, sozialen und ökologischen Kriterien werden MUTs vor allem langfristig große Vorteile ausgewiesen. In einem Vergleich zwischen Grabungen, grabungsloser Errichtung durch Bohrung und dem Bau von MUTs schneiden die MUTs nicht deutlich schlechter ab. Was die direkten, kurzfristigen ökonomischen Kosten der Errichtung betrifft, fällt die Bilanz allerdings zu deutlich zu Ungunsten der MUTs aus (vgl. ebda, S. 6–9).

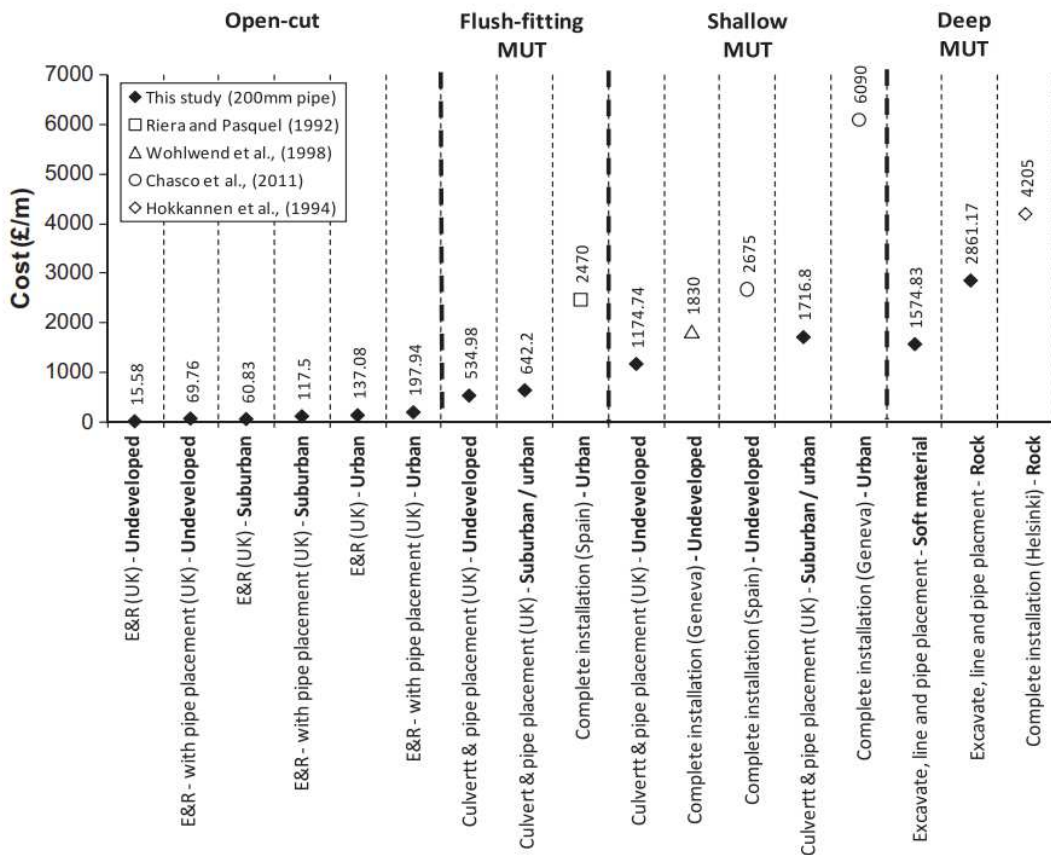


Abbildung 106: Kosten der Verlegung von Leitungen in unterschiedlichen Arten und Räumen. Quelle: Hunt et al. 2014, S. 22.

³⁹ Ähnlich wie Systeme der Untergrundlogistik kommen Multi-Utility Tunnels schon seit dem frühen 20. Jahrhundert zum Einsatz (vgl. Jodl 1996, S. 429; vgl. Engineering News 1900, S. 176–178).

Hinsichtlich der Errichtungs- und Deckungskosten treten große Unterschiede auf, da diese vom Grad der bisherigen Nutzung des Untergrunds, der geologischen Beschaffenheit (felsiger Untergrund macht die Errichtung deutlich billiger als poröser) und der Art der Errichtung sowie Diameter abhängig sind. Bei zunehmendem Diameter steigen die Kosten überproportional an. Gleichzeitig erhöht sich jedoch mit zunehmender Zahl an Operationen an der Oberfläche und der Anzahl an installierten Leitungen und Kabeln der langfristige Kosten-Nutzen-Effekt (auch ökonomisch) von MUTs (vgl. Yang & Peng 2016; vgl. Rogers & Hunt 2006, S. 6–9; vgl. Hunt et al. 2014).

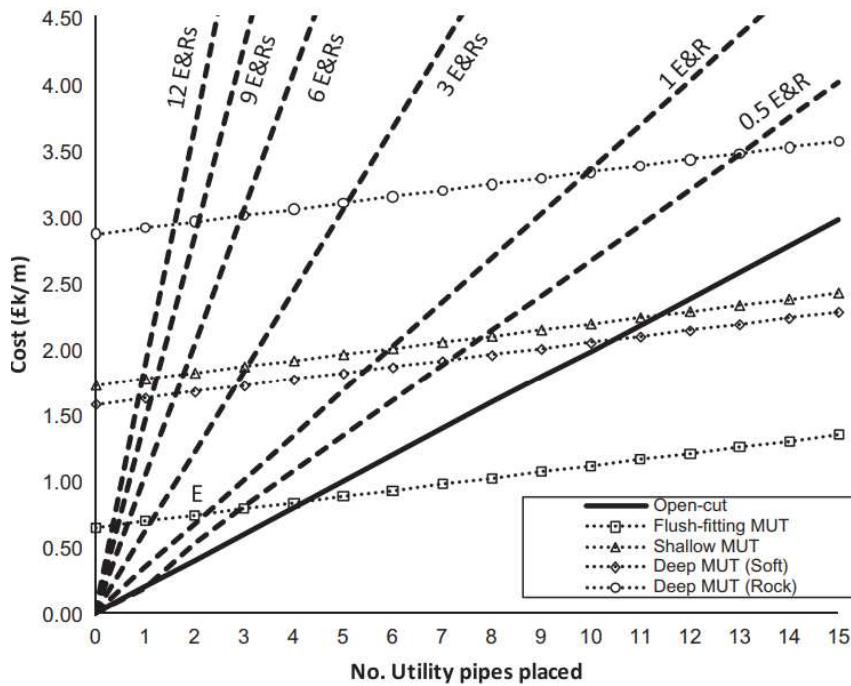


Abbildung 107: Kosten verschiedener Arten der Verlegung von Leitungen unter Berücksichtigung von notwendigen Eingriffen und Reparaturen. Quelle: Hunt et al. 2014, S. 24

Während schon die Römer teilweise unterirdische Infrastrukturen (zum Wassertransport) errichteten, wurden die ersten MUTs erst mit dem späten 19. Jahrhundert großflächiger errichtet (vgl. Cano-Hurtado & Canto-Perello 1999, S. 335–336). Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden (Multi-)Utility-Tunnels in zahlreichen Städten errichtet, wobei heute vor allem im asiatischen Raum auf diese Möglichkeit gesetzt wird (vgl. Yang & Peng 2016; vgl. Rogers & Hunt 2006, S. 4).

Stadt	Jahr	Länge (km)	Tiefe (m)	Breite (m)	Höhe (m)	Typ	Gas	Strom	Trinkwasser	Regenwasser	Kommunikation	Fernkälte	Fernwärme	Müllsamm lung
Madrid	1940	100	-	2,1	4,5	C	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N
Moskau	1943	100	-	2	3	B	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N
Grenoble	1970	1,5	1,5	7,2	4	B	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	N
Helsinki	1982	40	80	5	7	B	N	Y	Y	N	Y	N	Y	N
Paris	1992	12	-	3,6	2,5	B	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
Barcelo- na	1992	28	0	2	1	A	N	Y	Y	N	Y	N	N	N

Tokio	2000	25	-	14	7,7	C	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Putrajaya	2003	15	2	8	5	C	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N
Singapur	2004	20	2	12	4	C	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Abbildung 108: Typ A: Schacht, von der Oberfläche zugänglich, Typ B: Eigener Tunnel, Typ C: Eigener Tunnel, unterteilt. Quelle: Eigene Darstellung nach Rogers & Hunt 2006, S. 4.

Die bereits bewährte Möglichkeit, Leitungen im Untergrund zentral zu bündeln, verspricht auch für die Errichtung von Logistikstrukturen im Untergrund interessante Ansätze. Schon jetzt werden in U-Bahn-Tunneln Leitungen gebündelt. Ebenso lassen bestimmte Multi-Utility Tunnels, wie jener in Helsinki, ein Befahren mit Fahrzeugen zu. In Kuala Lumpur wurde mit dem SMART-Tunnel eine Infrastruktur errichtet, die neben dem Befahren auch Entwässerung möglich macht. Das Beispiel der Chicago Tunnel Company zeigt ebenfalls den Nutzen von Transportinfrastruktur für die Installation anderer Utilities. Dies beweist eine grundsätzliche Vereinbarkeit von Elementen der Utility-Tunnels mit unterirdischer Transportinfrastruktur.

Durch die lokal unterschiedlichen Voraussetzungen des Untergrunds (Geologie, Dichte der Nutzung, mögliche Bündelungseffekte) kann keine generell anwendbare Formel für eine Anwendung in Städten gegeben werden. Es zeichnen sich jedoch Synergieeffekte mit unterirdischer Transportinfrastruktur ab, welche sich positiv auf die mittel- wie langfristige Finanzierbarkeit auswirken können. Vor allem an Hauptverkehrsadern können durch MUTs ökonomische, soziale und ökologische Kosten vermieden werden. Bei der Errichtung von ULS kann somit durch eine Integration gewisser Potenziale der Bündelung von Leitungen im Untergrund ein auf die Stadt positiver wirksamer Effekt (Möglichkeit von Begrünungen, Reduktion von Baustellen) erzielt werden. Unter bestimmten Straßen (vor allem im dichter und intensiver genutzten Stadtzentrum, vgl. Pfeiffer et al. 2006, S. 37) kann dabei auch eine deutliche Erhöhung des Diameters zur Inklusion möglichst vieler Utilities sinnvoll sein, während in anderen Straßenzügen aufgrund der hohen Kosten eine Exklusion platzintensiver Utilities (wie Abwasserleitungen) sinnvoll scheint.

6.2. MÖGLICHE FUNKTIONSWEISE EINES UNTERIRDISCHEN LOGISTIKSYSTEMS

Es zeichnet sich ab, dass die Kostenbilanz eines ULS durch die Integration von Elementen der MUTs positiv ausfallen kann – das „Spaghetti-Subsurface-Problem“ würde erheblich reduziert; es gäbe weniger Grabungen und somit Staus. ULS sollten daher nicht ausschließlich als Underground Freight Tunnels, sondern als Multi Utility and Freight Tunnels (MUFT) gedacht werden.

ULS bieten im Vergleich zur dispersen Lieferstruktur der Oberfläche bessere Möglichkeiten der Adaptierung neuer Technologien (Digitalisierung, Automatisierung, alternative Antriebe) und ermöglichen alternative Lieferkonzepte (etwa eine Verbesserung/Ermöglichung des Einsatzes von Lastenrädern auf der letzten Meile). Durch die zentrale Bereitstellung von Infrastruktur wäre auch ein wesentlicher Bestandteil des Scheiterns bisheriger City-Logistik-Konzepte entschärft: jener der Ausschließlichkeitsvereinbarung und der mangelnden Kooperation (siehe S. 43). Den hohen Errichtungs- (und Betriebs-)kosten steht eine Integration von Utilities gegenüber, wodurch Begrünungen im Sinne einer klimagerechten Stadt leichter und kostengünstiger zu realisieren wären und Kosten für Straßengrabungen/ Instandhaltungen sinken würden. Da das Konzept von MUTs jetzt schon langfristig ökonomisch tragfähig ist, könnten diese Vorteile auch die Wirtschaftlichkeit von ULS verbessern – vor allem in einer gesamtsystemischen Ansicht der eingesparten externen Kosten des Verkehrs. Eine Verkehrsverlagerung weg vom Schwerverkehr – im Besonderen auf Hauptverkehrsadern der Stadt – brächte aufgrund der überproportional hohen von Lkw verursachten Instandhaltungskosten von Straßen und Schäden an Leitungen im Untergrund daher ein Vielfaches an Potenzialen für systemische Optimierungen.

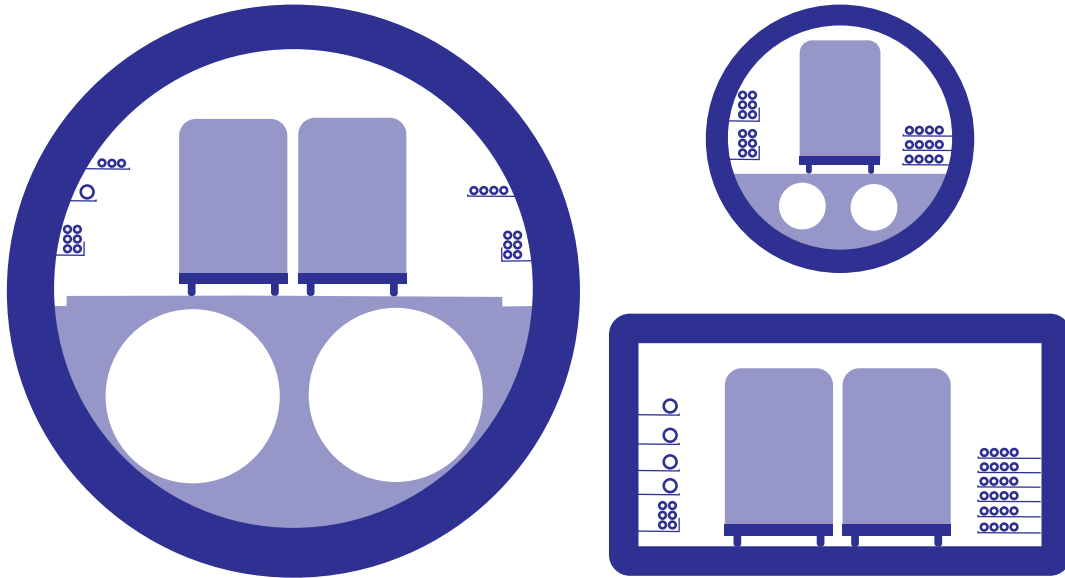


Abbildung 109: ULS können auch Platz für verschiedene Utilities bieten. Quelle: Eigene Darstellung

Im System des MUFT werden Güter am Stadtrand umgeschlagen und gelagert, um anschließend „Just in time“ in die Stadt geliefert zu werden. Ein Tunnel verbindet den Hub am Stadtzentrum mit kleineren (Mikro-)Hubs sowie bestimmten Betrieben in der Stadt. Von den (Mikro-)Hubs werden die Güter entweder abgeholt oder von Logistikunternehmen auf der letzten Meile transportiert, was den Einsatz von Lastenrädern und E-Fahrzeugen besonders ermöglicht. Die Transportkapseln sind standardisiert und auf Rollbehälter und palettierbare Güter zugeschnitten. Rund zwei Drittel der transportierten Güter⁴⁰ eignen sich somit für diese Transportart. Durch die hohe Liefertreue wird nach Bedarf geliefert, was den Platzbedarf der innerstädtischen Hubs verringert. In Ausbuchtungen im Untergrund können Kapseln auch kurze Wartezeiten verbringen, um eine nahtlose Übergabe an ein anderes Transportmittel zu leisten. Über die standardisierten Transportbehältnisse (Paletten, Rollbehälter etc.) können Kapseln schnell entladen werden, welche anschließend über Aufzüge an die Oberfläche transportiert und auf neue Transportvehikel umgeladen oder von Privatpersonen abgeholt werden.

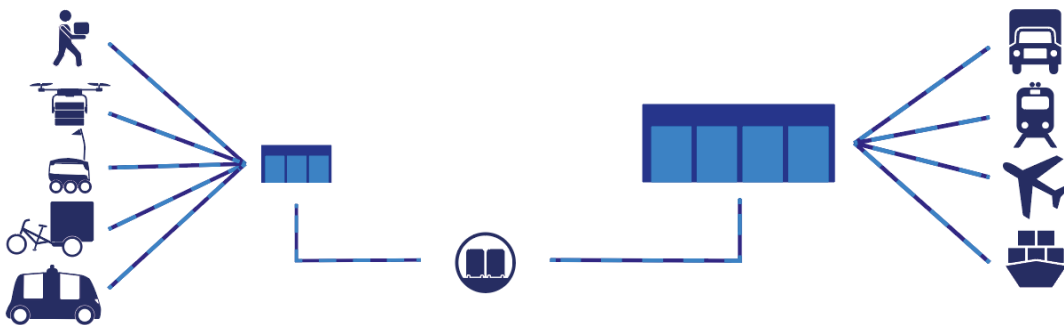


Abbildung 110: Güter werden an einen dezentralen Hub geliefert und durch die MUFT in die Stadt transportiert. Dort können alternative Verkehrsträger eingesetzt werden. Quelle: Eigene Darstellung

Durch die Allokation von Güterströmen auf Hubs und Tunnel sowie durch das Aktivieren raumplanerischer Instrumente zur strategischen Flächenausweisung für logistikintensive Betriebe verändert sich das Gesicht der städtischen Logistik sowohl hinsichtlich der Transportströme, des Flächenbedarfs als auch hinsichtlich der Anbieter. Aus vormals dispersen, individuellen Systemen und Logistikketten, welche Infrastrukturen inkollaborativ nutzen, entsteht ein System der zentralen Bereitstellung. Dies schließt die Widmung von Logistik-

40 Gilt für Eignung ohne „Aufbrechen“ der Lieferung und für die Bundesrepublik Deutschland (vgl. Stein 2014b, S. 4).

flächen im Stadt-Umland an Einstiegspunkten zum genauso ein wie die zentrale Belieferung der City-Hubs und die Vergabe von Lizenzen zur Versorgung der letzten Meile. Eine zentrale Betreibergesellschaft der Hubs und des unterirdischen Transports scheint hier praktikabel und sinnvoll im Sinne einer ganzheitlichen Steuerung.

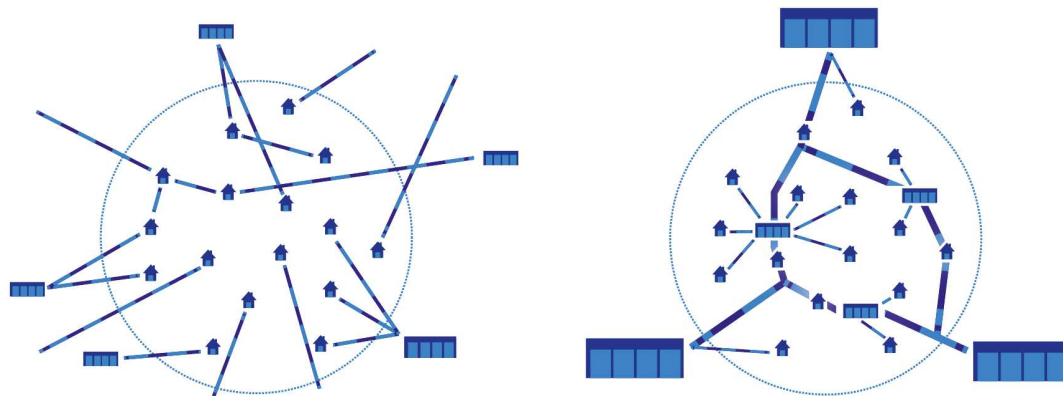


Abbildung 111: Vorher – Nachher. Durch ULS/MUFT können Wege gebündelt zurückgelegt werden. Quelle: Eigene Darstellung

Eine Verlagerung von Güterverkehren in den Untergrund hat die Chance, negative Effekte des Güterverkehrs auf die Stadt zu vermindern. Durch den Umschlag in den Untergrund erfolgt eine Bündelung sowie bedarfsgerechte Lieferung an das jeweilige Ziel bei gleichzeitig sinkendem Bedarf an Lagerfläche in der Innenstadt. Potenziale der Digitalisierung können insofern optimal eingesetzt werden, als die Supply Chain zeitlich verlässlicher in Umschlagsituationen gestaltet werden kann. Die Lieferung kann somit zeit- und bedarfsgerecht an den jeweiligen Umschlag/Lieferpunkt transportiert werden und ist unabhängig von der Verkehrssituation an der Oberfläche. Innenstadtnahe Lagerflächen werden somit entlastet, wohingegen der Bedarf an Lagerflächen im Umland steigt. Flächen im Stadtzentrum können neuer Nutzung zugeführt werden, während negative Effekte des Logistics Sprawl (längere Lieferwege, vermehrter Verkehr an Einfallstraßen) durch lokal emissionsfreie Lieferung im Untergrund abgefangen werden. Durch den Rückgang des Schwerverkehrs an der Oberfläche erhöht sich auch die Verkehrssicherheit – ebenso durch den nun möglichen Einsatz kleinerer Lieferfahrzeuge auf der letzten Meile. Hier können E-Fahrzeuge und Lastenräder die nun gebündelt gelieferten Güter auf effizienteren Routen und Touren liefern. Durch den Rückgang des Schwerverkehrs und den Einsatz kleinerer Fahrzeuge bzw. durch den vermehrten Einsatz von Lastenrädern sinken neben den lokal verursachten Luftschadstoffen auch die Lärmemissionen, was stark belastete Straßen lebenswerter macht.

6.3. WIRKUNGEN DES MUFT: ANALYSE EXISTIERENDER PRAXISBEZOGENER STUDIEN UND DATEN

Wie unter Kapitel 5 beschrieben, existieren Erfahrungen von Anwendungen unterirdischer Logistik bisher sowohl vereinzelt in der Praxis als auch in Konzeptstudien, die sich vor allem mit Machbarkeiten beschäftigen. Die grundsätzliche Machbarkeit solcherlei Projekte kann demnach angenommen werden. Die Betrachtung dieser Arbeit unterscheidet sich jedoch in einem wesentlichen Punkt von bisherigen diesbezüglichen Projekten: Im Fokus steht die Erschließung größtmöglicher Teile der Stadt und die Verlagerung eines größtmöglichen Anteils an Gütern, um größtmögliche positive Effekte hinsichtlich sozialer, ökologischer und ökonomischer externer Kosten zu erzielen. Hierzu gibt es – abgesehen von Elementen der Untersuchungen zu CargoCap und Cargo Sous Terrain – keine dem Autor bekannten Projekte oder Machbarkeitsstudien. Eine Analyse der möglichen Wirkungen kann sich folglich nur bedingt auf bereits absolvierte Studien oder Erkenntnisse aus durchgeführten Projekten stützen, beziehen sich diese doch vor allem auf den inter-regionalen Transport im Untergrund oder nur auf kleinräumige Systeme mit keiner oder geringer Netzbildungsfähigkeit in Städten.

Zu etwaigen Wirkungen und Effekten kann folglich keine fundierte Aussage getroffen werden, weshalb in einem weiteren Schritt eine Analyse bekannter Studien sowie deren Anwendung an einem Fallbeispiel (hier Wien) vollzogen wird, um einen Überblick der Verlagerungseffekte und der möglichen Einsparungen an Fahrten wie externen Kosten zu generieren.

Nicht im Fokus steht eine Evaluierung hinsichtlich der Betreiberkonzepte und organisatorischen, rechtlichen, planungspolitischen wie volks- und betriebswirtschaftlichen Machbarkeiten. Es wird vielmehr ein Versuch unternommen, mögliche Wirkungen einer unterirdischen Logistik im Stadtraum räumlich strukturiert und quantitativ wie qualitativ zu eruieren. Dies soll durch ein Abbild des lokalen Logistikaufkommens erreicht werden, anhand dessen weitere Analysen durchgeführt werden. So wird ein räumliches Modell der Logistikkintensität erstellt, was sowohl qualitative (neue Logistikkonzepte, verbesserte Aufenthaltsqualität in Straßenräumen, Wirkungen auf den Stadtraum u.a.) als auch quantitative (verursachte Kilometer, Emissionen, Straßenbelegung u.a.) Rückschlüsse zu einer möglichen unterirdischen Belieferung zulässt. Die Untersuchung erfolgt am Beispiel Wiens.

In der Statistik existieren hierzu vor allem zwei für die Analyse des Güterverkehrsaufkommens relevante „Klassifikationen“ und damit verbundene Erhebungen: die der NST 2007 (Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport in der Revision von 2007) und die der NACE Rev. 2 (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne). In Österreich existiert – eng angelehnt an die Klassifikation der NACE – die der ÖNACE, welche detaillierter auf die lokalen Besonderheiten der österreichischen Wirtschaftsstruktur Rücksicht nimmt. Zu diesen beiden Klassifikationen werden durch nationale Statistikstellen – im Rahmen von EU-Vorgaben – Daten zur expliziten Wirtschaftsstruktur räumlich detailliert (in dieser Arbeit liegen sie im Raster von 250 Metern vor) erhoben (NACE) und das Güteraufkommen nach Güterarten (NST 2007) und NUTS-3-Regionen⁴¹ dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Skalierung sowie eines mangelnden Links zwischen den beiden Datensätzen, die keine Rückschlüsse darauf zulassen, welcher Wirtschaftssektor wie viele Tonnen welches Gutes von welchem Wirtschaftssektor und Standort transportiert und nachfragt, können aus den etwa auf Eurostat veröffentlichten Daten noch keine kleinräumigen Rückschlüsse gezogen werden. Zwischen Städten, Regionen und Staaten existieren weiters teils deutliche Unterschiede in der nachgefragten Güterstruktur, was bei Anwendung andernorts erhobener Daten zu Unschärfen im Ergebnis führt (siehe Abbildung 112).

NST 2007-Code	NST 2007-Kurzbezeichnung	Brüssel	Berlin	Hamburg	Madrid	Wien
01	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	3,17%	0,92%	5,26%	3,68%	4,26%
02	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	0,12%	0,10%	0,25%	0,01%	0,22%
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	41,51%	30,99%	18,45%	28,42%	32,69%
04	Nahrungs- und Genussmittel	10,86%	7,86%	11,09%	12,88%	3,84%
05	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren		0,13%	1,45%	1,09%	0,96%
06	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	1,46%	2,30%	2,11%	2,29%	4,00%

41 Die Europäische Union klassifiziert Räume in drei Kategorien (NUTS 1, 2 und 3). In NUTS 1 werden gruppierte Bundesländer, in NUTS 2 Verwaltungseinheiten auf Bundeslandebene und in NUTS 3 gruppierte Gemeinden und Bezirke zusammengefasst.

07	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	4,49%	2,71%	8,49%	5,55%	4,99%
08	Chemische Erzeugnisse etc.	0,33%	1,40%	4,47%	2,56%	0,66%
09	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	15,63%	16,89%	7,47%	14,15%	15,60%
10	Metalle und Metallerzeugnisse	1,46%	2,08%	3,09%	1,74%	1,85%
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	1,98%	1,28%	2,95%	0,97%	0,56%
12	Fahrzeuge	1,60%	1,89%	1,57%	2,06%	0,88%
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	3,06%	0,24%	0,72%	0,80%	2,74%
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	8,50%	18,38%	6,41%	8,50%	10,84%
15	Post, Pakete	0,31%	1,30%	2,02%	8,34%	1,23%
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	0,60%	3,33%	4,66%	2,32%	3,58%
17	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter		3,82%	2,22%	0,21%	2,67%
18	Sammelgut	4,33%	4,35%	14,19%	1,98%	5,52%
19	Gutart unbekannt	0,40%	0,05%	3,14%	2,46%	2,90%
20	Sonstige Güter a.n.g.	0,18%	-	-	-	-

Abbildung 112: Unterschiede im auf der Straße transportierten Güteraufkommen nach Gewicht in Prozent. Ein Vergleich europäischer Städte im Jahr 2018. Quelle: Eigene Darstellung nach Eurostat 2020c.

Daten zum Güteraufkommen und zu den Güterströmen existieren somit vor allem im übergeordneten Maßstab (etwa auf NUTS-3-Ebene). O-D-Matrizen sind nicht kleinräumig anwendbar erhoben bzw. öffentlich verfügbar.

Christian Schmidt beschreibt etwa, dass durch City-Logistik-Projekte nur etwa 3% des städtischen Verkehrs – bzw. 30% des städtischen Güterverkehrs – adressiert werden (vgl. Schmidt 1997, S. 187). Die meisten existierenden Modellierungen und Studien grenzen sich jedoch thematisch, inhaltlich oder räumlich stark ab und inkludieren die „gesamte“ städtische Logistik nicht in ihre Betrachtungen. So wird etwa thematisch oft darauf abgezielt, Einsparungspotenziale in einer Neuorganisation der Verteilung durch die Errichtung von GVZs, City-Hubs, Mikro-Hubs oder Routen in verkehrlicher oder betrieblicher Hinsicht zu untersuchen. Auch werden die Verkehre in ihrer Dimension (räumlich, semantisch, zeitlich) oft nur ungenügend dargestellt. Auch sind meist nur bestimmte Branchen (oder deren Teilbereiche) von einer Untersuchung betroffen. Beispiele hierfür finden sich in einigen großen City-Logistik Studien und Projekten (vgl. Berg 1999; vgl. Wittenbrink et al. 2019, S. 355; vgl. Wittenbrink et al. 2016; vgl. Brenner 2017; vgl. Ruesch & Glücker 2001; vgl. Leerkamp 2018, S. 19; vgl. Dablanc et al. 2018; vgl. Malindretos et al. 2018)⁴².

42 Die Anzahl von Studien, die räumlich anwendbare Daten generieren, ist ebenfalls gering. Die wenigen Studien, die existieren, wurden aufgrund des Mangels an Standardisierung und kollektiven Grundlagen meist von Kommunen selbst durchgeführt und hatten konkrete, projektgebundene Ziele (vgl. Ruesch & Glücker 2001, S. 14–17). Die semantische „Schwankungsbreite“ des Begriffs Güterverkehr (für den es kaum studienübergreifend einheitliche Definitionen gibt) erschwert zusätzlich die Übernahme und Verwendung existierender Daten. Somit stehen lediglich ausschnittsweise Betrachtungen und Daten für eine Weiterverarbeitung und Integration in das räumliche Logistikmodell Wiens zur Verfügung.

Aufgrund der Komplexität und teilweisen Interkompatibilität des Gesamtsystems sowie aufgrund der spezifischen Projektziele und -grenzen sind die genannten Angrenzungen wohl sinnvoll, sie lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die gesamte Struktur der City-Logistik zu. Für eine ganzheitliche Analyse der Verlagerungs- und Einsparungspotenziale durch die neue Infrastruktur der Untergrundlogistik sind diese Daten zu ungenau, da sie sich auf bestimmte Branchen sowie urbane Teilräume beziehen und demnach nicht in eine gesamte und vor allem kleinräumige Klassifikation einordnen lassen.

Es kann folglich auf keine ausgearbeiteten Daten und Studien zurückgegriffen werden. Es existiert jedoch ein Datensatz, welcher Güterverkehr u. a. nach Räumen und Branchen unterscheidet: die Erhebung zum Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD 2010⁴³). In dieser umfassenden Studie werden detailliert verkehrliche Zusammenhänge – unterschieden nach Räumen, Branchen und anderen Merkmalen – erhoben. Im Zuge von KiD 2010 wurden letztlich zwei Datensätze erstellt: einer für den „public use“ und einer für den „scientific use“. Im Rahmen dieser Arbeit wurde aufgrund der Verfügbarkeit mit dem „public use“-Datensatz gearbeitet. Im „scientific use“-Datensatz sind Geodaten inkludiert, was im Rahmen dieser Arbeit räumlich genauere Analysen ermöglicht hätte. Dennoch bietet der Datensatz des „public use“-Files mit 70.249 erfassten Kraftfahrzeugtagen (mit bis zu je 205 Merkmalen) und 117.377 erfassten Fahrten (mit bis zu je 116 Merkmalen) eine ausreichende Grundlage für einen fundierten Überblick. Es wurden folglich rund 187.000 Datenpunkte mit rund 28 Millionen Merkmalen ausgewertet. So ließen sich die Fahrten pro NACE-Sektor, die Fahrten pro Beschäftigtem nach NACE-Sektor sowie zurückgelegte Kilometer und emittierte Schadstoffe und Treibhausgase errechnen.



Abbildung 113: Eine Darstellung des ULS von CargoCap. Unter den Straßen verlegt, können in einem System des ULS auch Leitungen gebündelt und zugänglich installiert werden – ein MUFT entsteht. Quelle: CargoCap o.J.a.

43 KiD 2010 ist die Nachfolgestudie von KiD 2002 und wurde gegenüber der Vorgängerstudie methodisch erweitert.

7. POTENZIALANALYSE VON UNTERGRUNDLOGISTIK AM FALLBEISPIEL WIEN

7.1. ZUR MODELLIERUNG DES STÄDTISCHEN GÜTERVERKEHRS

Nachdem das Monitoring des städtischen Güterverkehrs nach den 1970er Jahren nachließ, stand ab dann der Personenverkehr stärker im Fokus der Datengenerierung (vgl. Ogden 1992). Seit den 90er Jahren wurden jedoch im Zuge von City-Logistik-Projekten und einer zunehmend offenkundigen Problematik des städtischen Verkehrs wieder vermehrt statistische Daten zum städtischen Güterverkehr erhoben (vgl. Dablanc 2009, S. 6). Dennoch sind detaillierte Studien bzw. konkret nach Branchen, Arbeitsplätzen oder BewohnerInnen aufgeschlüsselte Erhebungen des Güteraufkommens in Städten schwer zu finden. Dieser Erkenntnis schließt sich ein umfassendes europäisches Forschungsprojekt – BESTUFS – an (vgl. Ruesch & Glücker 2001, S. 17). Es werden zwar u. a. Fahrten, Wegezwecke, transportierte Tonnen, Fahrdauern und zurückgelegte Wege sogar – etwa in der KiD 2002 oder der KiD 2010 – differenziert nach verschiedenen Raumtypen und Branchen nach NACE gemessen, allerdings sind valide, direkte Schlüsse aufgrund der hohen Schwankungsbreiten der ermittelten Daten (bis zu >30%) nicht immer möglich – bei einer zu geringen Fallzahl ($n < 35$) entfallen sogar die Angaben (vgl. KiD 2010a, S. 23). Ebenfalls gemessen werden transportierte Tonnen nach NST-Klassen und differenziert nach NUTS-3-Regionen (vgl. Eurostat 2020a). Auf kleinräumiger Ebene gibt es jedoch keine dem Verfasser dieser Arbeit bekannten standardisierten Erhebungsverfahren. Zum selben Ergebnis kommt, wenn auch zeitlich schon etwas zurückliegend, das EU-Projekt BESTUFS I (vgl. Ruesch & Glücker 2001, S. 30).

Da das Feld an zu modellierenden und untersuchenden Elementen der städtischen Logistik also ein großes ist und es nur eine begrenzte Anzahl an relevanten Studien gibt, muss die Datenlage als fragmentiert bezeichnet werden. Für eine detaillierte räumliche Abschätzung des Logistikaufkommens sind diese Daten jedoch wesentlich⁴⁴. Aus den Erkenntnissen vergangener Projekte und dieser Arbeit muss folglich eine Annäherung an ein eigenes Modell erfolgen.

Die Studie von BESTUFS I (vgl. Ruesch & Glücker 2001) identifiziert – dies spiegelt die Erkenntnisse und den Zugang dieser Arbeit weitgehend wider – folgende Kriterien, welche für eine detaillierte, räumliche Analyse und Modellierung der Stadtlogistik notwendig sind:

- Strukturdaten pro Zone (EinwohnerInnen, Beschäftigte pro Branche etc.)
- Netzwerkdaten (Kapazitäten der Straße, Lieferzeiten etc.)
- Transportmodi (Art der Transportvehikel etc.)
- Daten zur Routengenerierung nach Branche und Produkt

44 Dabei böten sich einige Möglichkeiten, mittels bereits bestehender Instrumente und Methoden die Übersicht der städtischen Logistik zu verbessern. So werden etwa von Seiten der Unternehmen GPS-Daten von deren Lieferfahrzeugen erfasst, womit etwa Ziele, Routen und Engpässe im Straßenverkehr erhoben werden können. Lügen diese Daten von mehreren Unternehmen vor, würde dies für die Planung einen großen Mehrwert darstellen. Allerdings liegt eine Freigabe dieser Daten nicht im Interesse der Unternehmen. Ein anderes nicht ausgeschöpftes Potenzial liegt in einer Erhebung, die von der WKO betrieben wird: der elektronischen Meldung der Straßengüterverkehrserhebung. In dieser geben Unternehmen unter anderem Gewicht, Güterklasse nach NST 2007 sowie Start- und Zielort an (vgl. WKO o.J.). Mittels eines weiteren Buttons zur Art des Ziels nach (Ö)NACE könnte ein verhältnismäßig einfacher Beitrag zur Indikatorenermittlung zum branchenspezifischen Güterverkehrsaufkommen geleistet werden. Hier zeigt sich exemplarisch, was generell gilt: Daten (vor allem zwischen NST 2007 und NACE) sind nicht verlinkt bzw. nicht verlinkbar.

- Daten zur Generierung der Transportkette
- O-D-Matrizen in Tonnen/Fahrten (nach Vehikeltyp und Branche/Sendung) (vgl. Ruesch & Glücker 2001, S. 33).

Zur Identifikation logistischer Hotspots mit dem Ziel einer Analyse der Einzugsbereiche und der Potenziale von Untergrundlogistik werden folgend vor allem Strukturdaten, Transportmodi und O-D-Matrizen untersucht. Daten zur Routengenerierung und zu verwendeten Netzwerken könnten in einem weiteren Schritt konkretere Ergebnisse liefern, müssen jedoch separat lokal erhoben werden, was hier jedoch aufgrund des damit verbundenen Umfangs nicht erfolgt ist.

Mittels dieser Kriterien kann ein Modell des räumlichen Logistikaufkommens Wien entworfen werden. Dabei wird methodisch und inhaltlich auf Elemente aus Strukturklassenmodellen wie gütergruppenspezifischen Modellen Bezug genommen (siehe Abbildung 114). Gütergruppenspezifische Modelle stellen hierbei eine Weiterentwicklung von Strukturklassenmodellen dar, wobei sie insbesondere genauer auf die Verschiedenartigkeit von Quellen und Senken nach Wirtschaftssektor eingehen. Zugrunde liegt die Erkenntnis, dass Güterverkehr vor allem aus Konsum (privater Haushalte), Produktion sowie Bearbeitung/Dienstleistung entsteht und somit räumlich beschrieben werden kann. Während in Strukturklassenmodellen noch sehr generalisierte Werte zur Modellbildung herangezogen werden (z.B. Angestellte aus sekundärem und tertiärem Sektor je Verkehrszelle), definiert ein gütergruppenspezifisches Modell schon viel mehr die gütergruppenspezifische Aufteilung nach Wirtschaftssektoren (vgl. Baudach et al. 2013, S. 387–388). Dies ist im Rahmen dieser Arbeit aufgrund einer nicht vorhandenen Datenschnittstelle (siehe S. 124) nicht vollständig möglich. Sehr wohl kann jedoch die Nachfrage nach Lieferungen je Verkehrszelle und Wirtschaftssektor aggregiert berechnet werden. Güterverflechtungen oder Input-Output-Beziehungen sind damit nicht Bestandteil der Betrachtung dieser Arbeit.

Klassifizierung von Wirtschaftsverkehrsmodellen				
Aggregations-tiefe	Analyse-maßstab	Messgröße	Regionale Auflösung	Modelltyp
Aggregiert Disaggregiert	Makroskopisch Mesoskopisch Mikroskopisch	Güterströme Fahrzeugbewegungen Kombination aus Fahrzeug- und Güterströmen	International National Regional Urban Betriebsgelände	Verflechtungs-bezogene Modelle Strukturklassen-bezogene Modelle Güterspezifische Modelle Ökonometrische Aggregatsmodelle
Statische Daten: Lieferaufkommen pro Beschäftigtem Lieferaufkommen nach Branche Lieferaufkommen nach Raum	Strukturdaten: Beschäftigungsdaten nach NACE pro Raster BewohnerInnenstruktur pro Raster	Datensatz: Ermittlung von Fahrten durch KiT 2010	Raumklassen: Filterung der Fahrten nach Raumtypen	Modellziele: Filterung nach Wirtschaftsklasse Filterung nach Fahrzeugklasse Filterung nach Fahrtziel

Abbildung 114: Abgrenzung der Potenzialanalyse anhand einer Klassifizierung von Wirtschaftsverkehrsmodellen. Quelle: Eigene Darstellung nach Baudach et al. 2013, S. 385.

Zur Ermittlung des räumlichen Lieferaufkommens werden Daten aus Statistik Austria, KiD 2010, CopCete sowie diversen Studien analysiert, ausgewertet und in Bezug gesetzt. Die Werte sind folglich nicht konkret auf Wien bezogen, sondern stellen lediglich eine Annäherung an die Gegebenheiten der Stadt dar. Damit ist eine räumlich konkretere Ermittlung von Typen und Ausprägung der Orte, an denen Lieferungen nachgefragt respektive erzeugt

werden, möglich. Dies geschieht, indem die genannten Daten mittels einer räumlichen Analyse in GIS ausgewertet werden, womit letztlich Einsparungspotenziale in Fahrten, Kilometern und Emissionen geschätzt werden können. Diese Annäherung ergibt eine Abschätzung theoretischer Potenziale.

Es sei angemerkt, dass die Struktur einen Kompromiss darstellt. Von einem für die Betrachtung der Potenziale für Untergrundlogistik „optimalen Modell“ musste aufgrund der mangelnden Datenlage Abstand genommen werden. Die optimale Lösung für die Fragestellung dieser Arbeit wäre die Verschneidung von Beschäftigungs- und Güterverkehrsdaten nach NACE und beförderten Gütertypen nach NST 2007, weil sich dadurch die Lieferungen nach Eignung für unterirdische Transporte räumlich differenzieren ließen. Für beide Klassifizierungen (NACE, NST) existieren separate Erhebungsmethoden, allerdings keinerlei statistische Schnittstellen, die etwa die im KiD 2010 ermittelte Fahrtenanzahl nach NACE mit der transportierten Gütermenge nach NST in Bezug setzen lässt. Während sich mittels der Daten nach NACE durch die Verbindung mit erhobenen Beschäftigungsdaten räumliche Verortungen von Lieferaufkommen abschätzen lassen, sind die Daten nach NST 2007 gänzlich ungeeignet für kleinräumige Analysen, da keinerlei Annäherungsebenen – abgesehen von einer Einordnung nach NUTS 3 – möglich sind. Aufgrund der Kostenpflicht für diverse Datensätze, wie zu exakten Betriebsstandorten klassifiziert nach NACE (vgl. Herold o.J.), können relevante Daten im Zuge dieser Arbeit nicht herangezogen werden.

Ein Ansatz bestünde in der Integration von Standortdaten – etwa extrahiert aus Datensätzen von OpenStreetMap (OSM), Google etc. – in eine Analyse mittels GIS. Diese Daten wären zwar in der Regel aufgrund der Angabe der Standorte im Gegensatz zu Rastern detaillierter, gleichzeitig wäre aber eine genaue Überarbeitung aufgrund der hohen Fehlerquote (u.a. Doppelnennungen, Unschärfen im Standort und der Nennung) notwendig. Gleichzeitig wäre eine Verschränkung mit Wirtschaftsklassen zur weiteren Schärfung mit hohem, nicht automatisiertem Aufwand durchzuführen. Die Methode der genauen Standorte stellt aufgrund des hohen Arbeitsaufwands und fehlender Möglichkeiten der Datenverschränkung im Rahmen dieser Arbeit deshalb keine Möglichkeit dar, kann aber durchaus zu detaillierten Modellen führen (vgl. Brenner 2017, S. 68–74).

Das in Abbildung 115 auf Seite 127 skizzierte Modell liefert Daten und Anhaltspunkte, die auch nach langer Literaturrecherche und mehrmaligem Nachfragen bei verschiedenen ExpertInnen nicht zu eruieren bzw. nicht bekannt waren. Die berechneten Lieferungen pro Beschäftigten nach Branche und weiters deren Zuordnung zu Ziel- bzw. Quellkategorien ist somit eine Annäherung. Auch wenn die zugrunde liegenden Datensätze (wie das KiT 2010) einen hohen Detailgrad und durchaus Aussagen zulassen, kann keine Angabe zu den Schwankungsbreiten gegeben werden, da diese im KiT 2010 grundsätzlich bereits gefiltert und ohne Angabe dargestellt werden.

Auch hinsichtlich der Analyse der Verlagerungspotenziale ergeben sich Unschärfen durch die Nicht-Beachtung der Ladezeiten, die in einigen anderen Modellen und Untersuchungen berücksichtigt werden (vgl. u.a. Brenner 2017). Die Aufenthaltsdauer von Lieferfahrzeugen im öffentlichen Raum ist natürlich aus vielerlei Gründen interessant, jedoch wurde aufgrund der unklaren Datenlage im KiT 2010 und dem dadurch hohen Aufwand einer Erhebung auf eine Untersuchung verzichtet.

Ein anderer – in Studien zur City-Logistik häufig untersuchter – Parameter betrifft die Verlagerungseffekte im Straßenraum. So wird etwa untersucht, welche verkehrlichen Effekte entstehen (wo sich der Verkehr bündelt oder verteilt) oder/und welche Straßen besonders stark oder besonders wenig von sich ändernden Verkehrsströmen betroffen sind. Für eine Untersuchung dieser Effekte in dieser Arbeit war jedoch einerseits keine Datengrundlage vorhanden, und andererseits auch die Flughöhe der Betrachtung nicht passend.

Das vorliegende Modell und die darauf aufbauende Potenzialanalyse beruht somit auf einer Verschmelzung des primären Erkenntnisinteresses dieser Arbeit sowie den vorhandenen und verfügbaren Datengrundlagen.

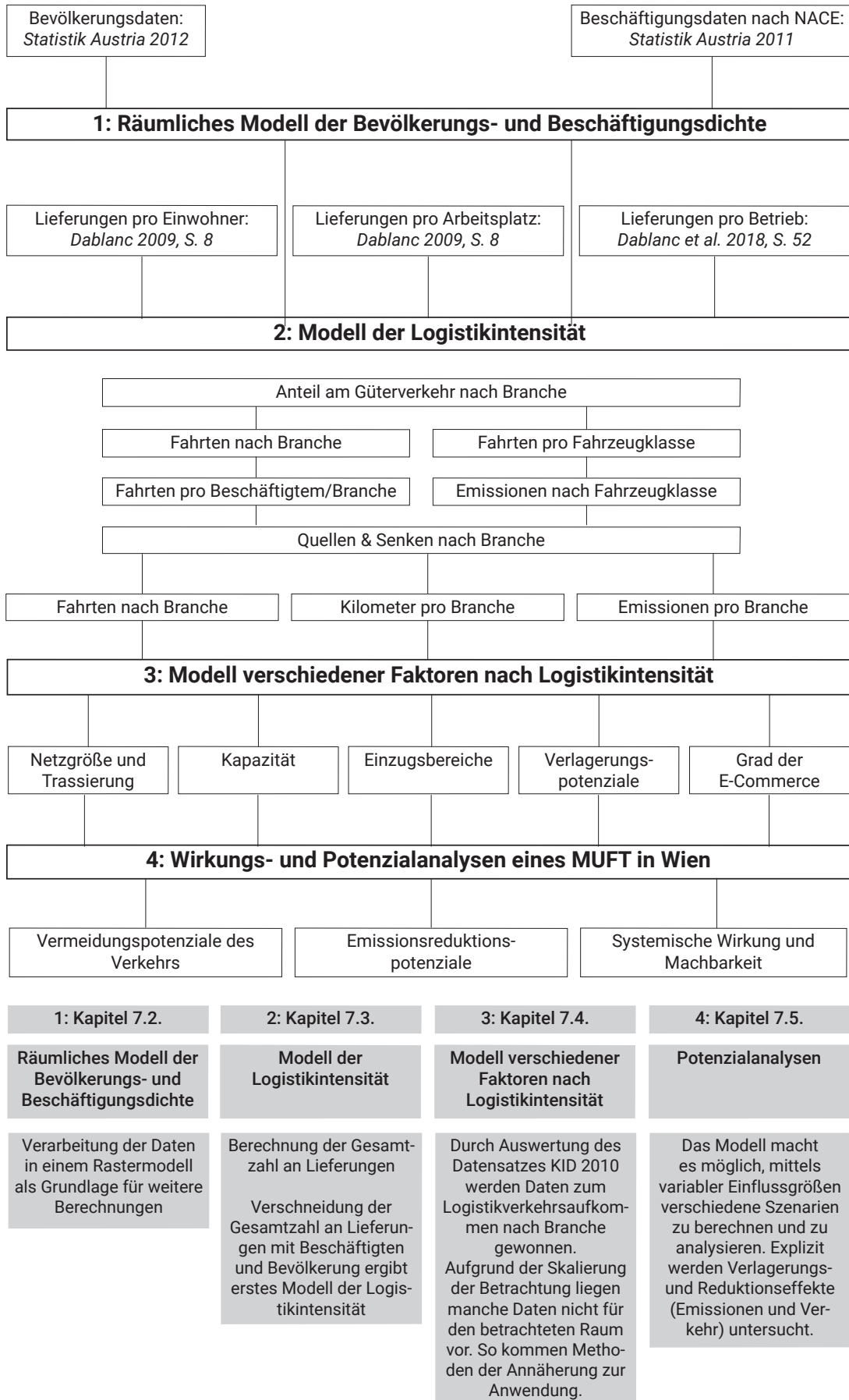


Abbildung 115: Abbildung der Struktur und der Berechnungsschritte. Quelle: Eigene Darstellung

7.2. STRUKTUR VON BEVÖLKERUNG UND BESCHÄFTIGUNG IN WIEN

In einem ersten Schritt werden die EinwohnerInnen und die Beschäftigten Wiens räumlich zugewiesen. Die Daten, die der Untersuchung zu Grunde liegen, wurden über die Statistik Austria bezogen⁴⁵ und sind in einem Raster von 250 Metern beschrieben. Einerseits wurde zur Bestimmung der Beschäftigten die Arbeitsstättenzählung 2011 und zur Bestimmung der EinwohnerInnenzahl die Bevölkerungsdaten von 2012 verwendet. Aktuellere Daten waren im Rahmen dieser Arbeit nicht beziehbar. Die Daten zeigen eine Beschäftigtenzahl in Wien von 979.614 (bei 140.041 Arbeitsstätten) und eine Bevölkerung von 1,7 Millionen Menschen.

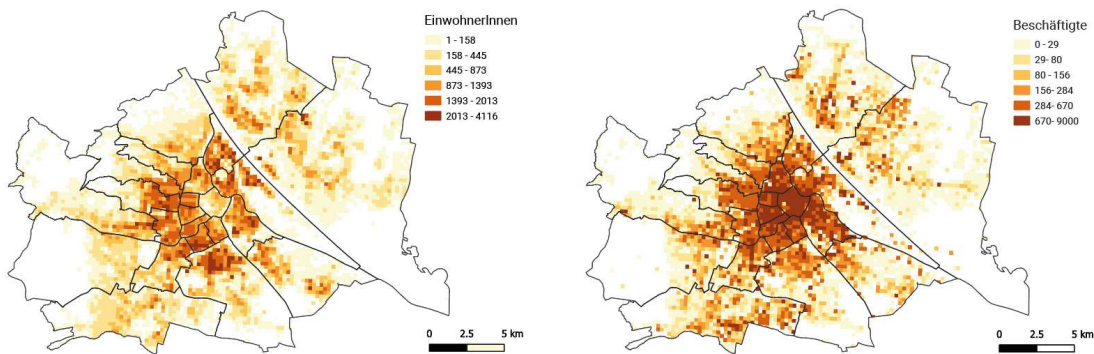


Abbildung 116: Räumliche Verteilung von EinwohnerInnen und Beschäftigten in Wien. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria 2011 und 2012.

In der Abbildung der Konzentration der Beschäftigten in Wien (siehe Abbildung 116) wird ein Faktor bedeutsam, der in der weiteren Berechnung und Datenrecherche für Unschärfen sorgen kann, nämlich der Faktor des ÖNACE-Sektors H (Verkehr und Lagerei). Während im ländlichen Bereich die meisten Fahrten des Güterverkehrs vom Unternehmen der jeweiligen Senke oder Quelle selbst getätigt werden, werden im urbanen Bereich Fahrten oft von Drittanbietern dieses Wirtschaftssektors H getätigt. Damit ist vor allem der Verkehr dieses Sektors räumlich nicht an seiner Betriebsstätte verortbar, da dieser im gesamten Raum operiert und Leistungen erbringt. Dies muss bei der weiteren Vorgehensweise beachtet werden. Abbildung 117 zeigt im Vergleich zur Abbildung 116, wie sehr sich die Beschäftigtenlage (u.a. durch die Bereinigung der Arbeitsstätte der Wiener Linien) hierdurch verändert.

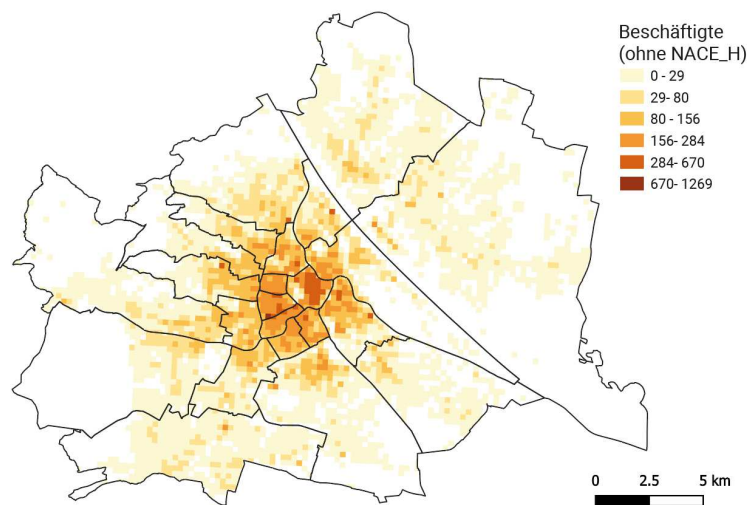


Abbildung 117: Beschäftigte in Wien (ohne NACE-Sektor H). Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria 2011

45 Hier sei auf die freundliche Bereitstellung der Daten sowie die Beratung der Vorgehensweise durch DI Robert Kalasek vom Institut für Stadt- und Regionalforschung an der TU Wien verwiesen.

Da die Zahl der Lieferungen pro Wirtschaftssektor variiert, ergeben diese Darstellungen noch kein Bild der Logistikintensität. Im nächsten Schritt werden so die Lieferungen pro Beschäftigten nach NACE-Klassen unterschieden. Durch die Unterteilung der Beschäftigten in NACE-Gruppen ist eine weitere Präzisierung möglich, da nun in jedem Raster ein genauere Wert zur Anzahl der täglichen Lieferungen ermittelt werden kann. Die Datenlage hierzu ist wenig ergiebig, da die meisten (City-)Logistik-Projekte lediglich Daten für einzelne Wirtschaftsbereiche (und nicht Klassen nach NACE) – und das räumlich sehr abgegrenzt – erhoben haben. So konzentrieren sich, wie etwa in den in der Arbeit bereits erwähnten Projekten in Basel und München, detailliert erhobene Daten im Rahmen von City-Logistik-Projekten oft auf bestimmte Segmente des innerstädtischen Einzelhandels. Andere Erhebungen weisen der NACE-Klasse Verkehr und Lagerei (Klasse H) einen zu hohen Bestandteil zu bzw. unterscheiden nicht in Quellen und Senken, sondern lediglich nach Transportbranche und sind demzufolge im Sinne dieser Arbeit ungenau (vgl. Brenner 2017, S. 46). Einzig die Erhebungen „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002“ und „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ weisen detaillierte Daten zu einzelnen Wirtschaftsklassen aus und waren im Rahmen dieser Arbeit in weiten Teilen verfügbar.

Die Ermittlung räumlich anwendbarer Werte

Die Erhebungen des KiD unterscheiden in acht unterschiedliche Räume (siedlungsstrukturelle Kreistypen, vgl. BBSR 2011), was einen weiteren Detaillierungsgrad in der Erstellung des Modells zulässt bzw. die explizitere Auswertung von Daten ermöglicht.

	Kreistyp	Definition
1	Kernstädte der Agglomerationsräume	Kreisfreie Städte über 100.000 Einwohner
2	Hochverdichtete Kreise der Agglomerationsräume	Kreise mit einer Dichte über 300 Einwohner/km ²
3	Verdichtete Kreise der Agglomerationsräume	Kreise mit einer Dichte über 150 Einwohner/km ²
4	Ländliche Kreise der Agglomerationsräume	Kreise/Kreisregionen mit einer Dichte unter 150 Einwohner/km ²
5	Kernstädte der verstädterten Räume	Kreisfreie Städte über 100.000 Einwohner
6	Verdichtete Kreise der verstädterten Räume	Kreise/Kreisregionen mit einer Dichte über 150 Einwohner/km ²
7	Ländliche Kreise der verstädterten Räume	Kreise/Kreisregionen mit einer Dichte unter 150 Einwohner/km ²
8	Ländliche Kreise höherer Dichte der ländlichen Räume	Kreise/Kreisregionen mit einer Dichte über 100 Einwohner/km ²
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte der ländlichen Räume	Kreise/Kreisregionen mit einer Dichte unter 100 Einwohner/km ²

Abbildung 118: Klassifizierung der in KiD 2010 verwendeten Kreistypen. Quelle: Eigene Darstellung nach BBSR 2011

Die Kreistypen definieren sich demnach nicht bloß über ihre Bevölkerungsdichte, sondern auch über ihre zentralörtliche Funktion. Diese Funktionen haben Einfluss auf die Anteile der verschiedenen Wirtschaftsklassen am Gesamtverkehr. Der Einfluss der Raumstruktur auf die Verkehre des Gütertransports wird angesichts der Abbildung 118 deutlich. Es zeigt sich vor allem in Bezug auf private Einkaufswege, wie durch räumliche Dichte die Anzahl an Einkaufsfahrten tendenziell sinkt. Wie die folgende Abbildung zeigt, unterscheiden sich die Verkehre in unterschiedlichen Teilräumen teils deutlich.

Kreistyp	Anteil gewerblicher GV am Gesamtverkehr	Anteil privater GV am Gesamtverkehr	Verwendung im Modell ⁴⁶
1 Kernstädte der Agglomerationsräume	13,7%	4,00%	X
2 Hochverdichtete Kreise der Agglomerationsräume	14,8%	17,23%	X
3 Verdichtete Kreise der Agglomerationsräume	12,5%	9,00%	
4 Ländliche Kreise der Agglomerationsräume	15,9%	8,30%	
5 Kernstädte der verstädterten Räume	18,7%	10,18%	X
6 Verdichtete Kreise der verstädterten Räume	14,2%	8,15%	
7 Ländliche Kreise der verstädterten Räume	19,1%	10,17%	
8 Ländliche Kreise höherer Dichte der ländlichen Räume	17,4%	20,95%	
9 Ländliche Kreise geringerer Dichte der ländlichen Räume	25,9%	8,08%	

Abbildung 119: Unterschiede im Güteraufkommen nach Kreistypen und verwendete Kreistypen im Modell. Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010

Am Beispiel Wien ergibt sich eine Unschärfe. Der Datensatz des KiD 2010 (vgl. KiT 2010), der für diese Arbeit zur Verfügung stand, gibt für die Kategorie „Kernstädte der Agglomerationsräume“ bei Betrachtung der Güterverkehre in mehreren NACE-Kategorien keine Werte mehr aus. Die Stadt Wien weist innerhalb ihrer Stadtgrenzen große Unterschiede hinsichtlich ihrer Struktur und Dichte auf und ist somit keine homogene Entität. Während die Bevölkerungsdichte in Wien gesamt 4574,69 EinwohnerInnen/km² beträgt (vgl. www.stadtregionen.at 2020), existieren klarerweise beträchtliche kleinräumige Unterschiede (siehe Abbildung 116). Durch die Aggregation und Einbeziehung von weiteren Kreistypen kann mit einer solideren Datenbasis (mit vorhandenen Werten sowie geringeren Schwankungsbreiten) gearbeitet werden, die allerdings eine Abstraktion darstellt. Eine Abstraktion der Werte wäre jedoch bei einer reinen Betrachtung des Kreistyps 1 gegeben, weshalb das Problem nicht als gravierend eingestuft wird. Somit werden für die Berechnung der NACE-spezifischen Güterverkehrsanteile für Wien – abgesehen von der Kategorie „Kernstädte der Agglomerationsräume“ – auch die Kreise „Hochverdichtete Kreise der Agglomerationsräume“ und „Kernstädte der verstädterten Räume“ für die folgenden Berechnungen herangezogen.

Der Anteil an Privatfahrzeugen im Güterverkehr sinkt mit einer zunehmenden Bevölkerungsdichte. Dies kann damit begründet werden, dass etwa Einkäufe zu Fuß oder öffentlich erledigt werden. Weiters ist die Bündelung von Gütern im verdichteten Raum eher möglich. Ebenso gilt: je dichter und städtischer ein Raum, desto öfter werden Verkehre an Dritte ausgelagert. Dies macht Verkehre manchmal nicht direkt zuordenbar. All dies sind Gründe für die teils deutlichen Unterschiede der Wirtschaftsklassen am Anteil im Güterverkehr nach Kreistypen (siehe Abbildung 120).

⁴⁶ In den weiteren Berechnungen wird für Wien mit den Zahlen für die drei markierten Teilräume gerechnet. Dies ergibt sich aus einer zu großen Unschärfe der vorhandenen Daten bei Einzelbetrachtung einerseits und der Heterogenität des Wiener Stadtgebiets in Bezug auf Beschäftigungs- und Bevölkerungsdichte andererseits.

NACE-Kategorie ⁴⁷	Anteil innerhalb des GV	Anteil des GV am Gesamtverkehr	Anteil GV innerhalb der Branche
A Landwirtschaft, Fischerei	1,01%	0,15%	29,48%
B Bergbau	0,29%	0,04%	53,37%
C Verarbeitendes Gewerbe	4,84%	0,71%	30,23%
D Energieversorgung	0,50%	0,07%	19,79%
E Wasserversorgung, Entsorgung	2,13%	0,31%	60,24%
F Baugewerbe/Bau	9,84%	1,44%	6,84%
G Handel (einschl. Kfz)	10,48%	1,53%	43,14%
H Verkehr und Lagerei	42,99%	6,28%	77,03%
I Gastgewerbe	3,46%	0,51%	75,52%
J Information, Kommunikation	1,18%	0,17%	24,00%
K DL (Finanzen/Versicherung)	0,22%	0,03%	7,77%
L Grundstücks-, Wohnwesen	0,74%	0,11%	29,55%
M DL (wissens./techn.)	0,51%	0,07%	6,08%
N DL (sonstige wirtsch.)	4,20%	0,61%	43,21%
O Öffentliche Verwaltung	5,45%	0,80%	44,65%
P Erziehung und Unterricht	0,35%	0,05%	10,95%
Q Gesundheits-, Sozialwesen	3,44%	0,50%	16,39%
R Kunst, Unterhaltung, Erholung	0,13%	0,02%	47,19%
S Dienstleistungen (sonstige)	5,17%	0,76%	43,06%
U Exterritoriale Organisation	k.A.	k.A.	k.A.
V Privatfahrzeug	3,07%	0,45%	0,87%

Abbildung 120: Verkehrsanteile der NACE-Klassen in einer Aggregation der Verkehrsräume 1, 2 und 5 in Prozent. Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010.

⁴⁷ Die Daten aus dem KiD 2010 liegen in NACE-Klassifizierung vor, wohingegen die räumlichen Daten zur Beschäftigung nach ÖNACE klassifiziert sind. Dies sorgt jedoch – wenn überhaupt – nur für geringe Abweichungen, da das Modell der ÖNACE lediglich leichte Abwandlungen im Vergleich zur NACE aufweist, um auf Besonderheiten der österreichischen Wirtschaft besser einzugehen. Dies äußert sich jedoch vorrangig in Unterschieden in Subkategorien der 21 Abschnitte.

7.3. FAHRTEN DES GÜTERVERKEHRS IN WIEN

Ausgehend vom prozentualen Anteil an den Verkehren nach NACE soll in einem ersten Schritt ermittelt werden, wie viele Lieferungen täglich in Wien erfolgen, um darauf aufbauend die Anzahl der Lieferungen pro Wirtschaftsklasse und Beschäftigtem nach Wirtschaftsklasse darzustellen. Zur Ermittlung der Anzahl an täglichen Lieferungen in einer Großstadt wie Wien kann auf keine explizite Erhebung zurückgegriffen werden. Es existieren jedoch Untersuchungen mit dem Anspruch einer möglichst allgemeinen Gültigkeit für europäische Großstädte, aus welchen sich Kenndaten ableiten lassen⁴⁸:

- 0,1 Lieferungen und Abholungen pro Tag und Einwohner (vgl. Dabanc 2009, S. 8)
- Eine Lieferung pro Arbeitsplatz/Woche (vgl. Dabanc 2009, S. 8)
- 4,9 Lieferungen pro Betrieb und Woche in Paris (vgl. Dabanc et al. 2016, S. 52)

Diese Daten sind Studien entnommen, die teilweise explizit auf mögliche Generalisierungen hin erstellt wurden und somit eine gewisse Gültigkeit aufweisen bzw. für eine weiterführende Analyse verwendet werden können. Sie sind zwar allgemein gehalten, sie geben aber dennoch eine gute Übersicht und eine Grundlage, um ausgehend von diesen Annäherungen Schlüsse auf den Emissionsausstoß, auf Auslastung, zurückgelegte Kilometer etc. zuzulassen (siehe S. 124) – Aufreihung von BESTUFS). So kann etwa die ungefähre Zahl täglicher Lieferungen in Wien errechnet werden:

- Lieferungen/Abholungen pro Tag/Einwohner -> $0,1 * 1.772.737 = 177.274$
Lieferungen pro Wochentag (Wien) // [Einwohner Wien 2012 (Statistik Austria 2012) * Lieferungen pro Job/Woche (vgl. Dabanc 2009, S. 8)]
- Beschäftigte*Lieferungen pro Arbeitsplatz/Tag -> $979.614 * 0,2 = 195.923$
Lieferungen pro Wochentag (Wien) // [Beschäftigte Wien 2011 (Statistik Austria 2011) * Lieferungen pro Job/Woche (vgl. Dabanc 2009, S. 8)]
- Anzahl Betriebe* Lieferungen pro Betrieb/Woche -> $140.041 * 4,9 = 161.047$
Lieferungen pro Wochentag (Wien) // [Beschäftigte Wien 2011 (vgl. Statistik Austria 2011) * Lieferungen pro Betrieb/Woche (vgl. Dabanc 2009, S. 8)]

In weiterer Folge und ausgehend von einer 5-Tage-Woche (Montag bis Freitag) wird vom Mittelwert dieser ermittelten Zahlen ausgegangen, der 178.081 Lieferungen pro Wochentag in Wien ergibt. Diese Lieferungen umfassen alle Verkehre der Logistik (etwa Postsendungen an Büros oder Lebensmittellieferungen an Supermärkte, aber auch Verkehre zu Baustellen und weitere), nicht jedoch den privaten Einkauf (vor allem von EinwohnerInnen). Dieser Aspekt ist vor allem im Zuge eines rasant wachsenden KEP- und E-Commerce-Sektors relevant. Rund 37% des betrachteten Güterverkehrs in Wien betreffen den Binnenverkehr, weiters führen mehr Wege nach Wien (34%) als hinaus (29%, vgl. Brenner 2017, S. 76). Zum Transitverkehr (weder Quelle noch Senke) kann keine Angabe gemacht werden – dieser Aspekt fällt nicht in das Untersuchungsthema.

48 Es existieren hierzu noch weitere Annäherungen in Dabanc 2009, S. 8–9 und Gérardin et al. 2010, S. 10. Weitere, spezifischere, Indikatoren sind in Gérardin et al. 2000 enthalten. Diese Daten wurden zur Überprüfung herangezogen und befinden sich bei Extrapolation im Bereich der angeführten Werte.

Eine Berechnung von Brenner auf Basis des Verkehrsaufkommens von Bosserhoff 2015 ergibt eine tägliche Anzahl an Fahrten im Wirtschaftsverkehr (hier ist Güterverkehr mit gemeint) von mehr als 2,6 Millionen alleine für Wien (vgl. Brenner 2017, S. 74–79). Hier geschieht die Annäherung über die Indikatoren der Beschäftigten und der Fläche. Dieser Wert scheint jedoch deutlich zu hoch, um einbezogen zu werden – auch wenn er durchaus fundiert dargelegt und reflektiert wird.

Kraftfahrzeugverkehr			
Wirtschaftsverkehr		Privatverkehr	
erwerbswirtschaftlich, gemeinwirtschaftliche, dienstliche Zwecke		private Zwecke	
Güter(wirtschafts)-verkehr	Personen(wirtschafts)-verkehr	Güter(privat)-verkehr	Personen(privat)-verkehr
	Personentransport		
	Serviceverkehr		
<ul style="list-style-type: none"> • Warentransport • Gütertransport • Materialtransport u.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxidienste u.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montage • Reparatur • Beratung • Betreuung u.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • Einkaufsverkehr • Umzugsverkehr • Berufsverkehr • Ausbildungsverkehr • Freizeitverkehr u.a.

Anmerkung: Die Werte werden in KiD inklusive den Rückfahrten erhoben. (Klein-)Gütertransporte werden v.a. in den personenbezogenen Verkehren (Personenwirtschaftsverkehr und Personenprivatverkehr) oft nicht erfasst. Es muss also von einem leicht höheren Wert für Gütertransporte ausgegangen werden, wobei diese meist private Kleingütertransporte darstellen.

Abbildung 121: Verkehrszugehörigkeiten im KiD 2010. Quelle: KiD 2010b, S. 22–24.

Da nun ein Wert für die Zahl der täglichen Lieferungen in Wien ermittelt worden ist, können diese den jeweiligen NACE-Sektoren zugewiesen werden. Im KiD 2010 werden Fahrten in Verkehrsarten unterteilt, aus denen sich letztlich der Anteil am Güterverkehr jeder Wirtschaftsklasse herauslesen lässt.

Der Güterverkehr zeichnet für 14,61% der Fahrten aggregiert nach den drei untersuchten Kreistypen verantwortlich – von diesem Wert wird letztlich für Wien ausgegangen. Damit liegt der Wert im Bereich der auf (siehe S. 16) genannten 10%-20% Güterverkehrsanteil in Städten. Rückfahrten sind bereits einbezogen, der Anteil des privaten Güterverkehrs (vor allem Einkäufe) jedoch noch nicht (dieser hat einen Anteil an den gesamtstädtischen Fahrten von 9,77%). In der Erhebung des KiD 2010 werden die Werte für privaten Güterverkehr separat und nach anderer Methodik dargestellt. Deshalb und aufgrund der Struktur dieser Fahrten werden sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht in die Berechnungen miteinbezogen.

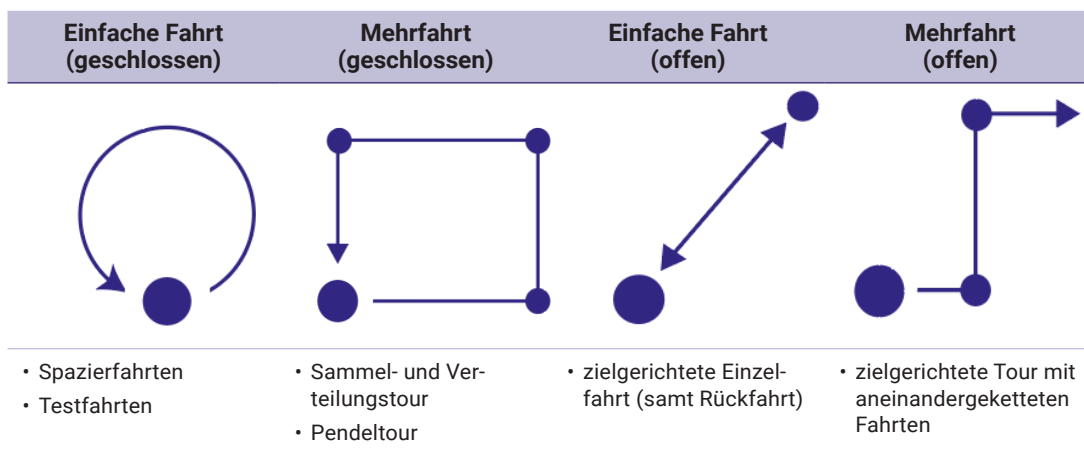


Abbildung 122: Unterscheidung von Fahrten im KiD 2010. Quelle: KiD 2010b, S. 24.

Eine Fahrt definiert sich im KiD 2010 als „Ortsveränderung eines Kraftfahrzeugs von einem Ausgangsort (Quelle) zu einem Zielort“ (KiD 2010b, S. 460). Somit stellen Hin- und Rückfahrt zwei unterschiedliche Fahrten dar. Vor allem in dichteren Räumen werden jedoch viele Pendel-, Sammel- und Verteilungstouren durchgeführt, also eine Kette an verschiedenen Fahrten mit mehreren Zielen. Der Datensatz des KiD 2010 bietet die Möglichkeit, diese Mehrfachfahrten auszulesen, was in dieser Arbeit erfolgt ist. Mehrfachfahrten inkludieren Fahrtketten, also ab drei Fahrten (> Hin- und Rückfahrt, vgl. KiD 2002, S. 134). Dabei werden

aber nur die Fahrten (Touren) und nicht die Abschnitte gezählt. „Bei Mehrfahrten-Fahrten ergibt sich die Anzahl der Fahrabschnitte aus der Anzahl der Zwischenstopps + eins (für den Fahrabschnitt zum Ziel)“ (ebda).

7.4. ANTEILE UND KENNWERTE DER NACE-KLASSEN AM GÜTER-VERKEHR

Nach Auswertung der Fahrten wird die prozentuelle Verteilung der Fahrten nach NACE-Klassen am gesamten straßengebundenen Güterverkehr errechnet und nach der Gesamtzahl der im jeweiligen Wirtschaftssektor beschäftigten Personen dividiert⁴⁹. Die Fahrtanzahl pro Beschäftigtem und Einwohner kann dann mit der Anzahl der Beschäftigten und Einwohner nach NACE im jeweiligen Raster bestimmt werden (siehe Abbildung 123)

NACE-Sektor	Anteil am Güterverkehr	Fahrtanzahl pro Tag (angenähert)	Fahrtanzahl pro Beschäftigtem (angenähert)
A Landwirtschaft, Fischerei	1,01%	1 805	0,974
B Bergbau	0,29%	522	1,879
C Verarbeitendes Gewerbe	4,84%	8 614	0,143
D Energieversorgung	0,50%	887	0,120
E Wasserversorgung, Entsorgung	2,13%	3 800	1,482
F Baugewerbe/Bau	9,84%	17 522	0,301
G Handel (einschl. Kfz)	10,48%	18 658	0,133
H Verkehr und Lagerei	42,99%	76 549	1,644
I Gastgewerbe	3,46%	61 60	0,111
J Information, Kommunikation	1,18%	2 096	0,042
K DL (Finanzen/Ver-sicherung)	0,22%	399	0,009
L Grundstücks-, Wohnwesen	0,74%	1 326	0,065
M DL (wissens./techn.)	0,51%	910	0,009
N DL (sonstige wirtsch.)	4,20%	7 471	0,093
O Öffentliche Verwaltung	5,45%	9 705	0,112
P Erziehung und Unterricht	0,35%	623	0,007

⁴⁹ Hier entsteht eine Unschärfe, da die Anzahl an Lieferungen mit der Anzahl der m² an Produktions- und Verkaufsfläche korrelieren kann. Diese Daten standen jedoch nicht zur Verfügung und werden in dieser makroskopischen Betrachtung somit nicht eingebunden. Im räumlichen Abbild kann dies jedoch zu Ungenauigkeiten führen.

Q Gesundheits-, Sozialwesen	3,44%	6 127	0,090
R Kunst, Unterhaltung, Erholung	0,13%	229	0,009
S DL (sonstige)	5,17%	9 208	0,226
U Exterritoriale Organisation *	-	-	-
V Privatfahrzeug	3,07%	5 464	0,003

* Der Datensatz des KiD 2010 gibt zwar einen (geringen) Wert für die NACE-Klasse U aus, in den Daten zur Beschäftigung in Wien nach Rastern werden jedoch keine Werte ausgegeben.

Abbildung 123: Branchenspezifische Werte zur Fahrtenanzahl pro Beschäftigtem. Quelle: Eigene Darstellung nach KiT 2010.

Die folgende Abbildung 124 zeigt, dass sich nach dieser Methode markante Hotspots mit einer hohen Lieferanzahl abbilden. Dies ist vor allem dem hohen Anteil des Sektors H (Verkehr) und den Beschäftigten, welche Lieferleistungen nicht am Arbeitsort erbringen, geschuldet. Die bisher ermittelten Werte lassen also noch keinen Aufschluss über das tatsächliche nachgefragte Güterverkehrsaufkommen pro Raster zu, da bisher lediglich eine Aussage über das wirtschaftsklassenspezifische Güterverkehrsaufkommen getroffen werden kann (das jedoch nicht räumlich konkret ist). In einem weiteren Schritt muss deshalb eine genauere Analyse der Sektoren an Anlieferungen erfolgen.

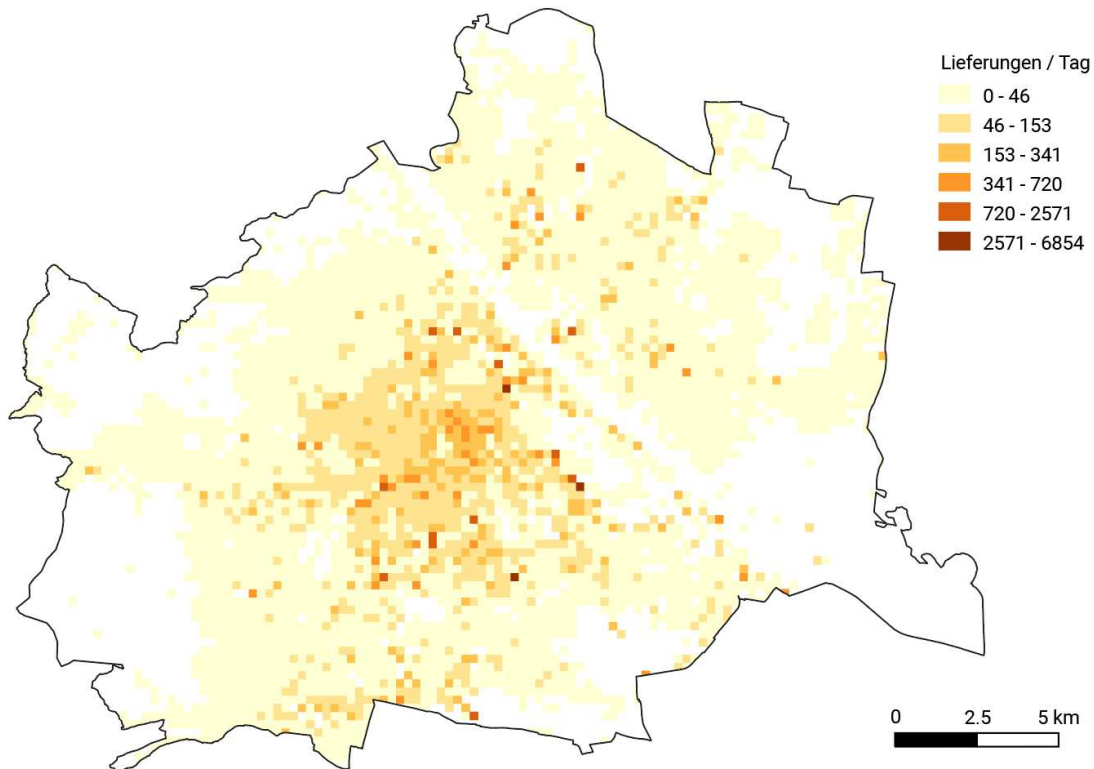


Abbildung 124: Annäherung an täglichen Lieferungen in Wien. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria 2011; Statistik Austria 2012; KiT 2010; Dablanc 2009, S. 8.

Im KiD 2010 werden dabei keine NACE-Größen als Kennwerte für Ziele genannt, sondern aggregierte Kategorien (in welche NACE-Klassen einordenbar sind). Diese stellen sich nach einer Analyse folgendermaßen dar (siehe Abbildung 125):

Zielkategorie nach KiD 2010	Zugehörige Wirtschaftsklassen	Anteile am Gesamtgüterverkehr*
Land- und Forstwirtschaft	A	3,6%
Umschlagpunkt	(H)	4,62%
Baustelle	F	9,21%
Fremder Betrieb Industrie/Bau	B C D E	3,92%
Fremder Betrieb Handel/DL	G (H) I	17,77%
Fremder Betrieb Sonstiges	J K L M N O P Q	7,21%
Sonstiger dienst./geschäftl.	R S U	0,28%
Privat/Haushalt	T	35,96%
Eigener Betrieb	alle	16,94%

* die restlichen 0,46% gehen auf „keine Angabe“ zurück.

Abbildung 125: Güterverkehrsanteil nach Zielkategorien. Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010.

Im Folgenden werden die Anteile der Wirtschaftsklassen an den Fahrten zu den Zielkategorien berechnet (siehe Abbildung 126).

Fahrtziele*	Umschlagort	Baustelle	Betriebe**	Haushalte	Sonstige***
A Landwirtschaft, Fischerei	-	-	47,85%	4,49%	-
B Bergbau	-	-	21,69%	-	-
C Verarbeitendes Gewerbe	-	6,90%	70,37%	18,65%	-
D Energieversorgung	-	16,94%	60,26%	8,78%	-
E Wasservers., Entsorgung	6,48%	29,37%	34,26%	8,19%	-
F Baugewerbe/Bau	0,71%	46,14%	39,21%	13,58%	-
G Handel (einschl. Kfz)	3,63%	6,24%	72,98%	16,98%	-
H Verkehr und Lagerei	7,74%	2,20%	33,37%	55,69%	0,99%
I Gastgewerbe	-	-	63,45%	12,04%	-
J Information, Kommunikation	-	1,64%	54,30%	44,06%	-
K DL (Finanzen/Ver-sicherung)	-	-	89,45%	10,01%	-
L Grundstücks-, Wohnwesen	-	2,68%	61,56%	34,30%	-
M DL (wissens./techn.)	-	5,52%	68,49%	16,39%	-
N DL (sonstige wirtsch.)	-	10,14%	58,21%	24,00%	-
O Öffentl. Verwaltung	1,05%	12,49%	86,06%	0,27%	0,13%
P Erziehung und Unterricht	-	2,54%	24,01%	55,81%	-

Q Gesundheits-, Sozialwesen	-	-	77,46%	18,57%	0,03%
R Kunst, Unterh., Erholung	-	-	-	-	-
S DL (sonstige)	6,05%	1,73%	51,02%	40,29%	-
U Exterritoriale Organisation	-	-	-	-	-
V Privatfahrzeug	-	-	7,72%	73,83%	-
Gesamte Anteile	4,62%	9,21%	49,46%	35,96%	0,74%

* Werte der Wirtschaftsklassen unter 100% beruhen auf einer Nichtbeachtung (als „-“ angegeben) von Werten aufgrund einer zu hohen statistischen Ungenauigkeit. Insgesamt wurden so 3,76% aller Fahrten des Güterverkehrs nicht in die Berechnung miteinbezogen.

** Die Kategorie „Betriebe“ ist hier eine Aggregation der Kategorien: „Land- u. forstw. Fläche“, „Eigener Betrieb“, „Fremder Betrieb Industrie/Bau“, „Fremder Betrieb Handel/DL“, „Fremder Betrieb Sonstiges“. Die Aggregation wurde zur besseren Übersicht durchgeführt.

*** Sonstige: Diese Kategorie ist eine Aggregation der Werte der Kategorien „keine Angabe“ und „sonstige Ziele: dienstlich, geschäftlich“.

Abbildung 126: Fahrt nach Wirtschaftsklasse an Zielkategorien (aggregiert). Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010

Durch die explizite Angabe von angefahrenen Zielen nach NACE-Klassen können folgende weitere Analysen konkretisiert werden:

- zurückgelegte Kilometer pro Ziel
- Emissionen (Anteile nach Fahrzeugklassen nach NACE-Klassen)
- externe Kosten (mit Staukosten und ohne Staukosten nach Fahrzeugklassen und NACE-Klassen)

Um weiterführend die Emissionen je Wirtschaftsklasse zu berechnen, müssen die jeweiligen Fahrzeuganteile berechnet werden. Das KiD 2010 bietet hierfür neun verschiedene Klassifizierungen an. In der Auswertung werden – aufgrund teils zu niedriger, d.h. statistisch nicht aussagekräftiger Werte – relevante Fahrten in drei Klassen eingeteilt: Pkw; Lkw ≤ 3,5t NL; Lkw > 3,5t NL und Sattelzugmaschinen sowie sonstige Zugmaschinen. Zu anderen Fahrzeugklassen lagen meist gar keine Werte vor. Dennoch zeigt sich, dass in der folgenden Berechnung 5,91% der Fahrten keiner Fahrzeugart zuordenbar sind (siehe Abbildung 127).

Fahrtanteile nach Fahrzeugart	Pkw	Lkw ≤ 3,5t NL	Lkw > 3,5t NL + Sattelschlepper*
A Landwirtschaft, Fischerei	16,33%	52%	20,88%
B Bergbau	11,10%	12%	75,00% ***
C Verarbeitendes Gewerbe	32,52%	55%	8,16%
D Energieversorgung	26,04%	54%	12,90%
E Wasserversorgung, Entsorgung	2,12%	31%	65,25% **
F Baugewerbe/Bau	32,13%	55%	8,73%
G Handel (einschl. Kfz)	23,66%	48%	18,23%
H Verkehr und Lagerei	5,60%	71%	14,97%

I Gastgewerbe	78,33%	14%	4,71%
J Information, Kommunikation	16,37%	82%	0,99%
K DL (Finanzen/Versicherung)	41,70%	58%	0,00%
L Grundstücks-, Wohnwesen	15,87%	61%	14,81%
M DL (wissens./techn.)	46,30%	26%	17,99%
N DL (sonstige wirtsch.)	42,07%	46%	7,51%
O Öffentliche Verwaltung	21,95%	19%	59,17% **
P Erziehung und Unterricht	39,23%	60,77%	- ***
Q Gesundheits-, Sozialwesen	54,14%	45%	0,67%
R Kunst, Unterhaltung, Erholung	31,13%	63%	4,04%
S DL (sonstige)	24,19%	67%	5,80%
U Exterritoriale Organisation	-	-	-
V Privatfahrzeug	84,03%	8%	4,93%
Gesamtanteile am Güterverkehr	22,18%	56%	14,26%

* proz. Anteile Lkw über 3,5 t, Sattelschlepper und sonstige Zugmaschinen
 ** abgeleitet unter Hinzunahme des Wertes von verdichteten Kreisen in Agglomerationsräumen (Klasse 3)
 *** abgeleitet vom gesamtdeutschen Wert, angepasst an die jeweiligen Änderungen im Verhältnis Stadt-Bund

Abbildung 127: Aufteilung der Fahrten nach Verkehrsträgern. Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010

Die Aufteilung nach Fahrzeugarten eröffnet die Möglichkeit, weitere Effekte wie erzeugte Emissionen oder Fahrzeugäquivalente zu untersuchen. Es gibt erstaunlich wenige Berechnungen zu den Emissionen pro Kilometer nach Fahrzeugart. Die meisten gefundenen Daten behandeln Emissionen pro Personen- oder Tonnenkilometer (vgl. van Essen et al. 2019; vgl. Bieler & Sutter 2019). In einer Untersuchung zum Logistics Sprawl in Paris werden die Ergebnisse zweier Emissionsmodelle (CopCete und Airparif) nach eigener Berechnung dargestellt (vgl. Dablanc et al. 2018, S. 58). Diese sind für eine Durchschnittsgeschwindigkeit des städtischen Verkehrs von 30km/h angegeben⁵⁰.

	Ausstoß Pkw bei 30 km/h (g/km) *	Ausstoß Lkw < 3,5t bei 30 km/h (g/km) *	Ausstoß Lkw > 3,5t bei 30 km/h (g/km) *	Anteil GV an Wiener Straßenverkehrsemissionen**
CO₂	201,13	276,67	933,02	61,06%
CO	1,11	0,58	1,80	31,56%
NO_x	0,61	0,99	6,97	80,68%
PM10	0,07	0,10	0,67	19,43%
NMVOC	0,13	0,09	0,18	34,34%

Abbildung 128: Emissionen im städtischen Verkehr nach Verkehrsträgern. Quelle: Eigene Darstellung nach * Airparif (vgl. Airparif 2013); CopCete (vgl. Demeules & Larose 2012) und ** KiT 2010; Statistik Austria 2011 & 2012.

⁵⁰ Die Durchschnittsgeschwindigkeit des städtischen Verkehrs betrug im Jahr 2008 in der EU in der Mehrheit der Städte unter 30 km/h (vgl. Statista 2009). In Wien betrug die Durchschnittsgeschwindigkeit im Jahr 2013 um die 25 km/h (vgl. Vienna.at 2013).

Hieraus lässt sich – in einem Exkurs am Beispiel Wiens – der Anteil des Güterverkehrs an städtischen Emissionen im Straßenverkehr berechnen. Es zeigt sich, dass der Güterverkehr überproportional für Emissionen verantwortlich ist. Vor allem größere und schwerere Fahrzeuge emittieren mehr Schadstoffe (siehe Abbildung 128). Weiters wird diese Dynamik im urbanen Raum durch eine hohe Anzahl an Stopps und Wiederanfahrten verschärft (siehe S. 26).

Somit stellen sich die Werte, mit denen das jeweilige Aufkommen pro Raster berechnet werden kann, wie folgt dar (siehe Abbildung 129):

NACE	Fahrten pro Beschäftigtem	Km pro Beschäftigtem	CO ₂ /km (g/km)**	CO/km (g/km)**	NO _x /km (g/km)**	PM10/km (g/km)**	NMVOG/km (g/km)**
A	0,97	9,08	370,80	0,86	2,07	0,30	0,11
B	1,88	46,29	756,22	1,54	5,42	0,59	0,16
C	0,14	5,45	293,68	0,83	1,31	0,32	0,11
D	0,12	2,76	322,78	0,84	1,59	0,31	0,11
E	1,48	54,77	699,52	1,38	4,87	0,48	0,15
F	0,30	8,12	296,91	0,83	1,34	0,32	0,11
G	0,13	4,51	351,75	0,87	1,89	0,32	0,11
H	1,64	66,68	348,77	0,75	1,79	0,21	0,10
I	0,11	2,05	241,51	1,04	0,95	0,55	0,12
J	0,04	1,41	269,37	0,68	0,98	0,19	0,10
K	0,01	0,41	245,17	0,80	0,83	0,33	0,11
L	0,06	1,10	340,20	0,80	1,74	0,26	0,10
M	0,01	0,40	333,41	0,99	1,80	0,44	0,12
N	0,09	2,95	283,17	0,87	1,24	0,37	0,11
O	0,11	2,01	647,39	1,42	4,44	0,56	0,15
P	0,01	0,21	247,04	0,79	0,84	0,31	0,11
Q	0,09	0,97	239,19	0,87	0,82	0,40	0,11
R	0,01	0,35	273,73	0,78	1,09	0,29	0,10
S	0,23	6,52	287,96	0,76	1,21	0,26	0,10
U*	-	-	-	-	-	-	-
V	-	0,05	238,33	1,07	0,94	0,58	0,13

* Der Datensatz des KiD 2010 gibt zwar einen (geringen) Wert für die NACE-Klasse U aus, in den Daten zur Beschäftigung in Wien nach Rastern werden jedoch keine Werte ausgegeben.

** Die Berechnung bezieht Daten aus Airparif und CopCete ein, die aus der unten genannten Literatur geziehen wurden.

Abbildung 129: Fahrten, Kilometer und Emissionen pro Beschäftigtem in Wien. Quelle: Eigene Berechnung nach KiT 2010; Airparif (vgl. Airparif 2013); CopCete (vgl. Demeules & Larose 2012)

Mit den nun ermittelten Werten lässt sich ein Überblick über die werktägliche Lieferintensität (und die damit verbundenen Emissionen bzw. externen Kosten) pro Raster darstellen. Die Lieferintensität besteht nicht nur aus der Anlieferung, sondern beschreibt auch verursachte Rückwege. Die Zahlen ergeben sich anteilmäßig aus den in Abbildung 123 beschriebenen Werten zu den gesamten Fahrten des Güterverkehrs in Wien.

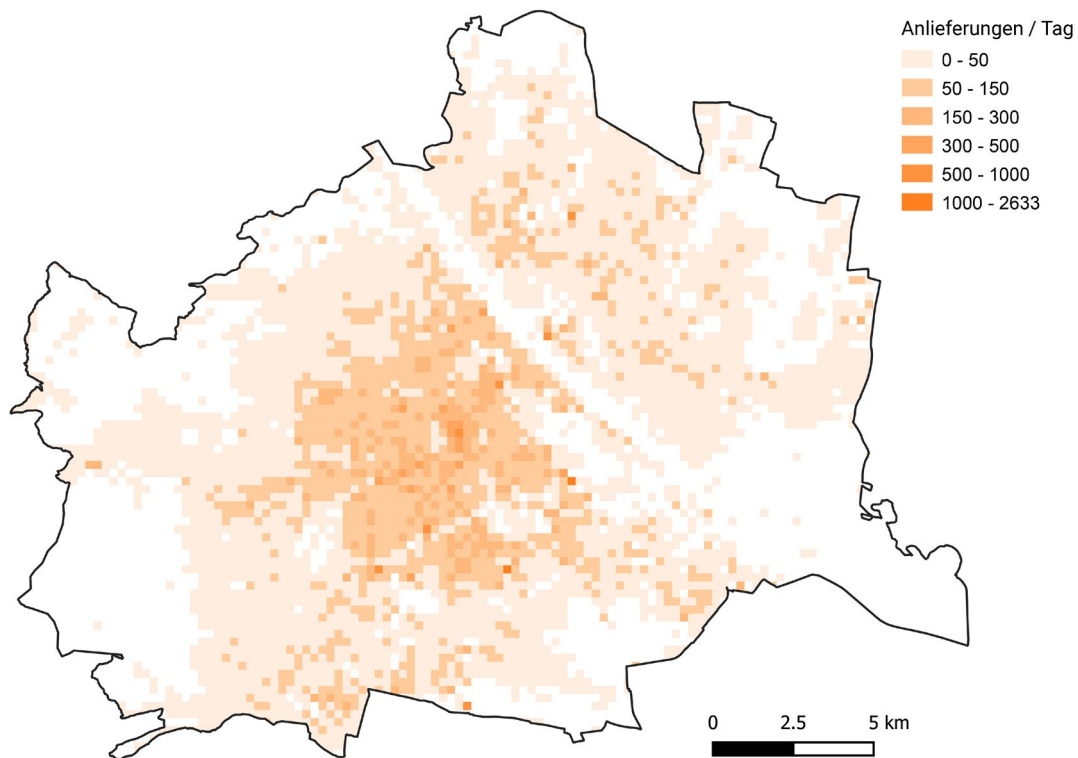


Abbildung 130: Die Logistikintensität in Wien. Anlieferungen pro Raster und Tag. Quelle: Eigene Darstellung

Aus diesem räumlichen Modell können in einem weiteren Schritt mit einer Verschneidung möglicher Trassierungen und Einzugsbereiche die Einsparungspotenziale für die Analysen errechnet werden. Ausgehend von einer Kartierung der Logistikintensität (siehe Abbildung 130) nach Raster können folgende weitere Punkte diskutiert werden:

- Mögliche und optimale Trassenführungen
- Abschätzung der Länge und der Kosten
- Abschätzung der Verlagerungspotenziale
- Diskussion der notwendigen Kapazität

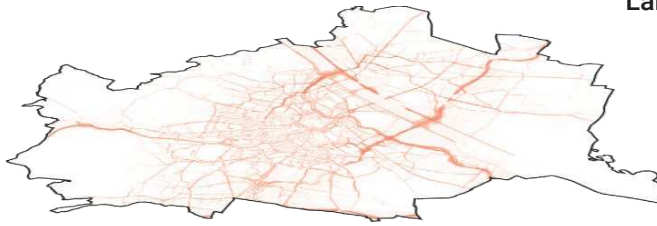
7.5. WIRKUNGS- UND POTENZIALANALYSE EINES EXEMPLARISCHEN MUFT IN WIEN

7.5.1. ERSCHLIESSUNGSSTRUKTUR UND TRASSIERUNG

Grundsätzlich gilt: Je mehr Fläche vom System des MUFT abgedeckt wird, desto größere Skaleneffekte im Verlagerungspotenzial ergeben sich. Die Errichtung eines unterirdischen Logistiksystems müsste jedoch voraussichtlich – vor allem aufgrund des großen finanziellen und logistischen Aufwands – in Stufen erfolgen. Dies wird hier abstrahiert mitbedacht. Im folgenden Teil werden optimale Trassen nach Gesichtspunkten der Ziele der Stadtplanung (siehe S. 29) eruiert. Im Besonderen handelt es sich um die Bereiche der Verkehrsbelastung (und damit verbundene Effekte wie Lärm, Abgase, Lebensqualität), der Intensität des Güterbedarfs und der vorhandenen Infrastruktur (Logistik-POIs wie Häfen,

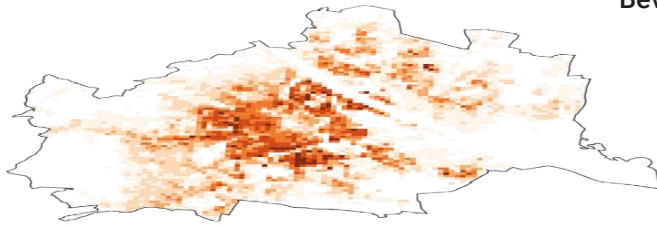
vorhandene/geplante Logistikzentren/Hubs, etc.). Die Prämisse ist die vielfach in City-Logistik-Projekten erörterte Idee, Güter am Stadtrand umzuschlagen, um so eine effizientere Belieferung zu schaffen. Hierbei handelt es sich um Logistikverkehrsknotenpunkte (GVZs, Hubs, Umschlagzentren) am Stadtrand mit einer guten Anbindung an das hochrangige Verkehrsnetz (Straße, Schiene, Wasser). In verschiedenen Studien (vgl. Neuhaus 2019, S. 94; vgl. Pfaffenbichler 2018, S. 148) wird der Sinn von Umschlagzentren im Norden, Osten und Süden Wiens erläutert. Schon jetzt sind an diesen Standorten größere und kleinere Industrie- und Logistikgebiete gewidmet und vorhanden. Ein Blick auf die Verkehrszählung zeigt jedoch auch für den Wiener Westen und die Einfallsstraße der Wienzeile einen hohen Wert an Lkw in der Verkehrszählung (vgl. Grosse et al. 2016, S. 136). Für ein funktionierendes System der Untergrundlogistik werden also Startpunkte (Umschlagzentren) an allen vier benannten Standorten vorausgesetzt. Weiters wird der Hafen Wien und das Güterterminal Inzersdorf miteinbezogen.

Lärmbelastung durch Verkehr



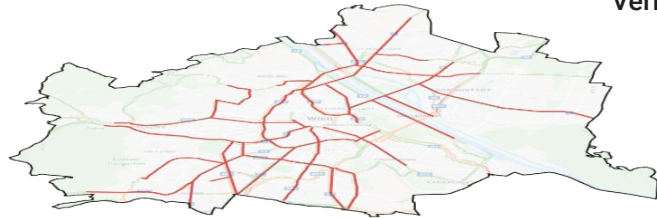
Straßenverkehr, und insbesondere Lieferwägen und Lkw, sorgen für gesundheits-schädigende Lärmemissionen. Eine Verlagerung von Verkehr in den Untergrund (samt Beruhigungsmaßnahmen an der Oberfläche) macht entlang dieser lärm-intensiven Trassen besonders Sinn.

Bevölkerungsdichte



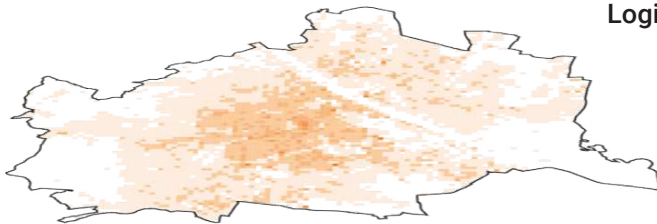
Die Bevölkerung wird in Zukunft durch das Wachstum des E-Commerce noch mehr Güter nachfragen und für mehr Verkehr auf den Straßen sorgen. Eine Anbindung bevölkerungsreicher Stadtgebiete macht somit Sinn.

Verkehrsbelastung / Staus



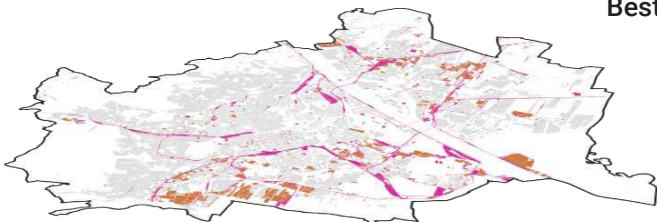
Starker Verkehr und Instandhaltungen an Einfallsstraßen sorgen für Staus und so für Probleme für die Stadtbevölkerung, aber auch für die Logistik. An Einfallsstraßen ist oft auch der Logistikanteil besonders hoch. Eine Bündelung Leitungen wie Lieferungen an diesen Straßen kann zu deutlichen Entlastungen führen.

Logistikintensität



Je dunkler, desto mehr Logistikwege werden durch An- oder Belieferung erzeugt. Je mehr dieser Ziele angebonden sind, umso höher die Verlagerungspotenziale.

Bestehende Flächennutzung



Verkehrsinfrastrukturen (Pink) und bestehende Industrie-, Gewerbe-, und Logistikflächen (Braun) bieten Flächen für Anlieferung, Umschlag und Nachfrage

Abbildung 131: Auswahlfaktoren für die Trassenfindung. Quelle: Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt 2018, Statistik Austria 2012, Google Maps, Stadt Wien 2014.

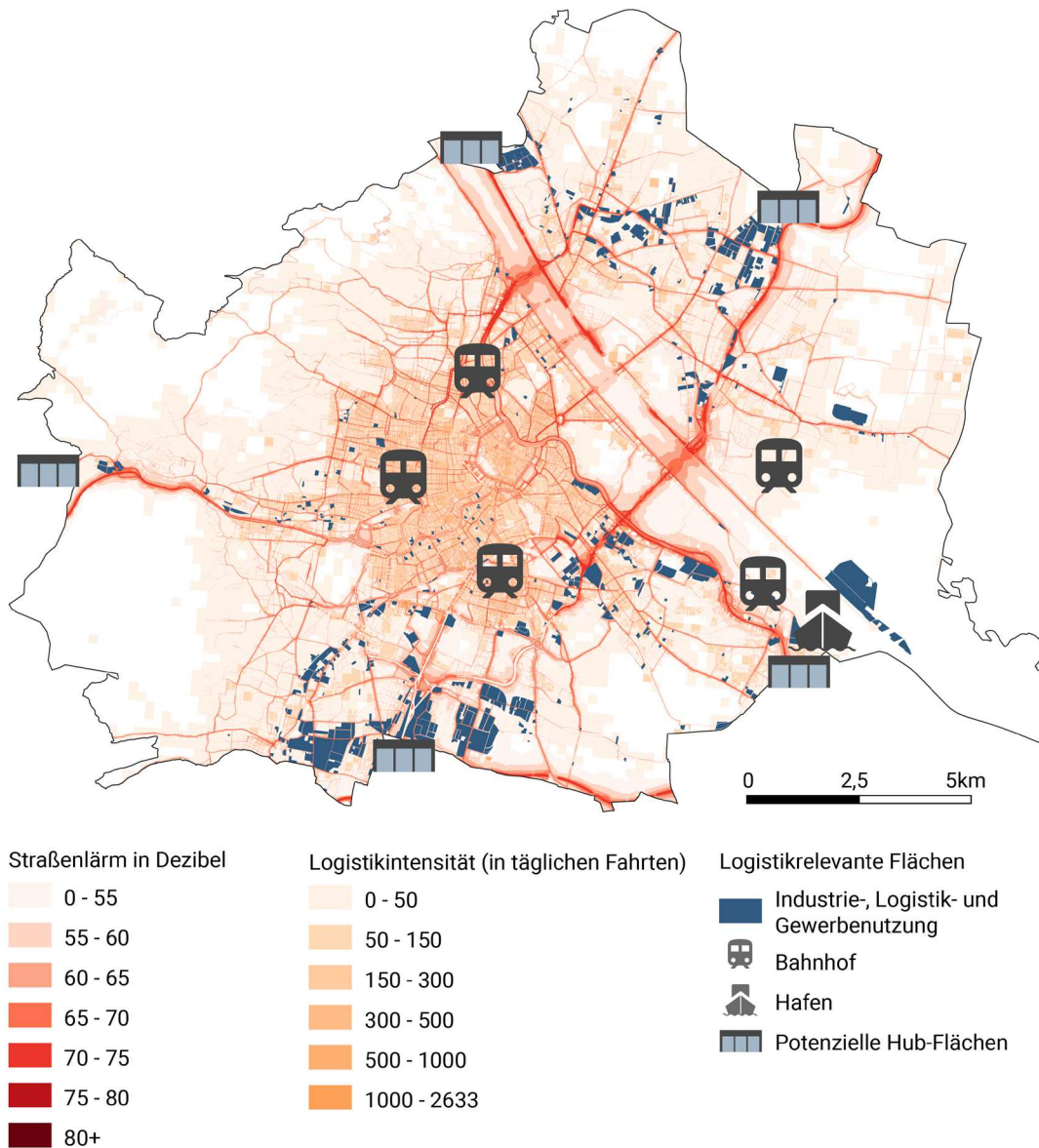


Abbildung 132: Lärm- und Verkehrsbelastung in Wien sowie Logistknachfrage und mögliche (gewidmete) Flächen für Hubs. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria 2012; Umweltbundesamt 2018; für Hubstandorte siehe Neuhaus 2019 und i-Log 2016, S. 10 und S. 18

Die von diesen Standpunkten in die Stadt führenden Einfallstraßen sind, wie in der Abbildung 132 ersichtlich, heute einer hohen Verkehrsführung – mit damit verbundenen Lärmemissionen und sinkender Lebensqualität – ausgesetzt. Aber nicht nur diese Straßen sind von Staus betroffen, wie die Beobachtungen auf Google Maps zeigen (siehe Abbildung 133).

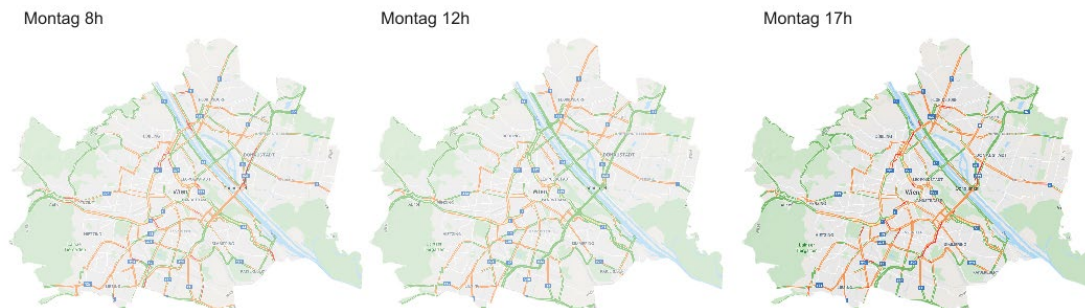
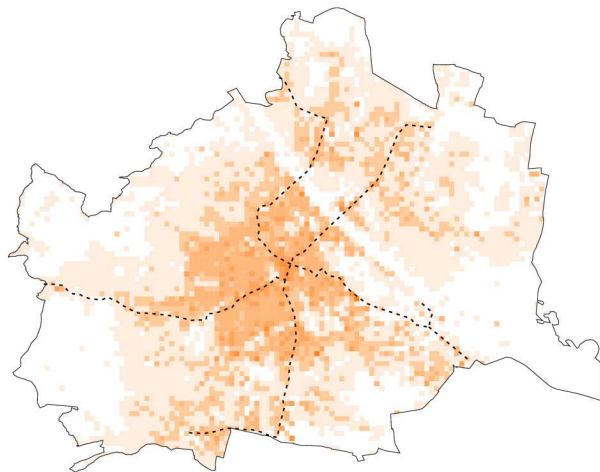


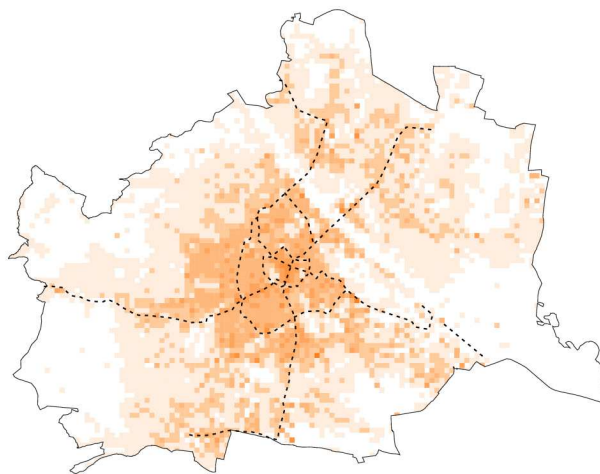
Abbildung 133: Durchschnittliche Verkehrsbelastung in Wien im Verlauf des Tages. Quelle: Google Maps.

Wie die Abbildung 132 zeigt, ergeben sich entlang der Einfallstraßen größere Lärm- und Verkehrsbelastungen, die mit einer hohen Lieferintensität in der Innenstadt korrelieren. In einem ersten Schritt sollten also die Betriebsflächen (und möglichen Hubstandorte) am Stadtrand entlang der stark belasteten Straßen mit der Innenstadt verbunden werden. In einem zweiten Schritt kann die Innenstadt besser angebunden und vernetzt werden, was – bei einem Binnenlogistikanteil von ca. 40%-45% (vgl. Schoemaker et al. 2006, S. 10) – Kapazitätsengpässen vorbeugen kann, da das System durch den steigenden Einzugsbereich größere Warenmengen aufnehmen kann. In einem dritten Schritt können explizit Hotspots angebunden und das Netz ausgehend von der Innenstadt und entlang von Straßen mit hohem Verkehrs- und Logistikaufkommen erweitert werden (siehe Abbildung 134).



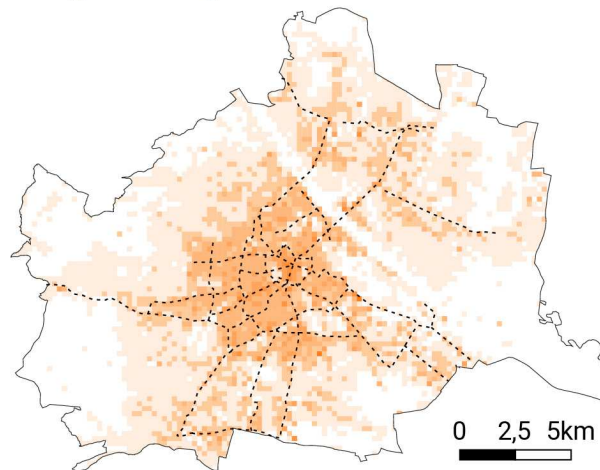
1: Basisnetz

Verbindung von Umschlagflächen aus der Stadtregion und den Außenbezirken mit der Innenstadt entlang stark belasteter Straßen sowie entlang dicht besiedelter Gebiete. Anschluss von wesentlichen Produktionsgebieten.



2: Erweiterung & Vernetzung I

Vernetzung des Systems in der Innenstadt und Anbindung weiterer logistikintensiver Gebiete. Entlastung weiterer stark von Lkw befahrenen Straßen wie dem Gürtel und dem Ring.



3: Erweiterung & Vernetzung II

Vernetzung der Innenstadt und Anbindung weiterer logistikintensiver Gebiete sowie bessere Verbindung und Vernetzung des Systems in der Stadt (Kapazitätserweiterung, Erhöhung der Zuverlässigkeit, bessere Ermöglichung von Binnentransporten) sowie der Hubs am Stadtrand miteinander. Orientierung an den innerstädtischen Hauptverkehrsadern.

Abbildung 134: Mögliche Erschließungsstruktur und Trassenführung. Im Hintergrund ist die Logistikintensität angezeigt. Quelle: Eigene Darstellung

Die Länge der drei Ausbaustufen beträgt 149,6 km. In der etwaigen Umsetzung würden diese Werte aufgrund der explizit festzulegenden Anbindung von Logistikflächen in der Stadt sowie im Umland – mit einer möglichen Verästelung bei großen Umschlag-, Lager- und Produktionsarealen – allerdings höher ausfallen. Die Geologie und Gegebenheiten im Untergrund (wie U-Bahnen oder Utilities) tragen ebenso zur Unschärfe der Berechnung bei⁵¹. Dennoch veranschaulichen die angegebenen Längen etwaige Kosten und den Umfang eines solchen Projekts. Die Längen der Ausbaustufen gliedern sich wie folgt:

- Ausbaustufe 1: 63,24 Kilometer
- Ausbaustufe 2: 22,28 Kilometer
- Ausbaustufe 3: 64,11 Kilometer

Entlang der Trassen sind Entnahmestellen/Hubs angesiedelt, die einen gewissen Einzugsbereich abdecken. Für die Einzugsbereiche der Hubs existieren keine allgemein gültigen Werte. Da von einem Mix aus Abholmodi ausgegangen wird (Fuß, Lastenrad, E-Van, Drohne, Bot), werden verschiedene Einzugsbereiche untersucht. Durch die Unschärfe in der Modellierung der Einzugsbereiche aufgrund der Rasterstruktur (250 Meter) werden im Modell konservative Werte angenommen. Durchgeführte Projekte zu Mikro-Hubs zeigen, dass deren optimaler Einzugsbereich bei 800 bis 1000 Metern liegt (vgl. Lindloff et al. 2018, S. 1–5; vgl. Ninnemann et al. 2017, S. 35). Distanzen darüber hinaus machen einen Einsatz von Lastenrädern unwirtschaftlich und verlagern somit wiederum Transporte auf Autos (vgl. Interreg o.J.). Bis maximal 5 Kilometer scheinen Lastenräder allerdings grundsätzlich tauglich zu sein⁵² (vgl. Reiter & Wrighton o.J.). Die maximale Reichweite wird mit 1200 Metern bemessen, um eine größtmögliche Zahl an eingesparten Kilometern in die Berechnung zu berücksichtigen und die Kennwerte auf dieser Basis zu ermitteln.

Modus	Optimale Reichweite laut Literatur	Quelle
Fußläufig/Selbstabholung	300 bis 500 Meter bei Haltestellen des öffentlichen Verkehrs	vgl. Hiess & Schönegger 2015, S. 37
Lastenrad	800 bis 1000 Meter	vgl. Lindloff et al. 2018, S. 1–5; vgl. Ninnemann et al. 2017, S. 35
Gehsteig-Bot	3 bis 5 Kilometer	vgl. Robotics Business Review 2020
Lastendrohne	10 bis 20 Kilometer	vgl. Wright et al. 2018, S. 20; vgl. Doole et al. 2018, S. 3–4; vgl. Boysen et al. 2018, S. 506
E-Van	45 bis 50 Kilometer	vgl. Leonardi et al. 2015, S. 7

Abbildung 135: Werte zu den Einzugsbereichen unterschiedlicher Verkehrsträger bei City-Hubs. Quelle: Eigene Darstellung

Daraus ergeben sich grundsätzliche Einzugsbereiche des ULS oder MUFT, die je auch unterschiedlich (z.B. entlang von Straßengraphen oder der Geologie) definiert werden können. Für die vorliegende Untersuchung wurde die einfache Luftlinie als Referenzsystem herangezogen.

51 Der Wiener Untergrund weist einige Tücken auf; ein Tunnelbau in unterirdischer Vortriebsweise ist jedoch auch in als kompliziert eingestuft Arealen unter Straßen möglich (vgl. Berger 2020).

52 Auf einer Studie – basierend auf den im KiD 2010 erhobenen Kennzahlen – können im bestehenden System bis zu 23% der Fahrten auf Lastenräder verlagert werden (vgl. Gruber & Rudolph 2016, S. 48). Dabei werden jedoch vor allem hinsichtlich des Gewichts sehr konservative Grenzwerte gesetzt (<50kg), die nicht der Realität der Fahrradkurierdienste entsprechen (vgl. cargobike.jetzt 2016). Es ist also von einem höheren Grad an Verlagerungspotenzialen vor allem auf kurzen Strecken auszugehen.

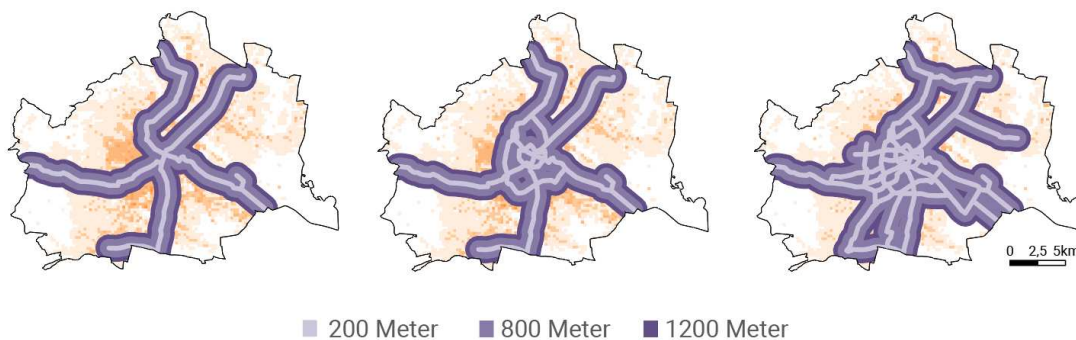


Abbildung 136: Darstellung der Einzugsbereiche (200, 800 und 1200 Meter) in der Ausbaustufe 1, 2 und 3 unterlegt mit einer Darstellung der Logistikintensität. Quelle: Eigene Darstellung

7.5.2. VERLAGERUNGS- UND EINSPARUNGSPOTENZIALE DER UNTERGRUNDLOGISTIK

Ein weiteres wesentliches Kriterium ist die Eignung für bestimmte Gütergruppen, denn nicht alle Güter können in den Untergrund verlagert werden. Maibach, Ickert und Sutter identifizieren für Cargo Sous Terrain eine grundsätzliche hohe Eignung des Systems vom Großcontainer über Paletten wie Stückgüter. Nach einer Aggregation der Güterklassen nach NST 2007 auf 10 Kategorien stellen sich laut den Autoren vor allem drei Teilsegmente als sehr geeignet für eine Verlagerung dar (Nahrungsmittel, Halb- und Fertigwaren, Stück- und Sammelgüter). Rund 30% der Gütermengen scheinen so für eine Verlagerung in den Untergrund geeignet zu sein, allerdings in Bezug auf die Gesamtschweiz und nicht auf den urbanen Bereich (vgl. Maibach et al. 2016, S. 29–36). Ebenso lässt sich kein Rückschluss von der Menge auf die Wege ziehen. Mehr Aufschluss geben andere Studien, welche das Verlagerungspotenzial für Gütergruppen in den Untergrund mit zwischen zwei Drittel (vgl. Stein 2014b, S. 4), 70% (vgl. Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2000, S. 22) und 87% (vgl. Werner 2014) anführen⁵³.

Daraus ergeben sich unter der Einbeziehung dieser Werte und unter Berücksichtigung der Einzugsbereiche folgende Verlagerungspotenziale (siehe Abbildung 137):

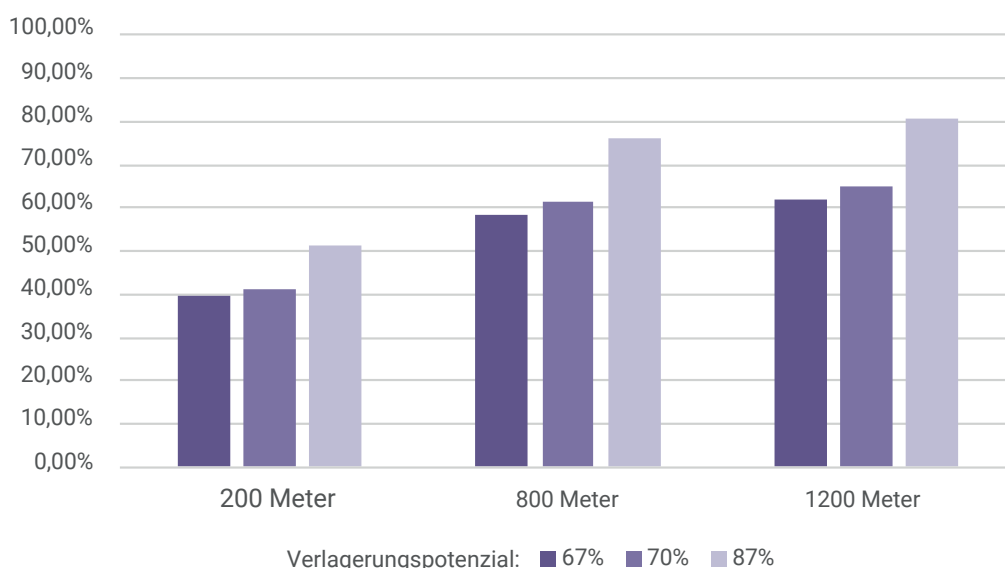


Abbildung 137: Verschiedene Verlagerungspotenziale an Fahrten im Güterverkehr nach Einzugsbereich. Quelle: Eigene Darstellung

⁵³ Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mit dem Wissen darüber, welche NST 2007-Gruppen in den NACE-Klassen nachgefragt werden, auch für Wien deutlichere Aussagen zu treffen gewesen wären. Diese Daten lagen jedoch nicht vor.

Die Verlagerungspotenziale gestalten sich analog zu möglichen Reduktionen im Bereich der externen Kosten und Effekte sowie Emissionen des Güterverkehrs. Folgend wird von einem Mittelwert der Verlagerungspotenziale von 74,67% ausgegangen.

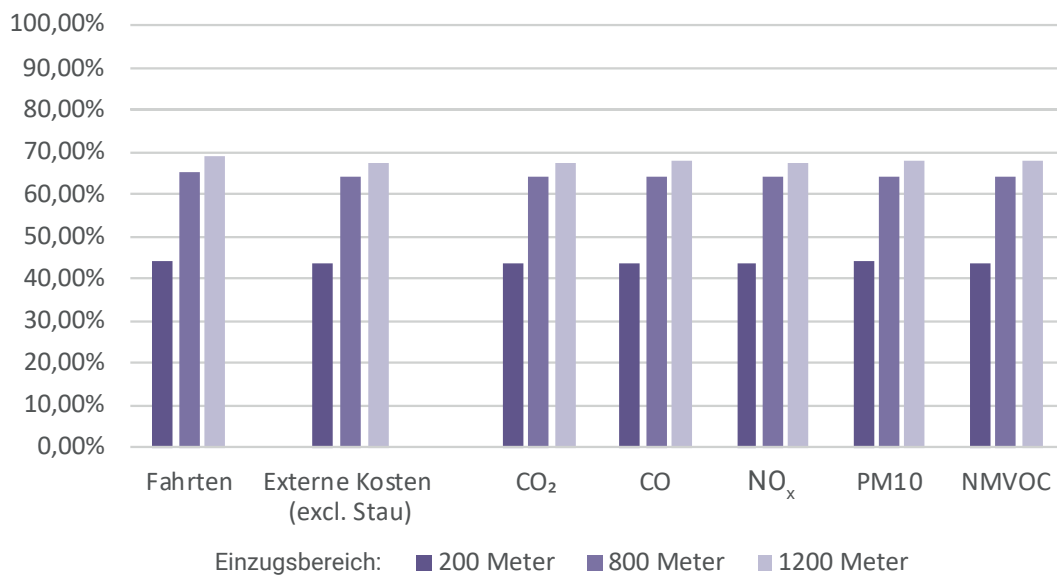


Abbildung 138: Einsparungspotenziale im Vollausbau nach Einzugsbereichen. Verlagerungsanteil der Berechnung = 74,67% (Mittelwert anderer Studien). Quelle: Eigene Darstellung

Es wird deutlich, dass die Einsparungspotenziale durchaus mit den Fahrten korrelieren. Die größeren Abweichungen der unterschiedlichen NACE-Klassen in verursachten externen Kosten⁵⁴ gleichen sich also größtenteils aus. Damit geben die Werte der eingesparten Fahrten ungefähr die der eingesparten Emissionen und externen Kosten wieder.

Hinsichtlich der Einsparungspotenziale zeigt sich, dass dieses mit zunehmender Netzgröße zunimmt. Diese Zuwächse fallen aber vor allem unter der Annahme eines großen Einzugsgebietes geringer aus (siehe Abbildung 139).

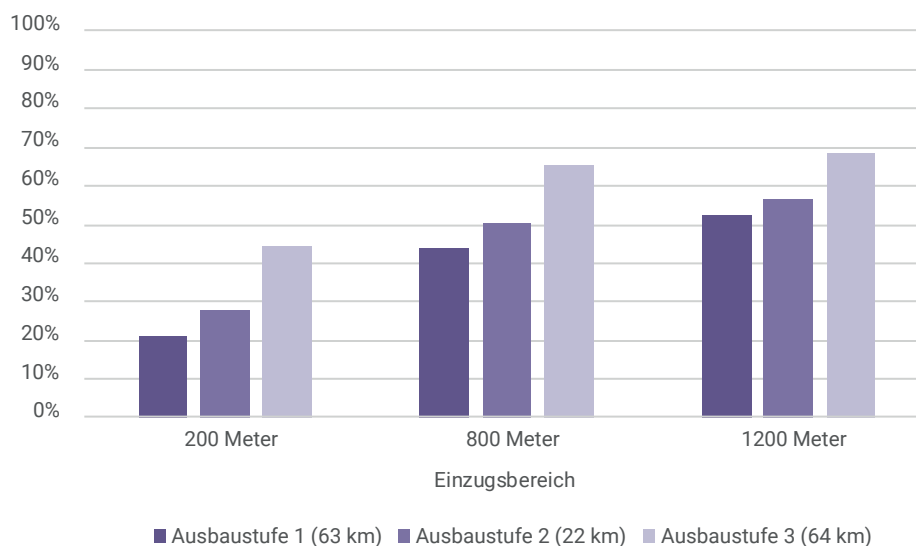


Abbildung 139: Verlagerungspotenziale nach Ausbaustufen und Einzugsbereichen. Verlagerungsanteil der Berechnung = 74,67% (Mittelwert anderer Studien). Quelle: Eigene Darstellung

54 Die verursachten externen Kosten unterscheiden sich teilweise um mehr als das Doppelte.

7.5.3. BEWERTUNG DER WIRKUNGEN

Umweltbelastung

Es gilt also, dass mit einem rund 150 Kilometer langen System zwischen 50% bis 70% der Fahrten im Güterverkehr Wiens (rund 120.000 Fahrten/Tag) verlagert werden könnten (abgesehen von der letzten Meile), was Einsparungen im Bereich der externen Kosten, respektive der Umweltbelastungen in ähnlichen Größenordnungen nach sich zieht. Vor allem bei Letzterem gilt jedoch die Prämisse der lokalen Einsparungen und der umweltfreundlichen Weitertransporte. Ebenso wird von einem solchen System Energie verbraucht, die umweltfreundlich erzeugt sein muss, um die Einsparungspotenziale hoch zu halten. Dies stellt bei Cargo Sous Terrain einen kritischen Faktor der letztlichen Umweltfreundlichkeit dar (auch unter Bezugnahme auf die Errichtung bzw. des grauen Fußabdrucks, vgl. Maibach et al. 2016, S. 70). Auch wenn die Emissionen der im Güterverkehr eingesetzten Fahrzeuge konstant sinken, wird dem Projekt Cargo Sous Terrain ein klarer Vorteil in der Einsparung von Emissionen attestiert (vgl. ebda, S. 75). Dies kann ebenso für ein System in Wien gelten.

Für Cargo Sous Terrain wurden weiters quantitative Abschätzungen bezüglich der Lärmwirkung durchgeführt. Diese ergaben, dass der Lärm um 50% reduziert werden kann. Dabei entfällt ein Drittel der reduzierten Lärmbelastung auf eine effizientere Verteilung im City-Logistik-Kontext, zwei Drittel werden durch die Verlagerung des Verkehrs in den Untergrund eingespart. Diese Effekte wirken im Besonderen auf dichter besiedelte Gebiete entlang der Hauptverkehrsachsen (vgl. Maibach et al. 2016, S. 74).

Kapazität

Die Kapazität dieses Systems/dieser Röhre ist begrenzt. Ausgehend von einer möglichen Kapazität einer CargoCap-Röhre von 113.000 - 204.000 t/Tag⁵⁵ (vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 27) und einer Gesamtzahl an nach und aus Wien gelieferten Gütern von rund 150.000 t/Tag (berechnet nach Eurostat 2020a), einer eingeschränkten Eignung der Tunnel für Transporte, einer Netzbildung in der Stadt und des Anteils an Binnentransporten (rund 40%) kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Kapazitäten nicht an vielen Stellen größer ausgelegt werden müssten. Eine CargoCap kann 1,5 t fassen (vgl. Stein 2014a, S. 29), was ebenfalls Kapazitätsgrenzen definiert, die allerdings (vor allem bei einem 24-Stunden-Betrieb) nur in gewissen Streckenabschnitten zu Engpässen führen können. Die Planung muss darauf Rücksicht nehmen, um auch Streckenabschnitte mit größerer Kapazität auszustatten.

In Bezug auf die Umschlagsflächen – die Hubs – stellen sich Fragen der Kapazität ebenfalls. Eine Untersuchung der University of Northampton geht davon aus, dass bis zu 20% der Logistikflächen an der Oberfläche durch ein Logistiksystem im Untergrund eingespart werden können (vgl. Embling 2015). Dennoch werden (umkämpfte) Flächen nahe der Senken für die City-Hubs benötigt (vgl. Kinne & Egg 2018, S. 7)⁵⁶. Für Cargo Sous Terrain (das nur bestimmte Gütergruppen anspricht – Verlagerungspotenzial 12%-20%, vgl. Maibach et al. 2016, S. 49) sind zur Belieferung Zürichs drei Hubs im Stadtbereich vorgesehen, von wo aus die City-Logistik organisiert werden soll. Eine unabhängige Untersuchung des Projekts ergibt so pro Tag eine Umschlagsmenge pro Hub von 1600 Tonnen pro Werktag (vgl. ebda. 2016, S. 43). Allerdings ist für jeden Hub eine Fläche von rund einem Hektar prognostiziert (vgl. ebda. 2016, S. 75). Pro Tonne werktäglicher Umschlag wird also mit einem m²-Bedarf für Umschlagflächen von rund 6,25 m² gerechnet.

55 Dieser Wert gilt für ein pipelinebasiertes System (Subtrans) und wird von Janić genau so wiedergegeben (vgl. Janić 2014, S. 320). Für CargoCap wird eine Kapazität von 113.000 t/Tag angeführt.

56 In Wien ergeben sich heute durch die hohe Nutzungsdichte und den Grad der Verbauung bei City-Logistik-konzepten an der Oberfläche große Probleme aufgrund einer mangelnden Flächenverfügbarkeit (vgl. Schrampf et al. 2013, S. 17).

Für Wien kann, aufgrund der unklaren Verteilung von Gütergruppen und Verlagerungseignung nach NACE, keine konkrete Aussage diesbezüglich getroffen werden. Teile des Flächenbedarfs können allerdings durch Kommissionierung im Untergrund sowie durch Just-in-time-Lieferungen verringert werden (für Zürich werden in einer Bewertung von Cargo Sous Terrain Flächeneinsparungen von 1-2 ha pro Hub genannt, vgl. Maibach et al. 2016, S. 5). Durch verringerten Infrastrukturbedarf und weniger parkende City-Logistik-Fahrzeuge rechnen Maibach, Ickert und Sutter für Zürich weiter mit rund 3 ha an Flächeneinsparungen (vgl. Maibach et al. 2016, S. 75–77). Ebenso werden Teile des Flächenbedarfs durch den Bestand an Logistikflächen absorbiert, der in Wien und Umgebung um die 250 ha beträgt – exklusive der oft gering dimensionierten Flächen der City-Logistik (vgl. VRF 2020). Zusätzlich stellt der zunehmende Leerstand von Erdgeschosszonen ein weiteres Flächenpotenzial dar (vgl. Bretschneider 2008, S. 1–2). Trotz der auf das einzelne Objekt bezogenen geringen Fläche können Erdgeschosszonen durch die Just-in-time-Lieferungen und durch geringere Lagerflächen als Hubs dienen. Die gesamte mietbare Erdgeschossfläche in Wien beträgt rund 46,7 ha⁵⁷ (vgl. Schütz 2012, S. 2). Auch wenn hier Potenzial zur Flächenaktivierung besteht, sind dennoch Nutzungskonflikte denkbar⁵⁸.

Während also Cargo Sous Terrain in Zürich (auch aus Kostengründen) mit drei großen Hubs plant, von denen aus die Belieferung der letzten Meile mit einem abgestimmten City-Logistik-Konzept erfolgen soll, würde die Situation in Wien anders aussehen. Große Entnehmer können direkt angebunden und bestehende, innerstädtische Flächen weiter genutzt werden. Damit fällt die Problematik der starken Verkehrsbelastung im Umfeld der Hubs deutlich geringer aus, mehrere Transportmodi können situativ genutzt werden, und die Flächenakquirierung ist mit weniger Hindernissen ausgestattet. Durch eine größere Anzahl an Hubs (und den größeren Hubs am Stadtrand) wird der Flächenbedarf in der Stadt verringert, wodurch Flächen leichter aktivierbar werden.

Errichtungskosten

Ausgehend von einer Kostendeckung bei rund 10% Auslastung (vgl. Stein 2014b, S. 10–11), dem oben beschriebenen Verlagerungspotenzial, bei Inwertsetzung der externen Kosten sowie der Betriebs- und Errichtungskosten ergibt sich – auf einen ersten, oberflächlichen Blick – durchaus ein theoretisches Potenzial einer ökonomischen Machbarkeit. Für ein regionales CargoCap-System attestieren Beckmann et al. (2014) ebenfalls eine ökonomische Machbarkeit. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt die Untersuchung von Cargo Sous Terrain durch INFRAS (die auch eine volkswirtschaftliche Betrachtung positiv abschließen), wobei einige kritische Elemente – vor allem im Umschlag und der City-Logistik – benannt werden (vgl. Maibach et al. 2016).

Laut einer Berechnung des Projektkonsortiums von CargoCap betragen die Kosten für einen Kilometer Güterverkehrstunnel (mit einem Durchmesser von 2 m bis 2,8 m) zwischen 2,3 bis 4,5 Millionen Euro (Emailverkehr mit CargoCap, 10. Juli 2019). Eine Machbarkeitsstudie zu den Gesamtkosten eines Baus im Ruhrgebiet (siehe Abbildung 92 auf Seite 102) kommt bei einer Streckenlänge von 85 Kilometern auf Gesamtkosten von 782 Millionen Euro (9,2 Millionen Euro pro km; vgl. Stein 2014b, S. 10–11). Eine US-Studie, welche verschiedene Varianten (Transportbehälter, Diameter, Bau, Streckenverläufe) untersucht, berechnet für ein palettenbasiertes System (Diameter 3,9 m) Gesamtterrichtungskosten (inkl. Fahrzeugen, Ablösen, etc.) von 13,76 Millionen Euro pro km und 124.928 Euro pro km/Jahr an Instandhaltungskosten (vgl. Najafi et al. 2016, S. 93–94). Das würde bedeuten, dass der in die-

57 Diese Fläche stellt einen Gesamtwert für Wien und kein unmittelbares Potenzial dar, welches räumlich wohl ungleich verteilt ist. In peripheren Lagen ist demnach von einem höheren Grad an Leerstand im Erdgeschoss auszugehen.

58 In Wien fallen pro Tag rund 150.000 Tonnen in der Ladung und Entladung an (vgl. Eurostat 2020a). Aufgrund der geringeren Eignung schwerer Güter (vgl. Maibach et al. 2016, S. 35–39) läge der Wert an im Untergrund transportierten Gütern darunter. Ebenso würden nicht alle Quellen und Senken erreicht. Bei 50.000 t täglich – das entspricht einem Drittel der Güter Wiens – entstände nach den Werten Cargo Sous Terrains ein Bedarf von rund 30 ha für Hubs. Diese Werte stehen jedoch nicht ohne Grund in der Fußnote, sie sind viel zu vage.

ser Arbeit herangezogene dreistufige Ausbau nach der Berechnung von CargoCap bis zu 675 Millionen Euro, nach der Machbarkeitsstudie für das Ruhrgebiet um die 1,38 Milliarden Euro, und nach jener der US-Studie um die 2,06 Milliarden Euro kosten könnte. Bei einer gleichzeitigen Installation von Utilities ist ein weiterer Kostenfaktor zu erwarten, der jedoch aufgrund langfristiger Einsparungen (weniger Grabungsarbeiten, billigere Wartung etc.) mit einem höheren Potenzial für einen schnelleren Return on Investment bzw. eine erhöhte Wirtschaftlichkeit einhergeht.

Diese Zahlen scheinen in einem Vergleich zum Bau einer U-Bahn gering. Die Errichtungskosten pro km U-Bahn in Wien etwa lagen im Jahr 2001 bei durchschnittlich rund 64 Millionen Euro⁵⁹ – Linienführungen an der Oberfläche sind hier miteinbezogen (vgl. Stadtrechnungshof Wien 2004, S. 6). Im Jahr 2014 wurden für neue U-Bahnprojekte (wie die U1-Verlängerung nach Oberlaa) 130 Millionen Euro pro km kolportiert, wobei hier ein großer Teil oberirdisch erfolgte (vgl. Kocina 2014). Die Stadt Wien investierte in den Ausbau der U2 und den Bau der U5 in der ersten Ausbaustufe rund 1,2 Milliarden Euro (vgl. Krutzler 2019). Die Errichtungskosten für ein unterirdisches Güterverkehrssystem, welches noch dazu Utility-Leitungen bündelt, erscheinen im Vergleich dazu nicht unrealistisch hoch. Im Tunnelbau gilt das Prinzip der Economy of Scale: Bei steigendem Diameter steigen die Kosten überproportional bis exponentiell an (vgl. Rijsenbrij et al. 2006, S. 26). Da für die U-Bahn größere Diameter wie auch höhere Sicherheitsanforderungen benötigt werden, sind die Errichtungskosten pro km Gütertunnel geringer als die U-Bahn – bei ULS fallen also niedrigere Kosten als beim Bau von Personentunneln an (im Faktor zwischen vier bis acht, vgl. ebda). Allerdings fallen nach einer Errichtung weitere Kosten für den Betrieb und die Instandhaltung an, die höher ausfallen als in herkömmlichen Verkehren. Klare Aussagen zu Errichtungskosten können nicht getroffen werden, da diese in hohem Maße durch detaillierte Planungen (bezüglich u. a. Diameter, Technik, Streckenverläufe) bestimmt werden, die nicht Umfang dieser Arbeit sind. Unter Berücksichtigung der Reduktionspotenziale hinsichtlich der externen Kosten scheinen weitere Untersuchungen zu diesem Thema also durchaus attraktiv.

Transportkosten

Abgesehen von den Errichtungskosten gibt es Instandhaltungs- und Transportkosten. Eine Abschätzung der Transportkosten pro t/km weist für den Transport via Tunnel hohe Werte im Vergleich zur herkömmlichen, straßengebundenen Logistik aus. Allerdings stehen den Transportkosten wiederum die nicht eingepreisten externen Kosten gegenüber, die für den Transport via Tunnel geringer ausfallen. Lastenräder sind vor allem in dicht besiedelten Gebieten und auf kurzen Strecken (unter 3,2 km) preiswerter gegenüber Lkw und Van (vgl. Sheth et al. 2019, S. 11).

Für die Untergrundlogistik stellt vor allem der Umlad einen kritischen Kostenfaktor dar (vgl. Maibach et al. 2016, S. 95). Für das US-amerikanische Projekt SubTrans wurden Kosten zwischen 0,54 €/tkm und 0,67 €/tkm kalkuliert (Rijsenbrij et al. 2006, S. 27). Berechnungen zu einem CargoCap ähnlichen System für Containertransport gehen von deutlich niedrigeren Werten aus (vgl. ebda., S. 22-23). Die Kosten scheinen dennoch signifikant höher als etwa beim Transport via Lkw mit rund 0,07 €/tkm oder mit dem Zug mit etwa 0,05 €/tkm (vgl. Bacovsky et al. 2007, S. 88). Unter Einbezug der externen Kosten verschiebt sich diese Rechnung jedoch in Richtung des Untergrunds, da die verursachten externen Kosten des Lkw pro tkm bis zu 0,12 Euro betragen können (vgl. Stein 2014b, S. 12; vgl. DG Move 2019)⁶⁰.

59 Die Kosten pro km stellen sich im Vergleich zu München um 55% höher dar, vor allem aufgrund der geringeren Stationsabstände und den im Vergleich zum Tunnel bis zu fünfmal höheren Kosten für Stationen (vgl. Stadtrechnungshof Wien 2004, S. 5–6). Es kann daher von keinem allgemein gültigen Referenzwert ausgegangen werden.

60 Aufgrund des geringen Sendungsvolumens laufen hier Drohnen und Pods quasi außer Konkurrenz. Die Transportkosten pro tkm bei Drohnen etwa könnten bis zu 369 Euro betragen (vgl. Wright et al. 2018, S. 20). Der Wert der tkm ist folglich nicht ganzheitlich aussagekräftig.

Juristische Faktoren

Beim Bau der Tunnel handelt es sich, so diese nicht unter Straßen im Besitz der öffentlichen Hand gebaut werden, um einen Eingriff in das Eigentum Dritter: „Das Eigentum an einem Grundstück umfasst mangels anderer Vereinbarung oder gesetzlicher Einschränkung sowohl dessen Oberfläche als auch dessen Unterfläche [...] und ist insbesondere nach unten nicht begrenzt [...]“⁶¹ (RIS 1977). Der Konflikt im Zuge des Baus der Wiener U-Bahnlinie 5 mit der amerikanischen Botschaft zeigt dies exemplarisch. Der Bau der U5 war monatelang in Schwebelage, weil die USA sich weigerten, einen Bau unter einem Gebäude in ihrem Besitz zuzulassen (vgl. Manakas et al. 2019). Auch wenn dieser Fall besonders pikant war, das grundsätzlich zulässige Mittel der Enteignung stellt im Normalfall (auch aufgrund der Entschädigungszahlungen) kein probates Planungsinstrument dar. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Tunnelbau grundsätzlich durchsetzbar wäre und keine unmittelbaren Eigentumsrechte berührt. „Der Eigentümer kann jedoch Einwirkungen nicht verbieten, die in solcher Höhe oder Tiefe vorgenommen werden, dass er an der Ausschließung kein Interesse hat“ (dejure.org o.J., § 905). Dennoch könnte von Rechtsstreitigkeiten und verzögerten Verfahren ausgegangen werden. Auch aus diesem Grund erscheint ein Bau unter (öffentlichen) Straßen sinnvoll.

7.5.4. ABSCHLIESSENDE BEWERTUNG DER WIRKUNGEN

Die Kurzanalyse zeigt, ein Logistiksystem im Untergrund Wiens scheint machbar. Abgesehen von einer Bewertung der Machbarkeiten und einer möglichen Unterstützung eines effizienteren Logistiksystems, stellen sich die Wirkungen auf verschiedene Bereiche der Stadt als vielversprechend dar (siehe Abbildung 140).

Externe Wirkungen des Verkehrs	Vorteile im Sinne der Stadtplanung	Wirkung auf die Stadt
Staus	Weniger Verkehr	++
	Weniger Parken in der zweiten Reihe	+
	Weniger Baustellen durch Straßengrabungen	+++
Ladezonen	Weniger Knappheit an Ladezonen	++
	Bessere Abstimmung durch bessere Planbarkeit der Lieferung	+++
	Neue Flächen für Umgestaltung der Straßen	+++
	Neue Flächen für sanfte Mobilität	++
	Mehr Flächen für Begrünungen	++
Sicherheit	Weniger Parken in der zweiten Reihe	++
	Weniger stauinduzierter Umfahrvverkehr	+
	Weniger schwerwiegende Unfälle	++

61 Ein Entscheid aus dem Jahr 2019 des Obersten Gerichtshofs in Österreich beruft sich auf diesen Rechtsatz, in dem festgestellt wird, dass für grundstücksdurchgängige Leitungen kein Eigentumsrecht der Grundstückseigner an der Oberfläche vorliegt (vgl. OGH 2019).

THG-Emissionen	Weniger lokale Emissionen	+++
	Einsparungen in CO ₂ -Zertifikaten	+
	Einsparung bei Fahrzeugen für Aufgrabungsarbeiten	+++
Lärmemissionen	Verbesserung von Aufenthaltsqualität an Straßen	+
	Weniger Lärm durch Schwerfahrzeuge	+++
	Verbesserung der Wohnqualität an stark befahrenen Straßen	+
	Weniger Grabungsarbeiten	+++
Flächenverbrauch	Gewinnung innerstädtischer Flächen	++
	Gezielte Flächenwidmung möglich	++
	Weniger Logistikflächen an der Oberfläche	+
	Effizientere Aufteilung des Untergrunds	+++
Infrastrukturbelastung	Weniger Schäden am Straßenbelag	+++
	Weniger Schäden an Leitungen durch Korrosion & Erschütterung	+++
	Mehr Begrünungen an der Oberfläche	+++

Abbildung 140: Bewertung von externen Wirkungen eines MUFT-Systems. Quelle: Eigene Darstellung

7.5.5. AUSBLICK AUF MÖGLICHE FOLGEN FÜR DAS BESTEHENDE SYSTEM

Ein Logistiksystem im Untergrund würde große Teile des gesamten Logistiksystems der Stadt auf den Kopf stellen und massiv in Geschäftsmodelle und -praktiken bestehender Unternehmen eingreifen. Dadurch, dass die Organisation des Systems mittels White-Label-Hubs und einer ausgelagerten Betreiberstruktur des Transportsystems im Sinne einer optimalen Bündelung und Abstimmung sinnvoll erscheint, würden Güterverkehre aus den Unternehmen ausgelagert und erst wieder in der letzten Meile (evtl. mit Lizenzsystemen) an Logistikunternehmen angegliedert werden. Hier wäre mit deutlichem politischen und gesellschaftlichen Gegenwind zu rechnen, da die Betreibergesellschaft (etwa die Stadt oder andere private Betreiber) nunmehr ein Monopol auf Lieferungen zu den City- und Grätzl-Hubs hätte. Dies könnte deutliche Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und Volkswirtschaft haben. Am Scheitern der City-Logistik (siehe S. 43) zeigt sich auch die Gefahr, dass ein Projekt zwar Reduktionen im Bereich der externen Effekte aufweist, jedoch zu hohen zusätzlichen Kosten führt, welche die Situation für Logistikbetreiber verschlechtern. Ebenso kann der betriebsfremd festgelegte Standort von Hubs zu individuell verlängerten Liefer- und Umschlagszeiten führen (vgl. Zunder & Ibanez 2004, S. 83). Logistikbetreiber wären – je nach Ausgestaltung der Betreiberstruktur – abhängig von einer extern festgelegten Preisgestaltung. Für jede Lieferung durch die Tunnel wäre, neben Gebühren für Utility-Leitungen, ein Betrag an die Betreibergesellschaft abzugeben. Die Rentabilität des Tunnels würde sich

zwar mit den Einnahmen durch die Gebühren erhöhen, es stellt sich aber dennoch die Frage, inwiefern ein solcher Tunnel (trotz optimistischer Machbarkeitsstudien) kostendeckend betrieben werden kann, und welche Folgen mögliche steigende Kosten auf Gesellschaft und Wirtschaft hätten. Demgegenüber stehen deutlich positive externe Effekte auf die Stadt und auf Emissionen, die durch politische Steuerung verstärkt werden können. Auch die Besteuerung von CO₂ kann den Handlungsdruck für den Logistiksektor (und somit die Rentabilität von ULS) erhöhen.

Im Bereich der City- und Grätzl-Hubs können neue Formen der Verteilung von Gütern, auch aufgrund der kleinräumigen und konzentrierten Einzugsbereiche, Einzug halten. Dies kann auch neue Formen des Arbeitens zur Folge haben, so ist etwa eine – als mögliche zukünftige Form der Belieferung gehandelte – über Plattformen organisierte Crowd Delivery⁶² möglich. Dadurch könnten sich die Arbeitsbedingungen im Logistiksektor aber weiter verschlechtern.

Durch eine Verlagerung des Güterverkehrs in den Untergrund werden im Straßenverkehr Kapazitäten frei, die mit weiteren Maßnahmen für Begrünungen, Bevorzugung des ÖV, Verkehrsberuhigungen oder sonstigen Initiativen genutzt werden können. Dies ist im Sinne einer klimagerechteren, grüneren Stadt notwendig, da die freien Kapazitäten durch Rebound-Effekte vom dann steigenden MIV absorbiert würden (vgl. VCÖ 2018, S. 19–20).

Es zeigt sich, dass die (vor allem politischen und juristischen) Rahmenbedingungen und Begleitmaßnahmen entscheidend für das Ausmaß an ökologischen und sozialen Verbesserungen sind und nicht nur in der Errichtung, sondern auch im Betrieb der Prozess der Steuerung eine hohe Bedeutung aufweist. Das System des MUFT bildet damit vor allem ein Potenzial, dessen ganzheitlicher Erfolg maßgeblich von den begleitenden Prozessen und Steuerungen der Planung und Politik abhängig ist.

7.5.6. AUSBLICK AUF MÖGLICHE EINFLUSSFAKTOREN FÜR DAS ZUKÜNFTIGE SYSTEM

In den bisherigen Berechnungen wurden nur die aktuellen Daten zur Logistik erfasst, Zukunftsszenarien haben keinen Einfluss und werden nicht untersucht. Es sollen allerdings vier mögliche Einflussfaktoren für Veränderungen in der städtischen Logistik hervorgehoben werden⁶³:

Veränderungen durch E-Commerce

Durch die Zunahme von E- und M-Commerce ist auch der Lieferverkehr betroffen. Im Jahr 2017 betrug etwa der E-Commerce-Anteil beim größten österreichischen Lebensmittelhändler (Rewe) 0,35%. In Deutschland werden im Bereich der FMCG⁶⁴ 1,7% der Umsätze durch E-Commerce erzielt. In Südkorea etwa beträgt dieser Anteil 20% (vgl. Eschberger 2019). Von deutlichen Steigerungen – und somit einer Verlagerung von Wegen des pri-

62 Dieses Konzept ist der Sharing Economy zuzuordnen, bei der Privatpersonen Transportaufträge annehmen können (vgl. Zanker 2018, S. 138). Dabei leiden oft arbeitsrechtliche Standards, Personen werden in Scheinselbstständigheiten geschickt, in denen etwa Kollektivverträge nicht gelten müssen. Im Zuge der COVID-19-Krise zeigte sich in der Logistikbranche, dass solcherlei Konzepte anfällig für ausbeuterische Praktiken von Seiten der Arbeitgeber sind.

63 Klarerweise ist die Zukunft schwer vorhersehbar, wie der israelische Historiker Yuval Noah Harari in seinem Buch-Bestseller "Eine kurze Geschichte der Menschheit" beschreibt. Dennoch scheinen manche Trends und Entwicklungen wahrscheinlicher als andere. Hier wurden exemplarisch vier mögliche Entwicklungen bzw. Einflussfaktoren der Zukunft beleuchtet um die möglichen Wirkungen auf ein MUFT-System zu erklären. Hier liegt natürlich eine gewisse Selektion zugrunde, die Beispiele aber zeigt, dass ein MUFT-System in bestimmte, mögliche Entwicklungen integrierbar wäre bzw. auch bestimmte stadträumliche Entwicklungen anstoßen kann.

64 FMCG – Fast Moving Consumer Goods. Das sind oft nachgefragte Güter, z.B. Güter des täglichen Bedarfs wie Lebensmittel oder Kosmetikartikel.

vaten Einkaufs hin zum KEP-Verkehr – kann somit ausgegangen werden. Diese Dynamik könnte weiters durch die COVID-19-Krise ab 2020 noch beschleunigt werden. Dies würde sich wohl in einem ersten Schritt wenig auf die bisherigen Wege mit dem Pkw auswirken, da Einkäufe oftmals am Nachhauseweg einer generell durchgeführten Fahrt erfolgen oder in locker bebauten Gebieten, wo eine unterirdische Erreichbarkeit in den ersten Schritten unwirtschaftlich wäre. Ebenso ist bei einem steigenden E-Commerce generell eine Reduktion an Gesamtfahrten möglich. In den untersuchten Raumtypen ergibt sich ein Anteil der privaten Einkaufsfahrten mit dem Kfz am Gesamtverkehr von 9,35% (nach KiT 2010). Bei einem E-Commerce-Anteil von 40% würden bereits rund 70% der städtischen Lieferungen im städtischen E-Commerce auf den Einzugsbereich der MUFT entfallen. Damit ergibt sich die Frage, wie viele Wege des Einkaufs in den Innenstädten von der persönlichen Abholung zu Fuß oder per Fahrrad auf Lieferdienste verlagert werden. So könnte eine Steigerung der Verkehre bei geringen Lasten gegeben sein.

Veränderungen durch Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum

Durch die Bevölkerungszunahme und das Wirtschaftswachstum erfolgt ein weiterer Anstieg des Güterverkehrs in europäischen Städten bzw. im Raum Wien (vgl. Aspalter et al. 2015, S. 4). Es ist also von einem steigenden Verkehrsvolumen auszugehen, was auch die Wirtschaftlichkeit des MUFT erhöhen kann (da die Grenzkosten bei besserer Auslastung sinken). Gleichzeitig müssten Kapazitäten mit einem Blick auf die Zukunft berechnet werden, vor allem da...

Veränderungen der Standortvorteile

...logistikintensive Unternehmen sich im Lauf der Zeit an hochrangigen Infrastrukturen ansiedeln könnten. Es ist damit zu rechnen, dass die Verlagerungspotenziale von der Straße in den Untergrund mit der Zeit und mit zunehmender Netzbildung und -integration steigen, wenn sich Standortvorteile entlang dieser Infrastruktur für Unternehmen durchsetzen.

Veränderungen des Handels

Die vergangenen Jahrzehnte waren von einem Wandel der kleinen Lebensmittelgeschäfte zu Märkten mit größerem Sortiment und Verkaufsflächen geprägt. Auch der Einzelhandel unterliegt einer Krise, die Verkaufsflächen des Einzelhandels in Österreich sinken (vgl. Gabor 2017, S. 9). Diese dadurch entstehende Problematik für die Stadtplanung wird vor allem unter dem Begriff Erdgeschossleerstand diskutiert. Gleichzeitig erhalten manche der verbliebenen Kleinläden im Grätzl (wie Internetcafes, Copyshops, Friseure,...) eine neue Einnahmequelle als Abholstation für Pakete, die nicht an die Zustelladressen lieferbar waren. Kundenorientiertere Lieferungen werden durch die Vorkommissionierung und das Physical Internet zwar möglich, aber trotzdem ist eine Auslegung des Logistiksystems für explizite Spitzenzeiten im Sinne einer bewussten Stadtplanung kein Ziel.

Für bestimmte Lieferungen bietet so der Erdgeschossleerstand eine Chance. Im Leerstand oder aus den verbliebenen Kleinläden können sich Geschäfte entwickeln, die im Wesentlichen die Funktion eines Krämers/Greißlers aus dem vorigen Jahrhundert erfüllen. Alltagsgegenstände werden bestellt und an einen Paketshop, einen „Greißler 2.0“ geliefert. Einkäufe jeder Art können so im Paketshop abgeholt werden, der als räumliches manifestes Element des Internetzeitalters dient. Das Problem der Greißler war vor allem das beschränkte Warenangebot, neue Chancen bieten E-Commerce und die Markt- und räumliche Konzentration von Verkaufsstellen für Konsumgüter. Hierdurch entstehen Versorgungslücken, die bisher durch erweiterte Mobilität substituiert werden. Das Zusammenspiel von einem vielfältigen, über das Internet orderbaren Warenangebot und einer kleinräumigen Verteilung bietet so neue Chancen für den Greißler 2.0. Bisher scheint die Zahl von 500 Personen im Einzugsgebiet bei einer Konkurrenzfreiheit von 3 Kilometern einen Greißler überlebensfähig zu machen (vgl. Hennemair 2005, S. 87). Umgelegt auf Wien und orientiert an der Einflussgröße von 500 Personen ergeben sich in Wien folgende Zonen, in denen Greißler 2.0 entstehen könnten (siehe Abbildung 141).

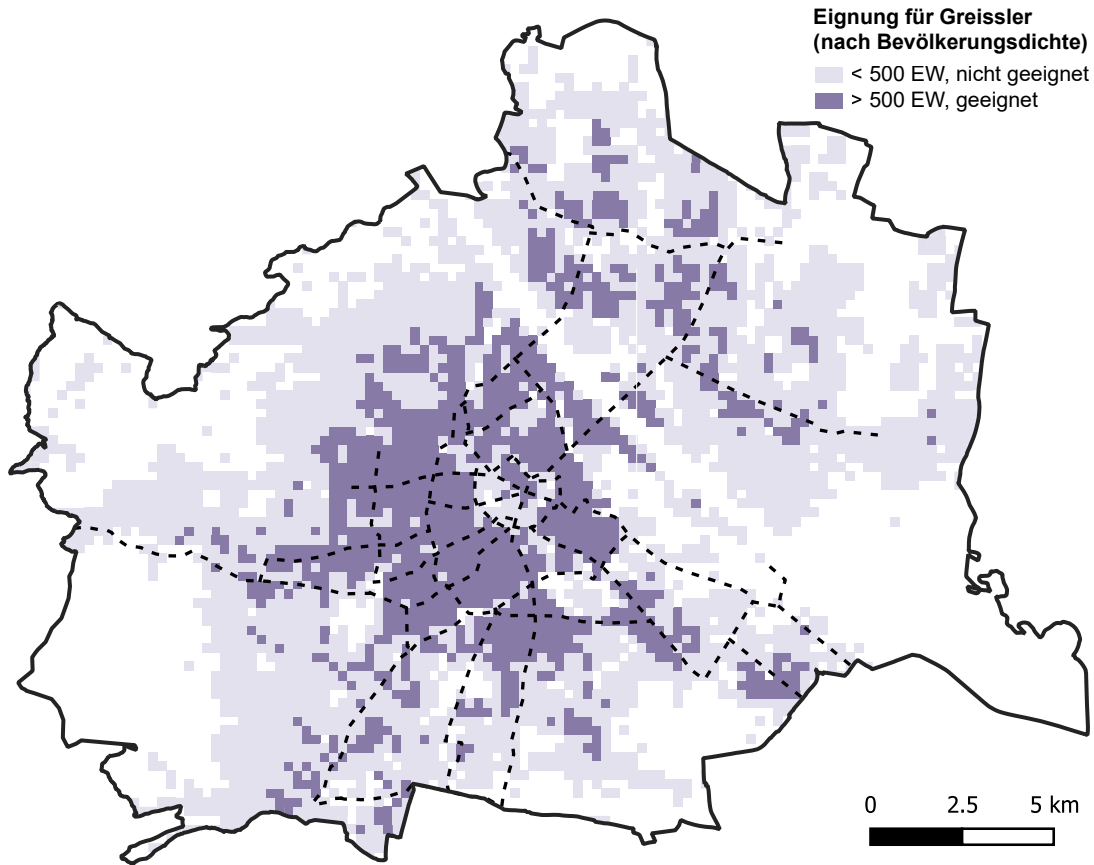


Abbildung 141: Eignung für Greißler nach Bevölkerungsdichte (im Raster von 250 Metern) und möglichem Streckenverlauf des MUFT. Quelle: Eigene Darstellung, Statistik Austria 2011

Somit wird klar, dass eine neue Infrastruktur im Untergrund vielfältige Auswirkungen (neben den vier exemplarisch vorgestellten) auf Verkehr, Stadt, Ökologie, Wirtschaft und auch Gesellschaft haben kann. Gleichfalls steht ein ULS bzw. ein MUFT in einer konstanten Wechselwirkung mit verschiedensten Elementen von Stadt und Gesellschaft und muss auch in diesem Spannungsfeld betrachtet werden. Daher können nur über bestimmte Folgen und Potenziale – die in dieser Arbeit genannt werden – Aussagen getroffen werden.

Die Untersuchung mitsamt den Ergebnissen bezieht sich folglich auf den Status quo, beruht auf einem heutigen Blick in die Zukunft unter Berücksichtigung von Daten aus dem Gestern. Die im Sinne des MUFT positiven Ergebnisse sind somit aus einer Perspektive des Jetzt zu betrachten. Dennoch zeichnet sich – angesichts der drei genannten Einflussfaktoren und einer Betrachtung der Prognosen zum Wachstum des Raums Wien ab – dass die Zukunft die positiven Ergebnisse dieser Arbeit weiter stärken wird.

8. FAZIT UND AUSBLICK

„Daß sichtbare Erfolge der City-Logistik trotz ihrer unbestrittenen Potentiale bisher eher die Ausnahme blieben, liegt neben diesen strukturellen bzw. methodischen Problemen der Bündelung komplexer Warenströme sicher auch an der gefestigten Interessenstruktur. Der komplexen Struktur städtischer Transportströme entspricht eine ebenso heterogene Zusammensetzung der im Wirtschaftsverkehr relevanten Akteursgruppen. Stadtlogistik beinhaltet daher immer auch politische und kommunikative Leistungen, sie bedarf der richtigen Verfahrenssteuerung und eines besonderen Marketings [oder einer besonderen Infrastruktur]“ (Hesse 1998, S. 244–245).

Forschungsfragen:

Der Güterverkehr trägt zwischen 10% und 20% zum gesamten städtischen Verkehrsaufkommen bei. Hinsichtlich der Emissionen werden die Anteile noch höher. Prognosen gehen von einem weiteren Wachstum der straßengebundenen Güterverkehre in den nächsten Jahren und Jahrzehnten aus. Es zeigt sich, dass durch die hohe Netzbildungsfähigkeit des Systems Straße und durch den Grad an Last-Mile-Lieferungen in der Stadt die straßengebundene Logistik in der Belieferung erhebliche Vorteile gegenüber anderen Verkehrsarten aufweist. Dies geht jedoch einher mit hohen Belastungen für StadtbewohnerInnen, Infrastruktur und Umwelt. Hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes wird deutlich, dass der Verkehrssektor als einziger die Emissionen seit Jahren erhöht, anstatt sie zu senken (siehe Abbildung 31). Aufgrund des Klimawandels und anderer externer Effekte wie Unfälle, Staus und Flächenverbrauch erhöht sich der Handlungsdruck von Seiten der Kommunen.

An der Oberfläche sind die Ziele der Stadtplanung und -verwaltung hinsichtlich des zukünftigen Güterverkehrs klar. Er soll leise, emissionsarm, effizient und sicher sein. Kurz: Die Stadtlogistik der Zukunft ist smart, grün und vernetzt. Auf einen zweiten Blick jedoch offenbaren sich Zielkonflikte und Abstimmungsprobleme innerhalb der Akteurslandschaft. Ebenso deutlich wird die Tatsache, dass die Planung für die Stadtlogistik noch keine eindeutige Definition entwickelt hat bzw. sich ihrer letztlichen Ziele nicht klar ist. Es offenbart sich ein Konflikt zwischen einer Verbesserung des Güterverkehrs im Sinne der Betreiber (schneller, effizienter, reibungsloser) und im Sinne einer nachsichtigen Stadtpolitik (weniger Flächenverbrauch, faire Verteilung des Verkehrsraums, Verringerung des Fußabdrucks; siehe Abbildung 28). Relevanz erhält das Thema durch das prognostizierte Stadt- wie Verkehrswachstum, eine zunehmende Kleinteiligkeit von Lieferungen und durch die – auch im „Weißbuch zum Verkehr“ der EU festgehaltenen – notwendigen Emissionsreduktionen.

Dieser Konflikt äußert sich in einer Betrachtung der ordnungspolitischen, technologischen wie infrastrukturellen Instrumente der Stadtplanung, die einander teilweise widersprechen, gegenläufige Effekte nach sich ziehen oder nur geringe Effekte im Sinne der 3 V der Verkehrsplanung aufweisen (siehe Abbildung 41, Abbildung 54 und Abbildung 67). So wird unter anderem die Öffnung von Busspuren für eine schnellere Logistik diskutiert, was zwar die Abläufe in der Logistik verbessern, jedoch zu einer teilweisen Behinderung des ÖV führen würde. In ein konzeptuelles Framework der City-Logistik (welche auf die Komplexität und Wechselwirkungen von Maßnahmen zumindest in Teilräumen eher eingeht) eingebettet, gestalten sich die Maßnahmen oft erfolgreicher. Es stellt sich eine große Vielfalt an Maßnahmen und Projekten dar, von denen einige durchaus zu maßgeblichen Verbesserungen bezüglich der Verlagerungs-, Bündelungs- und Emissionsreduktionseffekte beitragen können. Dennoch fällt die Bilanz nicht durchwegs positiv aus. Ex-Post-Analysen von City-Logistik-Projekten machen deutlich, dass deren Erfolg eng an das (zeitliche, organisatorische wie ökonomische) Engagement der Städte gebunden ist und selten in lang andauernde funktionierende Praxis übergeführt werden kann. City-Logistik-Projekte – wie in den EU-Projekten BESTUFS I & II sowie BESTFACT gesammelt dargestellt – adressieren oft nur Teile des

Gesamteffekts städtischer Logistik. Es stellt sich also die Frage, inwiefern die negativen externen Effekte der Logistik abseits der intensiv durchzuführenden City-Logistik-Projekte verringert werden können.

Dabei werden große Hoffnungen in Technologien der Zukunft gesetzt: Die Digitalisierung verspricht etwa Verbesserungen im Verkehrsfluss und der Auslastung von Lieferfahrzeugen. Die Automatisierung könnte u.a. Verbesserungen in der Verkehrssicherheit und der Belieferung der letzten Meile kreieren. Die Elektrifizierung würde eine Reduktion von Lärm- und THG-Emissionen nach sich ziehen. Ebenso könnten Kooperationen in City-Logistik-Projekten leichter durchzuführen sein. Die zeitnahe Umsetzung der inhärenten Potenziale dieser Trends ist jedoch unklar. In der Digitalisierung ergeben sich etwa Probleme der Kompatibilität, im Bereich der Automatisierung zeichnet sich noch eine längere Phase der für automatisiertes Fahren untauglichen Städte ab, gleichfalls stellt sich in der Elektrifizierung ebenso die Frage nach technologischer Reife, Adaptierung und Tauglichkeit für bestimmte Güter und Strecken. Mehr unmittelbares Potenzial zur Reduktion von externen Effekten und der Erfüllung von Zielen der Stadtplanung liefern – in Wechselwirkungen mit den drei Trends – alternative Verkehrsmodi wie Lastenräder, die Errichtung von Hubs sowohl am Stadtrand als auch in der Stadt und die schrittweise Adaptierung der Logistikbranche und Infrastruktur an Leitlinien des Physical Internet.

Alle möglichen positiven Effekte sind mit Unsicherheiten verbunden, die vor allem aus der Bereitschaft der Stakeholder zur Kooperation und zum Mitmachen resultieren. Außerdem findet der Güterverkehr in all diesen Szenarien noch auf der Straße statt und steht dort in Interdependenz mit anderen Akteuren und Interessen. Eine Möglichkeit, das System der städtischen Logistik von Grund auf neu zu organisieren und von der Straße zumindest teilweise zu verbannen, ist die Verlagerung in den Untergrund – ein Szenario, in welchem sich die Potenziale der Trends entfalten und so zu einer Gesamtreduktion der externen Kosten der städtischen Logistik führen können.

Ein Rückblick in die Geschichte zeigt, dass solcherlei Systeme durchaus erfolgreich sind und Güterverkehre, Emissionen, Unfälle und Flächenverbrauch reduzieren. Der Erfolg hängt jedoch maßgeblich vom lokalen wie historischen Kontext und der Ausgestaltung des Systems ab. Hohe Errichtungs- wie Betriebskosten, die Starrheit des Systems, mangelnde Integration in die Gesamtlogistik der Stadt und ein breites Stakeholderfeld stellen Hürden einer Errichtung oder eines langfristigen Erfolgs dar. In einer historischen Perspektive wird klar, dass die eher monofunktional ausgelegten Systeme durch disruptive Technologien (Lkw, Innovationen in der Kommunikationstechnik) oft ihren Nutzen verloren, da sie durch die geringe Netzgröße oder zu geringe Diameter Veränderungen in Standort- wie Güterstrukturen nicht aufnehmen konnten. Am Beispiel der Rohrpost wird evident, dass das tatsächliche Volumen an zu transportierenden Briefen mit den erwarteten Mengen nicht ansatzweise Schritt hielt. Zusätzlich schädigte der gleichzeitig zunehmende Schwerverkehr an der Oberfläche das System mittels Vibrationen enorm.

Neben der Rohrpost wurden und werden Systeme diskutiert, die für Containerfracht geeignet sind. In einem räumlichen Kontext scheint die Spezialisierung auf diese Ladungsträger vor allem im interregionalen Raum und zwischen hochrangigen Logistikterminals und Häfen sinnvoll. In der Stadt sind die Güterströme kleinteiliger – auch in einer Belieferung von City-Hubs. Dementsprechend zeichnet sich ein palettentaugliches System als zielführend ab. Dies wäre durch eine im Tunnelbau evidente Economy of Scale deutlich kostengünstiger als ein containertaugliches System.

Ein weiteres Argument für ein System unterirdischer Logistik ist die mögliche Neuordnung von Leitungen, Kabeln und Rohren im Untergrund. Neuerlegungen und Verschleiß verursachen dabei kostspielige Instandhaltungs- respektive Grabungskosten. Auch Straßenbegrünungen – ein wichtiger Bestandteil von Stadtplanung in Zeiten des Klimawandels – sind durch die wild verlegten Leitungen (Spaghetti-Subsurface-Problem) schwerer und deutlich kostspieliger durchführbar. Eine Bündelung einiger dieser Leitungen in einem zugänglichen Tunnel (Multi-Utility Tunnel, ein schon vielfach erprobtes System, von dem heute

einige Systeme weltweit im Einsatz sind) ist zwar kurzfristig kostenintensiv, hat aber mittel- bis langfristig schon heute eine positive Bilanz. Eine Verschränkung der Konzepte von ULS und MUT hätte somit neben der Entflechtung des Untergrunds eine Reduktion von Grabungsarbeiten (und damit Staus und zusätzlichen Emissionen), Transportfahrzeugen an der Oberfläche und langfristigen Kosten zur Folge.

Es wurden vor allem die Verlagerungspotenziale des herkömmlichen Straßenverkehrs in den Untergrund sowie daraus resultierende Veränderungen der externen Effekte des städtischen Güterverkehrs untersucht. Zurückgreifend auf die Analyse der City-Logistik zeigt sich, dass ein System von Hubs eine Verlagerung von Transporten der letzten Meile auf Lastenräder und E-Vans stark unterstützt. Durch das zentrale Belieferungssystem der ULS ist weiters von einer hohen Planbarkeit von Lieferungen auszugehen, wodurch Standzeiten und Umwege reduziert und Lieferverkehre kleinteiliger und effizienter organisiert werden können. Durch eine hohe Abdeckung der logistikintensiven Orte Wiens ergeben sich kleine Einzugsradien der Lieferfahrzeuge, was in einer höheren Gütertauglichkeit resultiert und in den Hubs die notwendige Lagerfläche reduziert. Die Auslastung von Fahrzeugen wird weiters durch die zentrale Organisation von Lieferungen und die abgegrenzten Liefergebiete erhöht. Dabei sinken die zurückgelegten Kilometer und damit die Emissionen. Durch ULS ist von einem konstanten Strom an bedarfsgerecht gelieferten Gütern in die Stadt auszugehen. Die Anbindung von Hubs und logistikrelevanten POIs durch das ULS schafft vor allem in den Verkehren in sowie aus der Stadt (zu den intermodalen Güterverkehrszentren am Stadtrand) Verlagerungseffekte. Diese Verkehre betragen rund 50 bis 60% der Logistikverkehre einer Stadt. Bei fortschreitender Netzbildung sind die Binnenlogistikverkehre gut an das System angebunden und können ebenso verlagert werden.

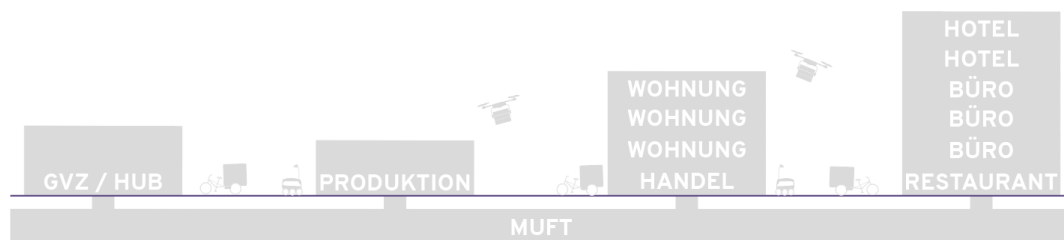


Abbildung 142: Entnahmepunkte aus dem MUFT. Logistik-POIs oder Grätzlhubs. Quelle: Eigene Darstellung

Hinsichtlich der Verlagerungspotenziale sind mehrere Faktoren zu beachten. Diese hängen von Einzugsbereich, Anbindung der Ziele, Systemtauglichkeit und Eignung für das spezifische Gütergruppenaufkommen ab. Im Rahmen der Arbeit wurde ein mögliches Zielsystem am Fallbeispiel Wien untersucht, um mögliche Grundwerte zur Diskussion zu stellen. Genauere Analysen bedürfen eines größeren Forschungsumfanges und vor allem einer besseren Datengrundlage, die im Zuge der Arbeit weder verfügbar noch erhebbar war. Studien zu anderen Projekten (mit anderer Ausgestaltung, die Ergebnisse sind deshalb nur bedingt übertragbar) liefern grundlegende Daten, an denen die Ergebnisse des Fallbeispiels Wien verglichen werden können. Die Werte sind vor allem deshalb teilweise nicht gut vergleichbar, weil noch kein Projekt existiert, welches explizit den urbanen Raum mit der Absicht der Bildung eines Netzes untersucht. Explizitere Daten – etwa zu gesamtstädtischen Verlagerungspotenzialen – fehlen somit. Hinsichtlich dieser Aufgabenstellung existiert folglich weiterer, interdisziplinärer Forschungsbedarf. Die angesprochenen Studien sowie aktuelle Projekte zeigen aber klar, dass das System des ULS grundsätzlich finanzierbar ist. Als kritischer Kostenfaktor stellen sich vor allem die Umschlagsflächen (die City-Hubs) heraus. Bei einer geringeren Dimensionierung und Erhöhung der Anzahl ist allerdings von einem deutlich geringeren Komplexitätsgrad auszugehen, durch die Just-in-time-Lieferungen sinkt der Flächenbedarf.

Diese Arbeit hat damit vor allem die theoretischen Potenziale zur Reduktion negativer externer Effekte durch Verlagerung in den Untergrund der Stadt Wien untersucht. Dieses Potenzial ist durch die Dichte der Stadt und die räumliche Konzentration von Lieferintensität (in der Arbeit anhand von Daten verschiedenster Erhebungen berechnet) hoch – mit einer

ULS-Länge von rund 150 Kilometern befinden sich rund 80% der Ziele von Fahrten des Güterverkehrs in einem Einzugsbereich von 1200 Metern. Im untersuchten Modell Wiens könnten so bezüglich der Fahrten bis zu 70% der externen Kosten des Güterverkehrs eingespart werden. Diese Zahl ist vom Transportmodus auf der letzten Meile abhängig. Durch die hohe Dichte an logistischen Zielen sowie ein geringes Einzugsgebiet werden allerdings sanftere Mobilitätsformen – wie Lastenräder – unterstützt und ermöglicht. Eine Unbekannte stellen die Errichtungs- und Betriebskosten dar, weiters wäre ein eventueller Planungsprozess sowie die Erstellung eines Betreiberkonzeptes aufgrund der vielen Stakeholder mit einigen Hürden verbunden. Historisch zeigt sich weiters, dass auf singuläre Nutzung ausgelegte Infrastrukturen besonderer Planungssorgfalt bedürfen.

Weiterführender Forschungsbedarf:

Es existieren keine bekannten Studien oder Projekte, die sich mit einer netzbildenden Güterinfrastruktur im Untergrund von Räumen mit hoher Logistikintensität auseinandergesetzt haben, weshalb es an Referenzwerten und einer Bearbeitung von in dieser Arbeit nicht beachteten Teilbereichen mangelt. Ein weiterer Forschungsbedarf ergibt sich insbesondere zur Generierung lokaler und valider Daten zu Logistik und Verkehr, zur Abklärung der juristischen Implikationen, zur geologischen und hydrologischen Machbarkeit, zu den Verflechtungen zum Umland, zum Planungsprozess, zur ökonomischen und ökologischen Machbarkeit, zur technischen Umsetzung (und somit zur genauen Kapazität und zu exakten Verlagerungspotenzialen), zu mikro- und makroökonomischen Effekten, zum Betriebskonzept etc. Die Unbekannten sind also vielfältig, dennoch konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass die Potenziale groß genug scheinen, um den diesbezüglichen Wissensstand zu vertiefen und zu erweitern.

Weiterer Forschungsbedarf, Unklarheiten und Perspektiven

Verlagerungspotenziale	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Daten zum Aufkommen (z.B. O-D-Matrizen nach Güterart und Branchenkennwerten) würden für detaillierte Modellierungen benötigt und wie können diese gewonnen werden? • Wie würde das Reduktionspotenzial im Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßen aussehen? • Wie viel Kapazität weisen Hubs auf, wo müssen diese lokalisiert sein, und wie wirken diese auf Verkehrsströme?
Ökologische Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Wie hoch ist der Anteil an grauer Energie in Bau und Betrieb? In welchem Verhältnis steht dieser zu möglichen Einsparungen? • Welche Möglichkeiten zum Einsatz erneuerbarer Energien gibt es? Wie stellt sich dir Ökobilanz dar, wenn nur partiell auf erneuerbare Energien zurückgegriffen wird?
Systemische Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Wie wirkt ein MUFT auf das Ver- und Entsorgungssystem in seiner gesellschaftlichen und ökonomischen Dimension? • Welche Effekte (z.B. verkehrliche Reboundeffekte) können entstehen und wie können diese verhindert werden? • Welche Instrumente und Maßnahmen fördern, und welche Maßnahmen erhöhen den gesellschaftlichen Nutzen und die Machbarkeit eines MUFT-Projekts?
Ökonomische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Wie gestalten sich makro- wie mikroökonomische, sekundäre und tertiäre Effekte (Wirkungen auf Arbeitsmarkt, volkswirtschaftliche Effekte in Bau und Betrieb...)? • In welchen Szenarien ist ein MUFT ökonomisch machbar? Welche Variablen sind kritisch für einen Erfolg? (Untersuchung etwa durch Sensitivitätsanalysen)
Judikative Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Parteien haben Einspruchsrechte, bzw. welche juristischen oder natürlichen Personen haben in einem Verfahren Parteienstellung? • Welche Verzögerungen (durch Einwände, UVP etc.) im Planungsprozess sind zu erwarten? • Welche Risiken (Haftungen, Ausfall, Klagen von Logistikbetreibern...) sind zu erwarten und wie sind diese zu bewerten? • Gibt es verfassungsrechtliche Bedenken (z.B. bzgl. des Gleichheitssatzes) bei einem so starken Eingriff in Geschäftspraktiken?

Politische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Wie viel Commitment ist für eine Umsetzung nötig? • Wo entstehen Zusatzbelastungen (etwa um Hubs) und welche Ausgleichsmaßnahmen kämen in Frage? • Welche Instrumente und Entwicklungen erhöhen bzw. verringern die Machbarkeit eines städtischen ULS-Projekts (etwa CO₂-Steuern u.a.)
Geologische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Wie sind die geologischen Begebenheiten im Untergrund? Welche Trassenverläufe kommen in Frage oder sind ausgeschlossen? • Welchen Einfluss haben die geologischen Gegebenheiten auf Errichtung- und Instandhaltungskosten?
(Bau-)Technische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • In welchen Tiefen muss das System verlegt sein, um vor Erschütterungen geschützt zu sein? • Wie sicher ist ein System, in dem auch Utilities (wie etwa Gasleitungen) installiert sind? • Welche Technik und Technologie wird verwendet, was ist tauglich (für Hubs, für Umlad, für Transport, für das Ausladen, für die Aufzüge...)? • Wie sind digitale/telematische Schnittstellen und Kommunikationsplattformen zwischen Betreibern, KundInnen und Unternehmen ausgestaltet?
Betriebskonzepte	<ul style="list-style-type: none"> • Wer betreibt das System und die Hubs (White Label, stadteigenes Unternehmen, eigenständiges Unternehmen...)? • Wie erfolgt die Auslieferung auf der letzten Meile (Lizenz, freier Markt, Genossenschaft, kooperative Ökonomie...)?
Stakeholderintegration und Planungsprozess	<ul style="list-style-type: none"> • Welches Planungs- und Beteiligungsverfahren eignet sich für ein solches Projekt? • Welche Interessen werden gestützt, welche verletzt, wie kann eine Kohäsion der Interessen gestaltet sein? • Wie viel Kompromiss verträgt das System, um einen positiven Kosten-Nutzen-Effekt aufzuweisen?
Zeitliche Komponente	<ul style="list-style-type: none"> • Wie wirkt das System auf Standortqualitäten? • Wie flexibel kann das System angelegt werden, um zukünftige Entwicklungen bestmöglich aufzunehmen?
Räumliche Komponente	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Konsequenzen und Steuerungseffekte ergeben sich durch Flächenwidmungsplanung? • Welche Potenziale ergeben sich für die Raumentwicklung in der Stadt wie im Quartier? • Welche Möglichkeiten zur Verkehrsberuhigung und Stadtbegrünung ergeben sich durch das System? • Welche Begleitmaßnahmen müssen wann erfolgen, um etwa Rebound-Effekte (z.B. das Auffüllen von freien Kapazitäten im Verkehr durch Private) zu verhindern? • Wie stellen sich die Verflechtungen der Güterbewegungen in der Stadtregion dar?

Abbildung 143: Weiterführender Forschungsbedarf, Unsicherheiten und planerische Perspektiven (u.a.).
Quelle: Eigene Darstellung

Datenverfügbarkeit:

Die Datenlage bezüglich konkreter und räumlich sowie nach Branchen differenzierter Zahlen zur Logistik ist nicht ausreichend. In dieser Arbeit wurden ein paar wesentliche branchenspezifische Indikatoren erhoben, die zukünftige Analysen zur städtischen Logistik erleichtern. Die hier vorgestellten Indikatoren beruhen bereits auf kostenpflichtigen Daten. Aufbauend auf dieser Arbeit können – mit größerem methodischen und/oder ökonomischen Einsatz – diese Indikatoren erweitert, verfeinert und verbessert werden. Hierfür sind neue Datensätze und Erhebungen notwendig (siehe S. 124).

Vor allem die in standardisierten Erhebungen mangelnde oder unklare Differenzierung zwischen Wirtschafts- und Güterverkehr stellt ein Problem bei der Analyse von Daten, der Inter-

pretation und der internationalen Vergleichbarkeit von Zahlen dar. Oftmals wird die Logistik nur als Teil des Wirtschaftsverkehrs genannt, wodurch die Ergebnisse von Erhebungen vor allem auf lokaler, oft aber auch auf nationaler Ebene äußerst ungenau sind und man sich mittels anderer Erhebungen an Werte annähern muss. Dies ist oftmals der einzige Weg, um etwa tatsächlich durch Logistik verursachten Verkehr abzuschätzen. Der Grund hierfür ist sicher auch im noch recht jungen Alter der Disziplin der Logistik (aus stadtplanerischer Sicht) zu finden – weiters sind gute Daten oft gleichbedeutend mit Firmengeheimnissen. Aber auch auf judikativer Ebene befinden sich (etwa semantische) Hürden, die einen ganzheitlichen, statistischen Blick auf die Logistik verunmöglichen. So definiert etwa das deutsche Güterverkehrsgesetz 2002 den Güterverkehr als Kraftfahrzeuge, die ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 t aufweisen. Ein bedeutender Teil der städtischen Logistikkilometer wird jedoch von Transportern unter 3,5 t oder Pkw erzeugt (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Diese werden damit aber oft zum Personenwirtschaftsverkehr gezählt (vgl. KiD 2002, S. 17).

Mögliche Raumwirkung:

Die Wirkungen eines MUFT in Wien gehen über die Reduktion von Verkehr und externen Wirkungen sowie Eingriffen in die Umwelt hinaus. Diese Infrastruktur würde neue Standortqualitäten schaffen, das Logistiksystem samt der Betreiberstruktur neu aufstellen, Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und Gesellschaft aufweisen (siehe S. 151). Die exakten und umfassenden Wirkungen sind separat zu erheben. Wichtig vor einem Bau ist die genaue Beschäftigung mit der Routenplanung in Abstimmung mit Zielen der Raumentwicklung und Standortpolitik. Durch ein System der Logistik im Untergrund zeichnen sich deutliche Veränderungen in den Standorten mit potenziell signifikanter Wirkung auf die Stadt ab, während aufgrund der Kosten und der technischen Ausgestaltung das System des MUFT mehr oder weniger starr ist und für Jahrzehnte in den selben Trassen verharren könnte.

Durch die besser planbare und zuverlässigere Just-in-Time Belieferung von Supermärkten (und des Einzelhandels generell) könnte sich ein Trend verstärken, der sich schon jetzt teilweise abzeichnet – die Umwandlung von Supermärkten zu Bestell- und Abholshops und damit zu Quasi-Hypermärkten (mit einem deutlich größeren Warenangebot). Damit betrifft diese Dynamik räumlich vor allem – durch den E-Commerce ohnehin schon belastete – Erdgeschosszonen. Ein MUFT könnte damit auch zur Entstehung einer neuen Generation von Greißlern beitragen, die als grätzlinterner Abholshop für bestellte Waren als eine Weiterentwicklung von Paketshops fungieren. Durch die gut planbaren Lieferungen und den geringen Bedarf an Lagerflächen kann so in den Erdgeschosszonen der dichter bebauten Gebiete eine neue Infrastruktur analog zu den MUFTs entstehen.

Weiters zeichnet sich eine Reduktion der für die Logistik benötigten Flächen in der Innenstadt ab (vor allem Lager- und Umladflächen). Während in Wien die Veränderungen des vergangenen Jahrhunderts große Stadtentwicklungsgebiete am ehemaligen Süd-, Nord- und Nordwestbahnhof freispielten, fallen diese neuen Entwicklungsflächen räumlich disperser und in ihrer Größe reduzierter aus. Darin bietet sich eine Chance für Stadtplanung, Akzente für eine Stadt der Zukunft zu setzen. Freie Flächen könnten zum Beispiel für Urban Farming, für Begrünungen, als Freiraum genutzt werden. In der Aktivierung dieser Flächen ist es auf alle Fälle wichtig, diese auch als Reserven für eine unbekanntere Zukunft und als Motor für Urbanität und Innovation zu begreifen. Wie Häußermann und Siebel betonten, ist das Beste, was die Planung für den Erhalt der urbanen Stadt tun kann, Zonen des Übergangs zuzulassen und Architekturen zu schaffen, die altern können und Zweckentfremdung vertragen (vgl. Häußermann & Siebel 2000, zitiert nach Löw et al. 2007, S. 139).

Die Verlagerung von Güterströmen in den Untergrund hat neben einer Reduktion des Verkehrs die Vorteile, dass auch Leitungen besser organisiert und gebündelt werden können. Damit werden Grabungs- und Instandhaltungsarbeiten an der Oberfläche reduziert und Raum im Untergrund für Straßenbegrünungen (bzw. die Wurzeln von Bäumen) geschaffen. Verkehrlich stark belastete Straßen (mit einem hohen Güterverkehrsanteil) erfahren weiters durch die Atomisierung von Transitrouten (eine größere Verteilung von Hubs samt unterirdischer Belieferung bedeutet eine größere Streuung bei kürzeren Wegen) eine Entlastung.

Transitraum kann somit in Lebensraum umgewandelt werden. Ein wichtiger Punkt ist der gleichzeitige Rückbau von Straßenräumen bei einer Reduktion der Verkehrsmenge, da die freie Kapazität sonst schnell vom MIV absorbiert wird.

Damit wird öffentlicher Raum an die BewohnerInnen der Stadt durch Begrünungen und Verkehrsberuhigung zurückgegeben und die Lebensqualität eines weiten Teils der Bevölkerung verbessert. Eine Errichtung neuer Verkehrsinfrastrukturen ist keine Selbstverständlichkeit, dies zeigt ein historischer Rückblick auf bisherige, nicht umgesetzte und dennoch vielversprechende Innovationen in der Mobilität. In vielen Bereichen gibt es noch vertieften Forschungsbedarf, Lücken in der Datengrundlage müssen gefüllt werden. Und dennoch lässt sich angesichts der vielen noch vorhandenen Hürden sagen: MUFTs können ein wichtiger – und potenziell umsetzbarer – Beitrag zu lebenswerten und klimagerechten Städten der Zukunft sein.

9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 01: Die Stadt will mit Gütern versorgt werden. Dabei entstehen Konflikte, die durch Maßnahmen der City-Logistik gelöst werden sollen.	1
Abbildung 02: Gliederung städtischer Verkehre.	3
Abbildung 03: Externe Effekte und die zukünftige Entwicklung von Stadt, Gesellschaft und Logistik als Klammer der Betrachtung.	7
Abbildung 04: Einordnung der Arbeit in die Komplexitätstypologie von FTI-Projekten in der Logistik. Die Blau markierten Felder stellen den Hauptfokus der Arbeit dar.	8
Abbildung 05: Aufbau, Inhalt und Methoden der Arbeit.	10
Abbildung 06: Thematische Abgrenzungen und Bearbeitungsumfang des Themas der Untergrundlogistik.	11
Abbildung 07: Verkehrsoptimierung oder grüne, lebenswerte Städte? Seit langem ein Diskurs der praxisorientierten Stadtplanung.	12
Abbildung 08: Distinktionsmerkmale in der Logistik.	13
Abbildung 09: Räumliche Gliederung nach Merkmalen der Logistik.	13
Abbildung 10: Räumlich-logistische Wechselwirkungen: Unterschiedliche Raumstrukturen bedingen unterschiedliche Verkehre.	14
Abbildung 11: Redundante Distributionsstrukturen in der heutigen städtischen Logistik.	15
Abbildung 12: Aufteilung des Transportaufkommens österreichischer Unternehmen nach Entfernungsstufen im Inland in Prozent: Straße und Schiene, 2018.	17
Abbildung 13: Zahl der Anlieferungen je Fahrzeugtyp im Untersuchungsgebiet Münchens 1999.	18
Abbildung 14: Transportmodi in städtischen Räumen Deutschlands.	18
Abbildung 15: Die Atomisierung von Lieferungen verändert die Logistik und erschwert die Planung und Organisation von Lieferungen.	19
Abbildung 16: Unterschiede im Güterverkehrsaufkommen nach Güterart und zurückgelegten Kilometern in der EU (ohne Malta) und AT in Prozent.	21
Abbildung 17: Externe Kosten des Güterverkehrs.	23
Abbildung 18: Anteil des Güterverkehrs an den externen Kosten des Straßenverkehrs.	23
Abbildung 19: Anteil des Güterverkehrs an Kostenkategorien.	24
Abbildung 20: Neben den Emissionen hat die Logistik noch andere negative Effekte. Sie beansprucht Flächen (wie hier etwa Teile des Radwegs), sorgt für gefährliche Verkehrssituationen (wie hier durch schlechte Einsicht des Zebrastreifens) und sorgt für Nutzungskonflikte (wie hier durch die Beanspruchung einer innerstädtischen Ladezone).	24

Abbildung 21: Verkehrs- und Emissionsanteile des Güterverkehrs am Straßenverkehr.	25
Abbildung 22: Anteile des Güterverkehrs an den Kategorien der externen Kosten in Deutschland 2017.	25
Abbildung 23: Anteile des Güterverkehrs an den Kategorien der externen Kosten in der Europäischen Union.	26
Abbildung 24: Faktoren der externen Kosten (€-Cent/km) in Metropolregionen im Vergleich zu ländlichen Regionen.	26
Abbildung 25: Verhältnis der externen Kosten zwischen pkm und tkm zu vkm.	27
Abbildung 26: Anteil der Belastungen ausgehend vom Pkw nach Fahrzeugtyp in Städten (EU-Schnitt).	27
Abbildung 27: Bewertung und Umrechnungsschlüssel der urbanen Effekte des Verkehrs.	28
Abbildung 28: Ziel- und Problemfelder der Logistik aus Sicht der Betreiber und der Planung.	30
Abbildung 29: Opfer (links) und Verursacher (rechts) tödlicher Verkehrsunfälle nach Verkehrsmodus in den Niederlanden 2017.	31
Abbildung 30: Geschätzter Anteil der Treibhausgas-Emissionen innerhalb des Transportsektors (in der EU 2010).	32
Abbildung 31: Treibhausgasemissionen nach Verkehrsart. Nur die Bahn scheint auf dem richtigen Weg, die Einsparungsziele zu erfüllen.	32
Abbildung 32: Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge in der EU.	33
Abbildung 33: Straßenverkehrslärm in Wien.	34
Abbildung 34: Viele Faktoren beeinflussen die Lärmemissionen der Fahrzeuge.	34
Abbildung 35: Ladezonen in Wien.	36
Abbildung 36: Die Problematik der Ladezonen in Analogie zur Problematik der Commons.	37
Abbildung 37: Einordnung von Maßnahmen in Handlungsspektren.	39
Abbildung 38: Von Elementen der städtischen Logistik hin zur City-Logistik: Diese geht über die Optimierung eines bestimmten Lieferwegs hinaus.	40
Abbildung 39: Zeitlicher Abriss der Entwicklung der City-Logistik.	41
Abbildung 40: Die mögliche Entwicklung der städtischen Logistik aus der Policy-Perspektive.	47
Abbildung 41: Auswahl und grobe Bewertung von städtischen Maßnahmen, Förderungen und Regularien zur Verringerung der externen Effekte des Güterverkehrs.	49
Abbildung 42: Technologische und infrastrukturelle Innovationen können Teil von zukünftigen City-Logistik-Konzepten sein, wie hier an einer Vorstellung zur Paket-Logistik.	49

Abbildung 43: Historische Entwicklung und Innovationen in der Logistik.	51
Abbildung 44: Wann wird die Post automatisiert zugestellt?	54
Abbildung 45: Die SAE-Level der Automatisierung.	55
Abbildung 46: Eingriffe in das automatisierte Fahrsystem nach Meilen in Kalifornien 2017.	56
Abbildung 47: Aggregierte Fehlerquellen für Disengagements.	57
Abbildung 48: Klassifizierte Fehlerquellen der Tests von avVs in Kalifornien 2017. n=1550.	58
Abbildung 49: Die Automated Drivability am Beispiel Wiens.	58
Abbildung 50: Ein Genießen des Fahrtwinds auf der Motorhaube eines fahrenden Lkw, wie in den Simpsons gezeigt, scheint vor allem in Städten noch in weiter Ferne.	59
Abbildung 51: Die Effizienz verschiedener Antriebsarten bei E-Autos.	60
Abbildung 52: Anteil der Lkw mit Elektro- oder Hybridantrieb an den gesamten Lkw in Wien.	61
Abbildung 53: Alter von Fahrzeuggruppen in Österreich..	62
Abbildung 54: Trends in der Logistik: Bewertung der Wirkungen.	64
Abbildung 56: Wechselwirkungen der Trends und Entwicklungen.	64
Abbildung 55: Bewertung der möglichen Effekte der Trends auf die negativen Effekte der Logistik.	64
Abbildung 57: Standortverlagerungen zu einem neuen Güterverkehrszentrum am Rande Bremens.	65
Abbildung 58: Einzugsbereiche, Ziele und Sendungsvolumina zweier innerstädtischer Hubs in München.	67
Abbildung 59: Anzahl der Fahrten pro Tag und Hub (n=31).	68
Abbildung 60: Schematische Skalierung einer Supply Chain samt Knotenpunkten.	69
Abbildung 61: Schematische Darstellung eines multiskalar vernetzten Physical Internet in der Stadtlogistik.	70
Abbildung 62: Automatisierte Zustellroboter und mögliche Lieferstrukturen.	71
Abbildung 63: Lieferstruktur eines Lastenrads.	72
Abbildung 64: Lieferstruktur einer Lastendrohne.	73
Abbildung 65: So stellt sich Amazon einen über der Stadt schwebenden Zeppelin als mobiles Lager für die Lieferdrohnen über dem Stadtgebiet vor.	74
Abbildung 66: Lieferstrukturen eines kombinierten Systems neuer Transportmodi.	75

Abbildung 67: Entwicklungen der Logistik: Bewertung der Wirkungen.	77
Abbildung 68: Bewertung der möglichen Effekte der Entwicklungen auf die negativen Effekte der Logistik.	77
Abbildung 69: Stellt unterirdische Logistik eine Lösung für Verkehrsprobleme dar? Mehrere Projekte – darunter Cargo Sous Terrain in der – verfolgen diesen Ansatz.	77
Abbildung 70: Vorteile und Nachteile verschiedener Transportmodi.	79
Abbildung 71: Vor- und Nachteile der verschiedenen Transportmodi in einem räumlichen Kontext.	79
Abbildung 72: Wirkungsdiagramm: Einbettung und Wechselbeziehungen von Untergrundlogistik auf Trends und Entwicklungen.	80
Abbildung 73: Lieferungen durch den Untergrund. Ein Potenzial für die Zukunft?	80
Abbildung 74: Potenzial der Logistik: Bewertung der Wirkung von Untergrundlogistik.	81
Abbildung 75: Bewertung der möglichen Effekte der Untergrundlogistik auf die negativen Effekte der Logistik.	81
Abbildung 76: Bis zu 23% der städtischen Waren können mit Lastenrädern geliefert werden. Aber wer liefert die Lastenräder?	81
Abbildung 77: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile sowie der Eignung verschiedener Transportmodi unter der Prämisse eines nachhaltigen Gesamtsystems.	82
Abbildung 78: Einordnung von Zielen in Maßnahmen- und Wirkungskategorien.	84
Abbildung 79: Wirkungsbewertung der Projektionen zur Zukunft der City-Logistik.	85
Abbildung 80: Neue Möglichkeiten in der Last-Lieferung zeichnen sich ab. Können deren positive Effekte durch unterirdische Logistik verstärkt werden?	86
Abbildung 81: Einzugsbereich der Wiener U-Bahnstationen auf einer Darstellung der Bevölkerungsdichte.	89
Abbildung 82: Ausdehnung des Berliner Rohrpostnetzes im Jahr 1933 (bezogen auf den innerstädtischen S-Bahn-Ring).	90
Abbildung 83: Darstellung der Betriebszeiten einiger Rohrpostsysteme.	91
Abbildung 84: Ein Untergrundtunnel für kleine Güterzüge in Chicago im Jahr 1912.	92
Abbildung 85: Eignung, Vor- und Nachteile von verschiedenen Untergrundlogistiksystemen.	93
Abbildung 86: Übersicht ausgewählter ULS-Projekte.	95
Abbildung 87: Ausschnitt aus dem Tunnelsystem Chicagos.	95
Abbildung 88: Eine Werbung der Chicago Tunnel Company aus dem Jahr 1923. Diese hatte ständig mit dem geringen Bekanntheitsgrad zu kämpfen.	96
Abbildung 89: Das Tunnelnetz im Zentrum Chicagos orientierte sich an den	

Straßenverläufen. Beinahe jede Straße war untertunnelt.	98
Abbildung 90: Die Route der Post Office Railway im Jahr 1929.	99
Abbildung 91: Beladung eines Verkehrsträgers.	100
Abbildung 92: Ungefäher Verlauf der konzipierten Strecke von CargoCap im Ruhrgebiet.	102
Abbildung 93: Geplanter Trassenverlauf von Cargo Sous Terrain anhand der Bevölkerungsverteilung und Geologie der Schweiz. Erster Streckenabschnitt gekennzeichnet.	103
Abbildung 94: Güter können an Ausweichstellen temporär gelagert werden.	104
Abbildung 95: Sogar Leonard Nimoy hält eine Eröffnungsrede zur neuen Monorail in North Haverbrook. Ab dann geht alles schief.	105
Abbildung 96: Die "Pneumatic Tube", ein klaustrophobisches Verkehrsmittel des viktorianischen London.	105
Abbildung 97: Das Teletranssystem (Individuelle, autonome Mobilität in potenziell unterirdischen Röhren) wurde nie umgesetzt. Es lässt sich allerdings in Grundzügen mit Elon Musks Boring Company vergleichen.	106
Abbildung 98: Der Pfad der rekonfigurierten Transformation der städtischen Logistik unter dem Gesichtspunkt einer starken Governance und der Errichtung einer unterirdischen Logistik.	107
Abbildung 99: Aus besseren Zeiten: Das Rohrpostsystem in England wuchs im späten 19. Jahrhundert rasch an.	108
Abbildung 100: Vorteile von ULS. Ergebnisse eines ExpertInnensurveys mit der Frage: „Bitte reihen Sie die Vorteile von ULS in Texas“.	109
Abbildung 101: Vorteile und Hindernisse von ULS.	110
Abbildung 102: Einiges los im Untergrund Londons. Der städtische Untergrund ist vielfach bereits besetzt und erfordert bei Reparaturen oder der Neuinstallation von Leitungen deutliche Mehrkosten.	111
Abbildung 103: Ein Wirrwarr an Leitungen im Untergrund: Das Spaghetti-Subsurface-Problem.	113
Abbildung 104: Die „Spaghetti-Subsurface“ im Raum der Wiener Mariahilfer Straße. Es ist lediglich ein Teil der Leitungen im Untergrund abgebildet. Die Auflistung gibt die bekannten Einbauten im Untergrund an. Es befinden sich folglich noch weitere Leitungen im Untergrund, die auf dieser Karte nicht abgebildet sind.	114
Abbildung 105: Aufgrabungen pro km Straße und Alter der Utilities.	115
Abbildung 106: Kosten der Verlegung von Leitungen in unterschiedlichen Arten und Räumen.	116
Abbildung 108: Typ A: Schacht, von der Oberfläche zugänglich, Typ B: Eigener Tunnel, Typ C: Eigener Tunnel, unterteilt.	118

Abbildung 107: Kosten verschiedener Arten der Verlegung von Leitungen unter Berücksichtigung von notwendigen Eingriffen und Reparaturen.	117
Abbildung 109: ULS können auch Platz für verschiedene Utilities bieten.	119
Abbildung 110: Güter werden an einen dezentralen Hub geliefert und durch die MUFT in die Stadt transportiert. Dort können alternative Verkehrsträger eingesetzt werden.	119
Abbildung 111: Vorher – Nachher. Durch ULS/MUFT können Wege gebündelt zurückgelegt werden.	120
Abbildung 112: Unterschiede im auf der Straße transportierten Güteraufkommen nach Gewicht in Prozent. Ein Vergleich europäischer Städte im Jahr 2018.	122
Abbildung 113: Eine Darstellung des ULS von CargoCap. Unter den Straßen verlegt, können in einem System des ULS auch Leitungen gebündelt und zugänglich installiert werden – ein MUFT entsteht. .	123
Abbildung 114: Abgrenzung der Potenzialanalyse anhand einer Klassifizierung von Wirtschaftsverkehrsmodellen.	125
Abbildung 115: Abbildung der Struktur und der Berechnungsschritte.	127
Abbildung 116: Räumliche Verteilung von EinwohnerInnen und Beschäftigten in Wien.	128
Abbildung 117: Beschäftigte in Wien (ohne NACE-Sektor H).	128
Abbildung 118: Klassifizierung der in KiD 2010 verwendeten Kreistypen.	129
Abbildung 119: Unterschiede im Güteraufkommen nach Kreistypen und verwendete Kreistypen im Modell.	130
Abbildung 120: Verkehrsanteile der NACE-Klassen in einer Aggregation der Verkehrsräume 1, 2 und 5.	131
Abbildung 121: Verkehrszugehörigkeiten im KiD 2010.	133
Abbildung 122: Unterscheidung von Fahrten im KiD 2010.	133
Abbildung 123: Branchenspezifische Werte zur Fahrtenanzahl pro Beschäftigtem.	135
Abbildung 124: Annäherung an täglichen Lieferungen in Wien.	135
Abbildung 125: Güterverkehrsanteil nach Zielkategorien.	136
Abbildung 126: Fahrt nach Wirtschaftsklasse an Zielkategorien (aggregiert).	137
Abbildung 127: Aufteilung der Fahrten nach Verkehrsträgern.	138
Abbildung 128: Emissionen im städtischen Verkehr nach Verkehrsträgern.	138
Abbildung 129: Fahrten, Kilometer und Emissionen pro Beschäftigtem in Wien.	139
Abbildung 130: Die Logistikintensität in Wien. Anlieferungen pro Raster und Tag.	140
Abbildung 131: Auswahlfaktoren für die Trassenfindung.	141

Abbildung 132: Lärm- und Verkehrsbelastung in Wien sowie Logistknachfrage und mögliche (gewidmete) Flächen für Hubs.	142
Abbildung 133: Verkehrsbelastung in Wien im Verlauf des Tages.	142
Abbildung 134: Mögliche Erschließungsstruktur und Trassenführung. Im Hintergrund ist die Logistikintensität angezeigt.	143
Abbildung 135: Werte zu den Einzugsbereichen unterschiedlicher Verkehrsträger bei City-Hubs.	144
Abbildung 136: Darstellung der Einzugsbereiche (200, 800 und 1200 Meter) in der Ausbaustufe 1, 2 und 3 unterlegt mit einer Darstellung der Logistikintensität.	145
Abbildung 137: Verschiedene Verlagerungspotenziale an Fahrten im Güterverkehr nach Einzugsbereich.	145
Abbildung 139: Verlagerungspotenziale nach Ausbaustufen und Einzugsbereichen. Verlagerungsanteil der Berechnung = 74,67% (Mittelwert anderer Studien).	146
Abbildung 138: Einsparungspotenziale im Vollausbau nach Einzugsbereichen. Verlagerungsanteil der Berechnung = 74,67% (Mittelwert anderer Studien).	146
Abbildung 140: Bewertung von externen Wirkungen eines MUFT-Systems.	151
Abbildung 141: Eignung für Greißler nach Bevölkerungsdichte (im Raster von 250 Metern) und möglichem Streckenverlauf des MUFT.	154
Abbildung 142: Entnahmepunkte aus dem MUFT. Logistik-POIs oder Grätzhubs.	157
Abbildung 143: Weiterführender Forschungsbedarf, Unsicherheiten und planerische Perspektiven (u.a.).	159

10. LITERATURVERZEICHNIS

- A1 (o.J.). Was muss ich bei Bau- und Grabungsarbeiten für einen neuen Telefonanschluss beachten? Download unter <https://bit.ly/2XfSBkD> [18.06.2019].
- ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V (2006). Straßenverkehrslärm. München: ADAC. Download unter <https://docplayer.org/22640377-Strassenverkehrs-laerm-november-2006-isbn-13-978-3-00-019168-8-isbn-10-3-00-019168-2-2831312-11-06-8.html> [22.03.2020].
- Agora Verkehrswende (2019). Ausgeliefert – wie die Waren zu den Menschen kommen. Zahlen und Fakten zum städtischen Güterverkehr. Berlin: Agora Verkehrswende. Download unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Staedtischer-Gueterverkehr/Agora-Verkehrswende_staedtischer-Gueterverkehr_03.pdf [14.06.2020].
- Ahrens, A., Baum, H., Beckmann, K. J. et al. (2010). Externe Kosten im Straßengüterverkehr (External Costs in Road Freight Transport). Download unter https://www.researchgate.net/publication/279536666_Externe_Kosten_im_Strassenguterverkehr_External_Costs_in_Road_Freight_Transport [14.06.2020].
- Aldejohann, S. & Wagner, G. (2010). Das unterirdische Güterverkehrssystem CargoCap – Systemdarstellung und aktueller Stand des Projekts. In: Logistics Journal: Proceedings, Volume 6, Issue1, 1–12.
- Allen, J., Thorne, G. & Browne, M. (2007). BESTUFS – Praxisleitfaden für den städtischen Güterverkehr. Download unter http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/good_practice/German_BESTUFS_Guide.pdf [13.11.2019].
- Allen, M. L. (1929). Beating Chicago's Traffic Bogey. Ohio State Engineer, vol. 12, no. 5 (März, 1929), 6–7 und 22–23. Download unter https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/34563/1/OS_ENG_v12_i05_006.pdf [15.05.2020].
- Ambrosini, C. & Routhier, J. L. (2004). Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison. In: Transport Reviews, 24(1), 57–77.
- Ambrosino, G. (Hrsg.) (2015). Guidelines – Developing and implementing a Sustainable Urban Logistics Plan. Download unter https://www.eltis.org/sites/default/files/training-materials/enclose_d5_2_sulp_methodology_final_version_0.pdf [08.03.2020].
- Amt für Verkehrsmanagement Düsseldorf (2018). Perspektiven Green-City Mobility. Düsseldorf. Nähe trifft Freiheit. Broschüre zum Masterplan Green-City Mobility der Landeshauptstadt Düsseldorf. Download unter https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20310/studien/Perspektiven%20Green-City%20Mobility%20D%C3%BCsseldorf_web.pdf [24.04.2020].
- Anbaroğlu, B. (2017). Parcel Delivery in an Urban Environment Using Unmanned Aerial Systems: A Vision Paper. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV, 73–79.
- Arnold, I. (2020). Die Berliner Stadtröhre. Berliner Unterwelten e.V. Download unter <https://www.berliner-unterwelten.de/verein/forschungsthema-untergrund/netzwerke/die-berliner-stadtröhre.html> [29.04.2020].
- Aspalter, K., Brandt, B., Kerschner, L., Koch, F. & Lindinger, A. (2015). Grundlagenpapier – Kernthesen, Nachhaltige Logistik Niederösterreich – Wien 2030+, Land Niederösterreich,

Stadt Wien, Wirtschaftskammer Niederösterreich & Wirtschaftskammer Wien, Wien. [Unveröffentlichte Publikation].

Auf der Maur, A., Rommerskirchen, S. & Eggert, J. (2013). Schlussbericht. Externe Effekte des Personen- und Güterverkehrs auf Österreichs Straßen – Grundlagen und Größenordnungen. Erarbeitung einer Broschüre für die Öffentlichkeitsarbeit der AISÖ. Basel: ProgTrans AG.

Aurambout, J.-P., Gkoumas, K. & Ciuffo, B. (2019). Last mile delivery by drones: an estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. In: European Transport Research Review, 11, 30, 1–21.

AustriaTech (2014). Electric Fleets in Urban Logistics. Download unter <https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Themen/Publikationen/Files/c95f542753/Electric-Fleets-in-Urban-Logistics-2014.pdf> [19.10.2019].

Bacovsky, D., Körbitz, W., Mittelbach, M. & Wörgetter, M. (2007). Biodiesel Production: Technologies and European Providers. IEA Task 39 Report T39-B6. Download unter <http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2013/05/Biodiesel-Production-Technologies-and-European-Providers.pdf> [08.05.2020].

Ballantyne, E. E. & Lindholm, M. (2014). Identifying the Need for Freight to be included in Local Authority Transport Planning. In: Gonzalez-Feliu, J., Semet, F. & Routhier, J. L. (Hrsg.). Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 37–48.

Baudach, J., Voll, R., Eufinger, L., Meier, F., Sender, J., Goedicke, I. & Thaller, C. (2013). Modellentwicklung. In: Clausen, U. & Geiger, C. (Hrsg.). Verkehrs- und Transportlogistik. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 327–403.

bauingenieur24 (2003). RUB-Forscher widerlegen Gutachten – CargoCap ist wirtschaftlich. Download unter <https://www.bauingenieur24.de/fachbeitraege/forschung/rub-forscher-widerlegen-gutachten-cargocap-ist-wirtschaftlich/1142.htm> [04.05.2020].

BBSR – Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2011). Laufende Raumbeobachtung – Raumabgrenzungen. Siedlungsstrukturelle Kreistypen. Download unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/SiedlungsstrukturelleGebietstypen/Kreistypen/kreistypen.html> [25.06.2020].

Becher, G., Gerres, S., Altenburg, S., Gründel, T., Nagel, I., Grawenhoff, S., Vierkötter, M. & Ensthaler, J. (2015). Automatisiert, Vernetzt, Elektrisch. Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fn17/881284017.pdf> [09.05.2020].

Beckmann, D., Siefer, T., Stein, D. & Stein, R. (2014). Automatischer Güterverkehr im Untergrund. Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario. Brühl: Europäische Fachhochschule. Download unter <https://www.eufh.de/content/uploads/2017/01/working-paper-gueterverkehr.pdf> [18.07.2020].

Bellamy, E. (1888/2007). Looking Backward: 2000–1887. Oxford World's Classics. Oxford: Oxford University Press.

Benjelloun, A. & Crainic, T. G. (2009). Trends, challenges and perspectives in city logistics. In: Buletinul AGIR nr. 4, 45–51.

Berg, C. C. (Hrsg.) (1999). City-Logistik: Das Münchner Modell. Ottobrunn: ILV – Institut für Logistik und Verkehrsmanagement GmbH.

- Berger, H. G. (2020). Tunnel unter Triester Straße verhindert Stauchaos. In: meinbezirk.at, 08. Juni 2020. Download unter <https://bit.ly/33bHA7A> [11.07.2020].
- Besner, J. (2016). Underground space needs an interdisciplinary approach. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 55, 224–228.
- BIEK (2019). KEP-Studie 2019 – Analyse des Marktes in Deutschland. Berlin: BIEK. Download unter <https://preview.thenewsmarket.com/Previews/GLSG/DocumentAssets/541630.pdf> [27.03.2020].
- Bieler, C. & Sutter, D. (2019). Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr. Schlussbericht. Zürich: INFRAS.
- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2016). Das Ladezonen-Dilemma. Download unter <https://infothek.bmk.gv.at/das-ladezonen-dilemma> [12.07.2020].
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010). Gutachten. „Effekte der Güterverkehrszentren (GVZ) in Deutschland“ – Schlussbericht. Download unter <https://bit.ly/39VfL57> [18.10.2019].
- bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.) (2016). Automatisiert – Vernetzt – Mobil. Aktionsplan Automatisiertes Fahren. Download unter https://www.ffg.at/sites/default/files/automatisiert_vernetzt_mobil.pdf [11.05.2020].
- Bogdanski, R. (2015). Nachhaltige Stadtlogistik durch Kurier- Express- Paketdienste. Berlin: Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. Download unter <https://bit.ly/3fhWOKA> [22.03.2020].
- Boschidar, G. (2017). Mit EMILIA zur sauberen Citylogistik. Download unter https://www.youtube.com/watch?time_continue=14&v=ohiKTRw-UAA, [14.08.2020], Zeit: 00:12–00:20.
- Boysen, N., Briskorn, D., Fedtke, S. & Schwerdfeger, S. (2018). Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes. In: Networks, 72(4), 506–527.
- Bratschl, A. (1939). Die Post-Untergrundbahn im Bahnhof Zürich. In: Schweizerische Bauzeitung, Band 113/114, 136–140.
- Brenner, H. (2017). Tourenbasierte Nachfragemodellierung des städtischen Wirtschaftsverkehrs. Diplomarbeit: TU Graz.
- Bretschneider, B. (2008). Win Wi(e)n: Blockentwicklung Erdgeschosszone. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Download unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_0834_win_wien.pdf [30.05.200].
- Bundesamt für Statistik (2019). Statistischer Atlas der Schweiz. Bevölkerungsdichte 2018. Download unter https://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/de/14464_75_3501_70/23034.html [04.08.2019].
- Bundesverband E-Commerce und Versandhandel Deutschland e. V. (Hrsg.) (2019). Kompendium des interaktiven Handels 2017/2018. Berlin: Bundesverband E-Commerce und Versandhandel Deutschland e.V.
- Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. (2017). Digitalisierung in der Logistik. Antworten auf Fragen aus der Unternehmenspraxis. Download unter <https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=35017&name=BVL17+Positionspapier+Digitalisierung+in+der+Logistik> [15.05.2020].

- Campbell, J. F., Sweeney, D. & Zhang, J. (2017). Strategic Design for Delivery with Trucks and Drones. In: Supply Chain Analytics Report SCMA 4/2017. S. 1–38. Download unter <https://bit.ly/30eQHm3> [18.01.2020].
- Cano-Hurtado, J. J. & Canto-Perello, J. (1999). Sustainable development of urban underground space for utilities. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 14, Issue 3, 335–340.
- Canto-Perello, J., Curriel-Esparza, J. & Calvo, V. (2013). Criticality and threat analysis on utility tunnels for planning security policies of utilities in urban underground space. In: Expert Systems with Applications, Volume 40, Issue 11, 4707–4714.
- cargobike.jetzt (2016). DLR-Studie sieht 52 000 gewerbliche Cargobikes in Deutschland. Download unter <https://www.cargobike.jetzt/dlr-studie> [27.06.2020].
- CargoCap (o.J.a). Was ist CargoCap? Download unter <http://www.cargocap.de> [10.07.2020].
- CargoCap (o.J.b). Prüfung zur ökologischen und ökonomischen Umsetzung des CargoCap-Systems am Standort Bergisch-Gladbach. Download unter <https://machbarkeitsstudie-cargocap-bergischgladbach.de> [17.05.2020].
- CE Delft (2019). Complete overview of country data for Handbook. Download unter <https://bit.ly/3hY5pnN> [11.07.2020].
- Chen, Z., Dong, J. & Ren, R. (2017). Urban underground logistics system in China: Opportunities or challenges? In: Underground Space, 2(3), 195–208.
- Chenglin, M., Haijun, M., Xuechun, Y., Jingfeng, D., Chao, M. & Lihua, A. (2014). Study on the Development Mode of Urban Underground Logistics System. In: Service Science and Management Research (SSMR), 3(1), 7–12.
- Chin, C. (2020). Key Volkswagen Exec Admits Full Self-Driving Cars ‘May Never Happen’. In: The Drive, 13. Jänner 2020. Download unter <https://www.thedrive.com/tech/31816/key-volkswagen-exec-admits-level-5-autonomous-cars-may-never-happen> [11.05.2020].
- Christiansen, U. A. (2010). Hamburgs dunkle Welten: Der geheimnisvolle Untergrund der Hansestadt. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: Christoph Links Verlag.
- Cohen, R. A. (1999). The Pneumatic Mail Tubes: New York’s Hidden Highway And Its Development. Download unter <http://www.coneysstamps.com/files/PneumaticTubes2-09.pdf> [19.01.2020].
- Coulombel, N., Dablanc, L., Gardrat, M. & Koning, M. (2018). The environmental social cost of urban road freight: Evidence from the Paris region. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 63, 514–532.
- Crainic, T. G. & Montreuil, B. (2016). Physical internet enabled Hyperconnected City Logistics. In: Transportation Research Procedia, 12 (Supplement C), 383–398.
- CST – Cargo Sous Terrain (o.J.a). Medienbereich. Download unter <https://www.cst.ch/medienbereich/> [03.09.2020]
- CST – Cargo Sous Terrain (o.J.b). Warum CST. Verkehr. Download unter <https://www.cst.ch/warum-cst> [29.03.2020].
- CST – Cargo Sous Terrain (o.J.c). Was ist CST. Netzwerk. Download unter <https://www.cst.ch/was-ist-cst> [29.03.2020].

- CST – Cargo Sous Terrain (2020). Bundesrat unterstützt Cargo sous terrain mit Spezialgesetz. Download unter https://www.cst.ch/wp-content/uploads/2020/01/MM_CST_200129_D.pdf [28.03.2020].
- Dablanc, L. (2009). Freight transport for development toolkit: Urban freight. Washington D.C.: World Bank Group. Download unter <https://bit.ly/2DhNYzn> [02.06.2020].
- Dablanc, L. & Rakotonarivo, D. (2010). The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? In: *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6087–6096.
- Dablanc, L., Blanquart, C., Combes, F., Heitz, A., Klausberg, J., Liu, Z., Koning, M., de Oliveira, L. K. & Combes, F. (2016). Observatory of Strategic Developments Impacting Urban Logistics (2016 version). Download unter <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01921116/document> [14.04.2020].
- Dablanc, L., Rouhier, J., Lazarevic, N., Klauenberg, J., Liu, Z., Koning, M., de Oliveira, L. K., Coulombel, N., Gardrat, M., Blanquart, C., Heitz, A. & Seidel, S. (2018). CITYLAB Deliverable 2.1. Observatory of Strategic Developments Impacting Urban Logistics (2018 version). Download unter http://www.citylab-project.eu/deliverables/D2_1.pdf [11.06.2020].
- Daimler (o.J.). Der Mercedes-Benz Vision Van. Intelligent vernetztes Zustellfahrzeug der Zukunft. Download unter <https://www.daimler.com/innovation/specials/vision-van> [15.05.2020].
- Dasburg, N. & Schoemaker, J. (2006). BESTUFS II – Best Urban Freight Solutions II. D5.2 Quantification of Urban Freight Transport Effects II. Download unter http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key_issuesII/BESTUFS_Quantification_of_Urban_Feight_Transport_Effects_II.pdf [11.08.2019].
- dejure.org (o.J.). Bürgerliches Gesetzbuch. § 905. Begrenzung des Eigentums. Download unter <https://dejure.org/gesetze/BGB/905.html> [12.07.2020].
- Der Standard (2017). U5 fährt erst ab 2024 durch Wien, ab 2019 zweijährige U2-Teilsperre. 30. November 2017. Download unter <https://www.derstandard.at/story/2000068795944/u5-faehrt-erst-ab-2024-ab-2019-zweijaehrige-u2-teilsperre> [11.07.2020].
- Der Standard (2018). Wien „nicht vorbereitet“ auf Paketflut des Onlinehandels. 26. Juni 2018. Download unter <https://www.derstandard.at/story/2000082236897/wien-nicht-vorbereitet-auf-steigende-paketflut-des-onlinehandels> [12.07.2020].
- DG Move (2019). Handbook on the external costs of transport. Version 2019. Luxembourg: Europäische Kommission.
- Die Simpsons (1993). Marge vs. the Monorail. Staffel 4, Folge 12. Erstausstrahlung: 14. Jänner 1993 im Fox-Netzwerk.
- Die Simpsons (1999). Maximum Homerdrive. Staffel 10, Folge 17. Erstausstrahlung: 28. März 1999 im Fox-Netzwerk.
- Dillinger, A. (2018). Logistik der Zukunft gemeinsam gestalten. Vortrag am 21. Februar 2018 im Haus der Kaufmannschaft am Wiener Schwarzenbergplatz. Download unter <https://www.wko.at/branchen/industrie/logistik-der-zukunft-protokoll.pdf> [14.12.2019].
- DMV – California Department of Motor Vehicles (o.J.a). Order to Adopt. Title 13, Division 1, Chapter 1. Article 3.7 – Testing of Autonomous Vehicles. Download unter <https://bit.ly/318F5QT> [22.11.2019].

- DMV – California Department of Motor Vehicles (o.J.b). Order to Adopt. Title 13, Division 1, Chapter 1. Download unter <https://bit.ly/3k16b55> [22.11.2019].
- DMV – California Department of Motor Vehicles (2017). Autonomous Vehicle Disengagement Reports 2017. Download unter https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/disengagement_report_2017 [22.11.2019].
- Domergue, P. & Markovic-Chénais, S. (2012). Greening Transport – Reduce External Costs. Paris: International Union of Railways. Download unter https://uic.org/IMG/pdf/external-costs2012brochure_complete_web-2.pdf [29.03.2020].
- Dong, J., Xu, Y., Hwang, B.-G., Ren, R. & Chen, Z. (2019). The Impact of Underground Logistics System on Urban Sustainable development: A System Dynamics Approach. In: Sustainability, 11(5), 1–21.
- Doole, M., Ellerbroek, J. & Hoekstra, J. (2018). Drone Delivery: Urban airspace traffic density estimation. In: 8th SESAR Innovation Days, 1–8.
- Dorner, F., Dörrzapf, L. & Berger, M. (2020). Grätzlrad Wien: Nutzerinnen- und Nutzerstruktur und Nutzungsverhalten in host-basiertem Lastenrad-Sharing. Reviewed Paper. Download unter https://conference.corp.at/archive/CORP2020_89.pdf [05.05.2020].
- Dörr, H., Hillen, K., Marsch, V., Romstorfer, A., Toifl, Y., Albrecht, R., Huss, A., Prenninger, P., Berkowitsch, C., Hörl, B., Wanjek, M. & Bukold, S. (2014). Neue Fahrzeugtechnologien und ihre Effekte auf Logistik und Güterverkehr. Serviceability of Low-Emission-Vehicle-Technologies to eco-optimize Future Logistics and Freight Transport (EFLOG). Wien: bmvit.
- Dörr, H., Marsch, V., Romstorfer, A. & Toifl, Y. (2015). Potenzial interdisziplinärer Ansätze für organisatorische Innovationen im Güterverkehr. Wien: bmvit. Download unter <https://mobilitaetderzukunft.at/resources/pdf/projektberichte/aida-f-endbericht.pdf> [18.07.2020].
- Eckardt, L. (2014). Messung der Effizienz von City Logistik Projekten. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Logistikmanagement, Nr. 1. Universität Bremen.
- EDG (2018). A Driverless Future with Loop NYC. Download unter <https://edgnyc.com/media/a-driverless-future-with-loop-nyc> [13.01.2020].
- EEA – European Environment Agency (2013). A closer look at urban transport. TERM 2013: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. Kopenhagen: European Environment Agency.
- EEA – European Environment Agency (2017). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2015 and inventory report 2017. Download unter https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2017/EU%20NIR%20May%202017_final_EEA_v2.2.pdf [30.09.2019].
- Eigner, S. (2017). Post AG und TU Graz erproben autonome Transportlogistik auf der „letzten Meile“. Download unter <https://www.tugraz.at/tu-graz/services/news-stories/tu-graz-news/einzelansicht/article/post-ag-und-tu-graz-erproben-autonome-transportlogistik-auf-der-letzten-meile> [30.10.2019].
- Embling, D. (2015). Going underground: hi-tech pipelines aim to cut freight traffic. Download unter <https://cordis.europa.eu/article/id/122234-going-underground-hitech-pipelines-aim-to-cut-freight-traffic/it> [16.06.2020].
- Engineering News (1900). Subways for street pipes and wires. In: Engineering News and American Railway Journal 43(11), 176–178. Download unter <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.e0000401695&view=2up&seq=258> [13.05.2020].

- EP – Europäisches Parlament (2010). Die Zukunft der Nachhaltigkeit in Güterverkehr und Logistik. Generaldirektion interne Politikbereiche. Fachabteilung B. Struktur- und Kohäsionspolitik. Download unter <https://bit.ly/30gWlyF> [04.11.2019].
- EPC – Ehrhardt + Partner Consulting GmbH (2018). Whitepaper: KEP-Verkehr der Zukunft. Bewegung auf der letzten Meile: Bringt der Robo-Bote bald das Paket? Boppard-Buchholz: Ehrhardt + Partner Consulting GmbH
- Erd, J. (2015). Stand und Entwicklung von Konzepten zur City-Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler.
- ERSO – European Road Safety Observatory (2018). Traffic Safety Basic Facts 2018 – Urban Areas. Brüssel: Europäische Kommission, Directorate General for Transport. Download unter https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2018_urbanareas.pdf [24.07.2020].
- ERTRAC – European Road Transport Research Advisory Council (2015). Urban Freight research roadmap. Brüssel: ERTRAC Urban mobility WG/Alice. Download unter https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id36/ERTRAC_Alice_Urban_Freight.pdf [19.03.2020].
- Eschberger, T. (2019). Beherrschen Online-Händler auch bald den Lebensmittelhandel? LEAD Innovation Blog. Download unter <https://www.lead-innovation.com/blog/online-händler-lebensmittelhandel> [27.06.2020].
- Europäische Kommission (2013). Clean transport, Urban transport. Urban Mobility Package. Download unter https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban-mobility/urban-mobility-package_en [18.04.2020].
- Europäische Kommission (2020). Clean transport, Urban transport. Studies. Download unter https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/studies_en [10.07.2020].
- Europäische Union (2011). Weißbuch zum Verkehr. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. Download unter https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_de.pdf [03.12.2019].
- Europäische Union (2015). Gewichte und Abmessungen von Lkw und Bussen. Auf einen Blick. Plenum 5/3/15. Download unter [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2015/549013/EPRS_ATA\(2015\)549013_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2015/549013/EPRS_ATA(2015)549013_DE.pdf) [28.10.2019].
- Europäische Union (2017). How EU funding contributes to connected and automated driving. Download unter https://ec.europa.eu/research/press/2017/pdf/030417_factsheet.pdf [14.09.2019].
- Eurostat (2020a). National annual road freight transport by regions of unloading (NUTS 3) and by group of goods (1 000 t), from 2008 onwards. Download unter https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-datasets/product?code=road_go_na_rl3g [11.07.2020].
- Eurostat (2020b). Annual road freight transport by NACE Rev. 2 - Mio tkm, Mio Veh-km, 1 000 Jrnys. Download unter https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road_go_ta_nace&lang=en [11.06.2020].
- Eurostat (2020c). National annual road freight transport by regions of unloading, group of goods and metropolitan regions. Download unter <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/d6gW0qgh0HWpj8UzFrmmmQ> [16.06.2020].

- EWG AG (2015). Grabungsrichtlinien. Download unter https://www.eww.at/fileadmin/user_upload/downloads/strom/leitungsauskunft/eww-Gruppe-Grabungsrichtlinien-01-01-2015.pdf [19.09.2019].
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 77, 167–181.
- Fan, J. (2018). How E-Commerce Is Transforming Rural China. In: *The New Yorker*, 23. Juli 2018. Download unter <https://www.newyorker.com/magazine/2018/07/23/how-e-commerce-is-transforming-rural-china> [30.09.2019].
- Fetka, J. (2018). What can urban planning learn from California’s disengagement report 2017? Download unter <https://avenue21.city/what-can-urban-planning-learn-from-californias-disengagement-report-2017> [17.11.2019].
- FFG – Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (2012). GüMoS. Nachhaltige Gütermobilität in Städten – Leitlinie für FTI-Projekte. Download unter <https://www2.ffg.at/verkehr/projekte.php?id=1124&lang=de&browse=programm> [12.07.2020].
- FIS – Forschungs-Informationssystem (2019). Infrastrukturschäden durch den Straßengüterverkehr. Download unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/39816> [12.07.2020].
- Flämig, H. (2015) Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B. & Winner, H. (Hrsg.). *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 377–398.
- Fortmann, K.-M. & Kallweit, A. (2007). *Logistik. 2., aktualisierte Auflage*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Fraunhofer – Institute for Material Flow and Logistics (2020). ALEES – Autonomous Logistics Electric Entities for city distribution. Download unter https://www.iml.fraunhofer.de/en/news_archiv/alees--autonomous-logistics-electric-entities-for-city-distribu.html?cq_ck=1529393743848 [15.05.2020].
- Frohner, K. (2016). Next steps: Von der City-Logistik zu „Smart Urban Logistics“. Download unter <https://docplayer.org/40186171-Next-steps-von-der-city-logistik-zu-smart-urban-logistics.html> [08.06.2019].
- Gabor, A. (2017). E-Commerce-Zug: bitte einsteigen! In: Jaklitsch, M. (Hrsg.): *Logistik Express 2017/2*, 8–10.
- Gäthke, S. (2019). *Mobilität morgen: Batterien oder Brennstoffzellen? Fact sheet*. Köln: Science Media Center Germany gGmbH. Download unter https://www.sciencemediacenter.de/fileadmin/user_upload/Fact_Sheets_PDF/Batterien_Brennstoffzellen_SMC_FactSheet_19102019.pdf [12.07.2020].
- Geels, F. W. & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. In: *Research Policy*, 36(3), 399–417.
- Gérardin, B., Patier, D., Routhier, J.-L. & Segalou, E. (2000). *Diagnostic du transport de marchandises dans une agglomération*. Document technique n° 1.
- Geuss, M. (2017). Before the 760mph Hyperloop dream, there was the atmospheric railway. Download unter <https://arstechnica.com/information-technology/2017/01/before-the-760mph-hyperloop-dream-there-was-the-atmospheric-railway> [12.01.2020].

- Gittenberger, E., Ziniel, W. & Voithofer, P. (2018). Internet-Einzelhandel 2018. Wien: WKO – Sparte Handel. Download unter <https://www.wko.at/branchen/handel/internet-einzelhandel-2018.pdf> [28.01.2020].
- Gnann, T., Wietschel, M., Kühn, A., Thielmann, A., Sauer, A., Plötz, P., Moll, C., Stütz, S., Schellert, M., Rüdiger, D., Waßmuth, V. & Paufler-Mann, D. (2017). „Brennstoffzellen-Lkw: kritische Entwicklungshemmnisse, Forschungsbedarf und Marktpotential“. Studie im Rahmen der wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Fraunhofer IML, Dortmund, PTV Transport Consult GmbH, Karlsruhe.
- Gonzalez-Feliu, J. (2018). Sustainability Evaluation of Green Urban Logistics Systems: Literature Overview and Proposed Framework. In: Paul, A. K., Bhattacharyya, D. K. & Anand, S. (Hrsg.): Green Initiatives for Business Sustainability and Value Creation. Hershey: IGI Global, 103–134.
- Gregori, R. (2014). E-Commerce geht auch nachhaltig. In: Retail – Magazin für den österreichischen Handel, Dezember 2014. Wien: Handelsverband, 9.
- Grigori, G. (2020). Stop It. SARS Wasn't the Reason E-commerce Boomed in China. In: Pandaily, 20. Februar 2020. Download unter <https://pandaily.com/stop-it-sars-wasnt-the-reason-e-commerce-boomed-in-china> [11.07.2020].
- Grosse, B., Rosenkranz, P. & Stocker, G. (2016). Straßenverkehrszählung Wien 2015. Auswertung Gemeindestraßen A+B. Wien: MA 18. Download unter <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008495.pdf> [23.10.2019].
- Gruber, J. (2015). Ich ersetze ein Auto (Schlussbericht). Elektro-Lastenräder für den klimafreundlichen Einsatz im Kuriermarkt. Download unter https://www.lastenradtest.de/wordpress/wp-content/uploads/2017/07/Ich-ersetze-ein-Auto_Schlussbericht.pdf [24.07.2018].
- Gruber, J. & Rudolph, C. (2016). Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD). Schlussbericht an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Download unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/wiv-rad-schlussbericht.pdf?__blob=publicationFile [13.04.2020].
- Grubler, A. (1987). Aufstieg und Fall von Infrastrukturen: Eine Analyse der langfristigen Entwicklung von Verkehrsinfrastruktur und Transporttechnologien. In: Der öffentliche Sektor – Forschungsmemoranden 13(3/4), 52–83.
- Grubler, A. (1988). Der Kampf ums Dasein: Eine Analyse der langfristigen Entwicklung von Infrastruktur und Transporttechnologien. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 108(8), 197–207.
- GSV – Österreichische Gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2016). Jahrbuch Mobilität 2016. Wien: Österreichische Gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- Gudehus, T. (2010). Logistik: Grundlagen – Strategien – Anwendungen. 4., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hai, D., Xu, J., Duan, Z. & Chen, C. (2020). Effects of underground logistics system on urban freight traffic: A case study in Shanghai, China. In: Journal of Cleaner Production, Volume 260, 1–14.
- Haidari, L. A., Brown, S. T., Ferguson, M., Bancroft, E., Spiker, M., Wilcox, A., Ambikapathi, R., Sampath, V., Connor, D. L. & Lee, B. Y. (2016). The economic and operational value of using drones to transport vaccines. In: Vaccine, 34(34), 4062–4067.

- Hatzfeld, U. & Hesse, M. (1996). Städtischer Wirtschaftsverkehr: Empirische Grundlagen, Methoden, planerische Zugänge. In: Boes, H. & Hesse, M. (Hrsg.): Güterverkehr in der Region. Technik, Organisation, Innovation. Marburg: Metropolis, 401–422.
- Hawkins, A. J. (2020). Everyone hates California's self-driving car reports. In: The Verge, 26. Februar 2020. Download unter <https://www.theverge.com/2020/2/26/21142685/california-dmv-self-driving-car-disengagement-report-data> [03.05.2020].
- Heinfellner, H., Ibesich, N., Lichtblau, G., Stranner, G., Svehla-Stix, S., Vogel, J., Wedler, M. & Winter, R. (2019). Sachstandsbericht Mobilität und mögliche Zielpfade zur Erreichung der Klimaziele 2050 mit dem Zwischenziel 2030. Endbericht. Im Auftrag des bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien: Umweltbundesamt.
- Hennetmair, K. (2005). „Greißlersterben“ in Österreich und ein Konzept für innovative Lebensmittelhändler zur Aufrechterhaltung der Nahversorgung. Diplomarbeit an der TU Wien. Download unter http://www.ernaehrungsdenkwerkstatt.de/fileadmin/user_upload/EDWText/TextElemente/Handel/Greisslersterben_DiplArb_Hennetmair_Wien_2005.pdf [21.07.2019].
- Herold (o.J.). Entdecken Sie die HEROLD Marketingdaten Online Versionen. Download unter <https://www.herold.at/marketing/marketingdaten-online> [26.06.2020].
- Herry, Econsult & Schachinger (2014). Leitlinien zur Entwicklung von FTI-Projekten im Bereich Gütermobilität in Städten. Wien: bmvit. Download unter http://www.econsult.at/images/Artikel/Leitlinien_Guetermobilitaet.pdf [15.10.2018].
- Herry, M., Sedlacek, N. & Steinacher, I. (2012). Verkehr in Zahlen. Österreich. Ausgabe 2011. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Abteilung II/Infra 5.
- Hermes (2017). Hermes testet Elektromobil TRIPL in Göttingen. Download unter <https://newsroom.hermesworld.com/emissionsfreie-zustellung-hermes-testet-elektromobil-tripl-in-goettingen-13089/> [02.09.2020]
- Hermes (2019). Hermes geht neue Wege mit mobilem Mikrohub. Hamburg: Hermes. Download unter <https://newsroom.hermesworld.com/city-logistik-hermes-geht-neue-wege-mit-mobilem-mikrohub-17453/> [02.09.2020]
- Hesse, M. (1998). Städtischer Wirtschaftsverkehr als Gegenstand der kommunalen Planung. Möglichkeiten und Grenzen privat-öffentlicher Kooperation. In: Archiv für Kommunalwissenschaften, Band II. Stuttgart: Kohlhammer, 240–260.
- Hesse, M. & Kruspe, S. (1996). Von der City-Logistik zur raumbezogenen Stadtlogistik. In: Ökologisches Wirtschaften 11(5), 28–30.
- Heymann, E. & Meister, J. (2017). Das „digitale Auto“: Mehr Umsatz, mehr Konkurrenz, mehr Kooperation. Frankfurt am Main: Deutsche Bank Research. Download unter <https://bit.ly/3fgv757> [14.04.2019].
- Hieslmair, M. & Zinganel, M. (2019). Der Wiener Nordwestbahnhof. Geschichte eines Logistik-Knotens. In: *dérive* – Zeitschrift für Stadtforschung, N°77, 4–11.
- Hiess, H. & Schönegger, C. (2015). ÖREK-Partnerschaft „Plattform Raumordnung & Verkehr“: Bericht der ÖREK-Partnerschaft zu „Siedlungsentwicklung und ÖV-Erschließung“. Wien: Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK). Download unter https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user_upload/Bilder/2.Reiter-Raum_u._Region/1.OEREK/OEREK_2011/PS_RO_Verkehr/Arbeitsbericht_final_RO-%c3%96V_2015-03-31.pdf [19.06.2020].

- Hiessl, H. (2005). Wassertechnologien für eine Nachhaltige Zukunft. In: Mappus, S. (Hrsg.): Erde 2.0 – Technologische Innovationen als Chance für eine nachhaltige Entwicklung? Berlin, Heidelberg: Springer, 140–173.
- Huddleston, T. (2020). The SARS epidemic threatened Alibaba’s survival in 2003 – here’s how it made it through to become a \$470 billion company. In: Consumer News and Business Channel – CNBC, 26. März 2020. Download unter <https://www.cnbc.com/2020/03/26/chinas-2002-2003-sars-outbreak-helped-alibaba-become-e-commerce-giant.html> [11.07.2020].
- HUG – Technik und Sicherheit GmbH Ergolding (o.J.). Arbeitsschutz – Tabellen. Tabelle Schallpegelheiten. Download https://www.hug-technik.com/inhalt/ta/schallpegel_laermpegel.html [12.07.2020].
- Hunt, D. V. L., Nash, D. & Rogers, C. D. F. (2014). Sustainable utility placement via Multi-Utility Tunnels. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 39, 15–26.
- Illinois Tunnel Company (1904). The Chicago Electrical Handbook – Being a Guide for Visitors from Abroad Attending the International Electrical Congress, St. Louis, September 1904. Chicago: The American Institute of Electrical Engineers, als Beilage zwischen Seite 104–105.
- i-LOG – Integrated Logistics GmbH (2016). Endbericht Green City Hubs.
- Interreg (o.J.). City Hub Groningen I e-cargo bikes deliveries. Download unter <https://north-searegion.eu/surflogh/pilots/city-hub-groningen-i-e-cargo-bikes-deliveries> [16.06.2020].
- Jaderny, D. & Ertl, R. (2014). Künetten-Instandsetzung im städtischen Raum. In: Gestrata Journal 141, 10–13.
- Janić, M. (2014). Advanced Transport Systems. New York: Springer.
- Jelica, D. (2019). Bicycle Deliveries Start to Take over in London. In: Drive Sweden, 06. Juni 2019. Download unter <https://www.drivesweden.net/en/bicycle-deliveries-start-take-over-london> [12.07.2020].
- Jodl, H. G. (1996). Der begehbare Infrastrukturkanal. Ein altes Thema für einen neuen Anfang? In: Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ), 141(10), 429–438.
- Jorgensen, K. (2008). Technologies for electric, hybrid and hydrogen vehicles: Electricity from renewable energy sources in transport. In: Utilities Policy, 16(2), 72–79.
- Karslake, C. (o.J.). Speeding London’s Mail. Download unter <http://www.mailrail.co.uk> [02.04.2020].
- Kasztler, A., Wagner, P. & Wepner, B. (2017). Austrian research, technology and innovation (RTI) competences in the domain of „Physical Internet and transport logistics“. Wien: AIT Austrian Institute of Technology, Center for Innovation Systems & Policy. Download unter https://mobilitaetderzukunft.at/resources/pdf/projektberichte/AustrianRTIcompetencesinthedomainofPhysicalInternetandtransportlogistics_final_report_20171006.pdf [23.04.2020].
- Khaira-Hanks, P. (2017). Mail Rail delivers an underground history lesson at London’s new Postal Museum. In: The Guardian, 28. Juli 2017. Download unter <https://www.theguardian.com/travel/2017/jul/28/mail-rail-underground-london-postal-museum> [04.04.2020].
- KiD 2002 – Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (2003). Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen – Phase 2, Hauptstudie (Kraft-

- fahrzeugverkehr in Deutschland – KiD 2002). Schlussbericht zum Projekt 70.0682/2001. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- KiD 2010a – Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (2012). Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 – Handbuch für das Auswertungstool „KiD 2010 in Tabellen“ (KiT). Braunschweig: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- KiD 2010b – Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (2012). Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 – Schlussbericht. Braunschweig: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- KiT 2010 – KiD 2010 in Tabellen (2012). Datenbestand der Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ mit Datenstand 24.04.2012. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Kinne, N. & Egg, M. (2018). City Logistik. Das erwartet die Branche. Ergebnisse einer Online-Befragung unter Marktakteuren. Colliers International. Download unter https://www.colliers.de/wp-content/uploads/2018/10/Colliers_Report_City_Logistik_2018.pdf [28.08.2020]
- Kiwitt, P. & Frankenberg, S. (2012). Die Logistik der Zukunft. Revolutionäre Veränderungen oder Weiterentwicklung vertrauter Lösungen? In: Deutsche Post AG (Hrsg.). Delivering Tomorrow. Logistik 2050. Eine Szenariostudie. Bonn: Deutsche Post AG, 172–177.
- Kocina, E. (2014). U5: Die Suche nach der Milliarde. In: Die Presse, 29. Jänner 2014. Download unter <https://www.diepresse.com/1555435/u5-die-suche-nach-der-milliarde> [14.06.2020].
- Koning, M., Coulombel, N., Dablanc, L. & Gardrat, M. (2017). A new look at the environmental assessment of logistics sprawl Part 1. The Environmental Impact of Urban Road Freight: A Modeling Exercise for the Paris Region. Final Report. Download unter <https://bit.ly/318oRXR> [23.06.2020].
- Körper, Y. (2013). Yvette Körper zum Projekt «Cargo sous terrain». In: Radio SRF, 04. Juni 2013. Download unter <https://www.srf.ch/sendungen/tagesgesprach/yvette-koerber-zum-projekt-cargo-sous-terrain> [10.07.2020].
- KPMG (2018). Autonomy delivers: An oncoming revolution in the movement of goods. Download unter <https://advisory.kpmg.us/content/dam/advisory/en/pdfs/2018/autonomy-delivers-final-secured-web.pdf> [29.08.2019].
- Krutzler, D. (2019). Wiener U-Bahn-Ausbau dürfte teurer werden als geplant. In: Der Standard, 08. Oktober 2019. Download unter <https://www.derstandard.at/story/2000109597553/wiener-u-bahn-ausbau-duerfte-teurer-als-geplant-werden> [27.06.2020].
- Kummer, S., Edlmair, R., Fürst, E. & Groschopf, W. (2015). ÖAMTC-Projekt „Kostenanalyse Verkehrsstau“. Executive Summary. Wirtschaftsuniversität Wien.
- Kummer, S., Faller, P. & Vogelauer, C. (2014). Grundlagenpapier. Arbeitsgruppenprozess zur Konkretisierung des Gesamtverkehrsplans im Bereich Güterverkehr und Logistik. Wien: bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Lackner, E. & Zsifkovits, H. (2006). Die Rolle von Behältern in der Supply Chain. In: Engelhardt-Nowitzki, C. & Lackner, E. (Hrsg.). Chargenverfolgung: Möglichkeiten, Grenzen und Anwendungsgebiete. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 241–256.
- Lärminfo (2017). EU-Verordnung für leisere Kfz. Download unter https://www.laerminfo.at/ueberlaerm/laermquellen/strassenverkehr/kfz_grenzwerte.html [12.07.2020].

- Leerkamp, B. (2018). Stadtlogistik reloaded: Alte und neue Handlungsansätze im städtischen Wirtschaftsverkehr. Präsentation. Download unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Urbane_Logistik/Vortrag_Leerkamp_Stadtlogistik_2.0_Veroeffentlichung.pdf [17.11.2019].
- Leonardi, J., Browne, M. & Allen, J. (2012). Before-After Assessment of a Logistics Trial with Clean Urban Freight Vehicles: A Case Study in London. In: *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Volume 39, 146–157.
- Leonardi, J., Dablanc, L., van Egmond, P. & Guerlain, C. (2015). Feasibility Study of a Network of Consolidation Centres in Luxembourg. Download unter <https://www.archives-ouvertes.fr/hal-01255357/document> [11.04.2020].
- Leskin, P. (2019). Amazon’s giant ‘dystopian’ delivery-drone blimp isn’t real yet, but it’s something the tech giant has explored. In: *Business Insider*, 02. April 2019. Download unter <https://www.businessinsider.com/amazon-blimp-delivery-drones-viral-video-is-fake-2019-4?r=DE&IR=T> [13.03.2020].
- Levinson, D. & Zou, X. (2005). Financing and deploying automated freight systems. In: *Konings, R., Priemus, H. & Nijkamp, P. (Hrsg.). The future of automated freight transport: Concepts, design and implementation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 227–242.
- Lierow, M. (2012). B2City: Zur Zukunft des städtischen Güterverkehrs. Studie im Auftrag von Oliver Wyman. Download unter <https://bit.ly/3jXLWFw> [23.10.2019].
- Lindloff, K., Bauer, U. & Stein, T. (2018). Neue Konzepte des (E-) Lieferverkehrs in den Städten. Ergebnisse aus dem Städtetzwerk des Forschungsprojektes „City2Share“. Download unter http://city2share.de/info/City2Share_Empfehlungspapier%20E-Lieferverkehr_20180719.pdf [14.01.2020].
- Liu, Z., Wang, D., Jia, H. & Djilali, N. (2014). Power system operation risk analysis considering charging load self-management of plug-in hybrid electric vehicles. In: *Applied Energy*, Volume 136, 662–670.
- Lv, C., Cao, D., Zhao, Y., Auger, D. J., Sullman, M., Wang, H., Dutka, L. M., Skrypchuk, L. & Mouzakitis, A. (2018). Analysis of Autopilot Disengagements Occurring During Autonomous Vehicle Testing. In: *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 5(1), 58–68.
- MA 28 – Magistratsabteilung Straßenverwaltung und Straßenbau (2018). Zentraler Leitungskataster. Stadt Wien.
- Maibach, M., Ickert, L. & Sutter, D. (2016). Volkswirtschaftliche Aspekte und Auswirkungen des Projekts Cargo Sous Terrain (CST). Schlussbericht Zürich. Bundesamt für Verkehr.
- MacPherson, D (1928). Poster artwork; Piccadilly Circus station; stomach diagram. Poster. Download unter <https://www.ltmuseum.co.uk/collections/collections-online/artwork/item/1999-24941> [04.09.2020]
- Malindretos, G., Mavrommati, S. & Bakogianni, M.-A. (2018). City Logistics models in the framework of Smart Cities: Urban freight consolidation centers. 4th international conference on Supply Chains. Download unter <https://bit.ly/2PeQFnY> [26.05.2020].
- Manakas, M., Badiu, T. & Batruel, P. (2019). U-Bahn-Bau: Unter US-Gebäude ist vorerst Schluss. In: *Addendum*, 05. Juni 2019. Download unter <https://www.addendum.org/news/u-bahn-bau-us-gebaeude> [16.06.2020].
- Marchau, V., Walker, W. & van Duin, R. (2008). An adaptive approach to implementing innovative urban transport solutions. In: *Transport Policy*, 15(6), 405–412.

- Marshall, A. (2020). Delivery Robots Aren't Ready—When They Could Be Needed Most. In: Wired, 28. April 2020. Download unter <https://www.wired.com/story/delivery-robots-arent-ready-when-needed-most> [15.05.2020].
- Marshall Fields (1912). Chicago Freight Subway. In: Electric Railway Journal 40(14), Darstellung 41. Download unter <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/ChicagoTunnelFieldsTrain.jpg> [09.09.2020]
- Martin, H. (2011). Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Matthey, A. & Bünger, B. (2019). Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten: Kostensätze. Stand 02/2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Download unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-11_methodenkonvention-3-0_kostensaetze_korr.pdf [27.05.2020].
- Mavrikos, A. A. & Kaliampakos, D. C. (2007). Underground development in urban areas: the birth, the evolution and the perspectives of the trend. In: WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 102, 219–228.
- Melo, S. (2010). Evaluation of urban goods distribution initiatives towards mobility and sustainability: indicators, stakeholders and assessment tools. Ph.D. thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Download unter <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59846/1/000140073.pdf> [15.11.2019].
- Mészáros, G. (2014). Bestellt, um zu bleiben. In: Retail – Magazin für den österreichischen Handel, Dezember 2014. Wien: Handelsverband, 5–9.
- Meyer, J. (2017). Erster PostBot in Bad Hersfeld im Einsatz. In: T-Online. Download unter https://www.t-online.de/finanzen/news/unternehmen-verbraucher/id_82385956/entlastung-fuer-zusteller-erster-postbot-in-bad-hersfeld-im-einsatz.html [12.08.2020]
- Michel, A. H. (2017). Amazon's Drone Patents. Download unter <https://dronecenter.bard.edu/files/2017/09/CSD- Amazons-Drone-Patents-1.pdf> [08.01.2020].
- Milinković, L. & Pantelić, J. (2015). Underground systems in service of city logistics. In: 2nd Logistics International Conference, Belgrade, Serbia, 315–320.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Hrsg.) (2000). Transport onder ons: Van visie naar realisatie. Eindrapportage Interdepartementale Projectorganisatie Ondergronds Transport. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Ministerie van Economische Zaken. Download unter <https://www.cob.nl/wp-content/uploads/2018/01/6RAPPO1.pdf> [04.06.2020].
- Mitteregger, M. (2020). Pandemien beschleunigen den Ersatz von Menschen durch Maschinen, In: Wiener Zeitung, 21. April 2020. Download unter <https://tinyurl.com/y7k42vma> [3.9.2020].
- Mitteregger, M., Bruck, E. M., Soteropoulos, A., Stickler, A., Berger, M., Dangschat, J. S., Scheuvens, R. & Banerjee, I. (2020). AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. Berlin: Springer Nature.
- Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. In: Logistics Research, 3(2-3), 71–87.
- Montreuil, B., Meller, R. D. & Ballot, E. (2013). Physical Internet Foundations. In: Borangiu, T., Thomas, A. & Trentesaux, D. (Hrsg.). Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics. Berlin, Heidelberg: Springer, 151–166.

- Mousavipour, S. H. (2015). Feasibility of Underground Freight Transportation (UFT) in Texas. Masterarbeit: University of Texas at Arlington.
- MyGita (o.J.). How does gita work? Download unter <https://mygita.com/#/how-does-gita-work> [08.01.2020].
- Najafi, M., Ardekani, S. & Shahandashti, S. M. (2016). Integrating Underground Freight Transportation into Existing Intermodal systems (No. Report No. 0-6870-1). Arlington: Texas Department of Transportation & Center for Underground Infrastructure Research and Education.
- Neuhaus, M. (2019). Strategiepfad für ein Urbanes Logistik-System Wien Handlungsoptionen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs in Wien 2030. Diplomarbeit: TU Wien.
- Ninnemann, J., Hölter, A.-K., Beecken, W., Thyssen, R. & Tesch, T. (2017). Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelllogistik. Studie im Auftrag der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation der Freien und Hansestadt Hamburg. Hamburg: HSBA Hamburg School of Business Administration.
- Nuro (o.J.). Delivering the future of local commerce, autonomously. Download unter <https://nuro.ai> [21.02.2020].
- Ogden, K. W. (1992). Urban Goods Movement: A Guide to Policy and Planning. Burlington: Ashgate Publishing Company.
- OGH – Oberster Gerichtshof (2019). Entscheidungstext. 4Ob100/19p. Download unter <https://bit.ly/30g3Prj> [20.07.2020].
- O’Kane, S. (2018). Starship’s robots can now deliver packages, too. In: The Verge, 31. Oktober 2018. Download unter <https://www.theverge.com/2018/10/31/18044738/starship-technologies-robot-package-delivery-price> [07.09.2019].
- O’Keefe, P. (o.J.). The History of Chicago’s Freight Tunnels. Download unter <https://web.archive.org/web/20040819013712/http://www.ameritech.net/users/chicagotunnel/tunnel1y.html> [14.09.2019].
- Ö1 (2020). Die Last der Laster. In: Dimensionen, 30. März 2020. Download unter <https://oe1.orf.at/programm/20200330/592649/Die-Last-der-Laster> [15.05.2020].
- Oexler, P. (2002). Citylogistik-Dienste: Präferenzanalysen bei Citylogistik-Akteuren und Bewertung eines Pilotbetriebs dargestellt am Beispiel der dienstleistungsorientierten Citylogistik Regensburg (RegLog®). München: VVF.
- Oexler, P. (2009). Umsetzung einer zielgruppen- und marktorientierten Citylogistik. In: Baier, D. & Bruschi, M. (Hrsg.): Conjointanalyse. Berlin, Heidelberg: Springer, 295–305.
- ORF – Österreichischer Rundfunk (2014). Leichttransport im Tunnelsystem. 31. Oktober 2014. Download unter <https://orf.at/v2/stories/2251624/2251625> [16.09.2019].
- ORF – Österreichischer Rundfunk (2019). Abbiegeassistent für Lkw wird Pflicht. 05. September 2019. Download unter <https://wien.orf.at/stories/3011505> [10.07.2020].
- Otto Group (2017). Nach der Paketflut: Wie Innenstädte künftig beliefert werden können. Presseausendung. Download unter <https://www.presseportal.de/pm/54563/3824920> [04.09.2020]

- Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q. & Montreuil, B. (2017). Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. In: *International Journal of Production Research*, Vol. 55, No. 9, 2603–2609.
- Pegg, L. (2019). Bikes are starting to replace delivery vans in London. In: *MyLondon*, 15. Mai 2019. Download unter <https://www.mylondon.news/news/zone-1-news/bikes-starting-replace-delivery-vans-16270456> [24.04.2020].
- Pfaffenbichler, P. (2018). Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch als mögliche Auswirkung der zunehmenden Nutzung des Onlinehandels durch die EinwohnerInnen der Stadt Wien (URANOS). Endbericht v1.0. Wiener Umweltanschaft. Download unter <http://wua-wien.at/images/stories/publikationen/uranos-endbericht.pdf> [23.05.2020].
- Pfeiffer, M., Sell, T. & Zedler, J. (2006). Der begehbare Leitungsgang. Möglichkeiten zur nachhaltigen Erschließung mit Infrastrukturkanälen? In: *TiS – Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau*, 48(6), 34–37.
- Piaggio (2017). Mit der Umsetzung von GITA und KILO, den ersten Piaggio Fast Forward Produkten, gestaltet die Piaggio-Gruppe weiterhin die Zukunft der Mobilität mit. Download unter https://www.piaggio.com/at_DE/news-list/gita [31.01.2020].
- Pielage, B.-J. (2001). Underground Freight Transportation. A new development for automated freight transportation systems in the Netherlands. In: *ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No. 01TH8585)*, 762–767.
- Pielage, B.-J. & Rijssenbrij, J. (2005). Developments in underground freight transportation. In: *Konings, R., Priemus, H. & Nijkamp, P. (Hrsg.). The future of automated freight transport: concepts, design and implementation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 65–84.
- Pogrebin, R. (2001). Underground Mail Road; Modern Plans for All-but-Forgotten Delivery System. In: *The New York Times*, 07. Mai 2001. Download unter <https://www.nytimes.com/2001/05/07/nyregion/underground-mail-road-modern-plans-for-all-but-forgotten-delivery-system.html> [14.03.2020].
- Post Office (2002). Future of London's unique Post Office Underground Railway to be reviewed. Options include mothballing Mail Rail. Download unter http://www.mailrail.co.uk/press_release.html [17.05.2019].
- Potter, S. (2019). Starships at Kingston. Download unter https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starships_at_Kingston_15.2.19.jpg#/media/File:Starships_at_Kingston_15.2.19.jpg [08.09.2020].
- Prachensky, M. (o.J.). Mit der Rohrpost durch die Alpen. Download unter <http://www.prachensky.com/michael/projekte/talpino/mit-der-rohrpost-durch-die-alpen.php> [03.05.2020].
- Prisma (2016). Urban Loading. Ladezonenmanagement im urbanen Raum. Download unter <https://www2.ffg.at/verkehr/file.php?id=799> [23.08.2019].
- Prümm, D., Kauschke, P. & Peiseler, H. (2017). Aufbruch auf der letzten Meile – Neue Wege für die städtische Logistik. PwC. Download unter <https://www.pwc.de/de/transport-und-logistik/pwc-studie-aufbruch-auf-der-letzten-meile.pdf> [11.04.2020].
- Randazzo, R. (2019). Gov. Doug Ducey: Self-driving cars allowed on Arizona roads without human behind the wheel. In: *The Republic*, 14. Dezember 2019. Download unter <https://eu.azcentral.com/story/money/business/tech/2018/03/01/gov-doug-ducey-issues-order-keep-arizona-capital-self-driving-cars/385812002> [25.02.2020].

- Randelhoff, M. (2018). Organisatorische, technische und stadträumliche Ansätze zur Bewältigung des steigenden Paketaufkommens im städtischen Umfeld. Download unter <https://www.zukunft-mobilitaet.net/168827/konzepte/organisatorische-technische-und-stadtraeumliche-ansaeetze-zur-bewaeltigung-des-steigenden-paketaufkommens-im-staedtischen-umfeld> [12.07.2020].
- RIS – Rechtsinformationssatz des Bundes (1977). Rechtssatznummer RS0009915. Download unter <https://bit.ly/317NZy2> [27.07.2020].
- Rehrmann, M.-O. (2014). Als der Traum von der Großrohrpost starb. In: Norddeutscher Rundfunk, 13. März 2014. Download unter <https://www.ndr.de/geschichte/schauplaetze/Als-der-Traum-von-der-Grossrohrpost-starb,grossrohrpost103.html> [18.03.2020].
- Reiter, K. & Wrighton, S. (o.J.). Zentral geliefert – fein verteilt. Download unter <https://www.vcoe.at/news/details/zentral-geliefert-fein-verteilt> [16.06.2020].
- Riehle, E. (2012). Das Lastenfahrrad als Transportmittel für städtischen Wirtschaftsverkehr. Eine Untersuchung europäischer Beispiele zur Abschätzung von Rahmenbedingungen und Potenzialen für deutsche Städte. Masterarbeit: TU Dortmund, Fakultät Raumplanung.
- Riehle, E. & Lenz, B. (2013). Bikes for urban freight? Experience in Europe. In: Transportation Research Record, 2379(1), 39–45.
- Rijsenbrij, J. C., Pielage, B. A. & Visser, J. G. (2006). State-of-the-art on automated (underground) freight transport systems for the EU-TREND project. Delft: Delft University of Technology.
- Robotics Business Review (2020). Starship Technologies Inc. Download unter <https://www.roboticsbusinessreview.com/robotic-company/directory/listings/starship-technologies> [16.06.2020].
- Rogers, C. D. F. & Hunt, D. V. L. (2006). Sustainable Utility Infrastructure via Multi-Utility Tunnels. 1st International Construction Specialty Conference, Calgary. Download unter https://www.researchgate.net/publication/258809771_Sustainable_Utility_Infrastructure_via_Multi-Utility_Tunnels [14.03.2020].
- Roland Berger (2018). Urbane Logistik 2030 in Deutschland. Gemeinsam gegen den Wilden Westen. München: Roland Berger GMBH. Download unter https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/Roland_Berger_Urbane_Logistik_2030_in_Deutschland.pdf [28.03.2020].
- Röhr, R. (2019). „CargoCap wird ohne Chance bleiben“. In: Bürgerportal Bergisch Gladbach, 03. Juni 2019. Download unter <https://in-gl.de/2019/06/03/cargocap-wird-ohne-chance-bleiben> [19.01.2020].
- Ruesch, M. & Glücker, C. (2001). BESTUFS: Deliverable D2.1 – Best Practice Handbook Year 1 (2000). Download unter http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_I/best_practice/BESTUFS_I_Results_Best_Practice_year1.pdf [24.02.2020].
- SAE International (2014). Surface Vehicle Information Report. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Download unter https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/preview [13.01.2020].
- SAE International (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Download unter https://saemobilus.sae.org/content/j3016_201806 [28.02.2020].

- SAE International (2019). SAE Standards News: J3016 automated-driving graphic update. Download unter <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> [09.04.2020].
- Said, C. (2017). San Francisco to robots: Don't crowd our sidewalks. In: San Francisco Chronicle, 06. Dezember 2017. Download unter <https://www.sfchronicle.com/news/article/San-Francisco-to-robots-Don-t-crowd-our-12411062.php> [04.10.2019].
- Santoro, I. (2019). Projekt Cargo Sous Terrain. Die Zweifel an der Güter-U-Bahn wachsen. In: SRF – Schweizer Radio und Fernsehen, 10. Juli 2019. Download unter <https://www.srf.ch/news/schweiz/projekt-cargo-sous-terrain-die-zweifel-an-der-gueter-u-bahn-wachsen> [24.10.2019].
- Saß, S. (2020). Pressemitteilungen. E-Commerce-Plus von 9,2 Prozent im 1. Halbjahr 2020 – dauerhaft mehr E-Commerce beim „Täglichen Bedarf“. Bundesverband E-Commerce und Versandhandel. Download unter <https://www.bevh.org/presse/pressemitteilungen/details/e-commerce-plus-von-92-prozent-im-1-halbjahr-2020-dauerhaft-mehr-e-commerce-beim-taeglichen-beda.html> [11.07.2020].
- Schaarschmidt, K. (2008). RegLog® – Citylogistik Regensburg. Präsentation. Download unter http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/national_seminar/Abgesagter_Termin/BESTUFS2008_Schaarschmidt.pdf [13.07.2020].
- Schaarschmidt, K. (2011). Entwicklungszyklen in logistischen Kooperationen – Eine Vergleichsanalyse von City- und Stadtlogistik in Deutschland. München: Dr. Hut.
- Schäfer, F. (2005). Bewertung der Nutzfahrzeugkollektiven auf Spurrinnen und Ermüdung. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT).
- Schauer, O., Simmer, L. & Grabner, M. (2015). Machbarkeitsstudie. Mit Logistikplattformen zu Logistik 4.0. Download unter https://www.wko.at/branchen/ooe/transport-verkehr/spedition-logistik/9---Studie-4.0-Logistikplattformen_Logistikum.pdf [29.10.2019].
- Schmid, J. (2020). RemiHub testet weiter: Paketzustellung aus der Busgarage. Download unter <https://www.remihub.at/?p=423> [15.05.2020].
- Schmidt, C. (1997). City-Logistik – Entwicklungen und Erfahrungen. In: Jessen J., Roos H. J. & Vogt W. (Hrsg.). Stadt – Mobilität – Logistik. Perspektiven, Konzepte und Modelle (Stadtforschung aktuell, Band 63). Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 184–190.
- Schoemaker, J., Allen, J., Huschebeck, M. & Monigl, J. (2006). Quantification of Urban Freight Transport Effects I, deliverable D5. 1. Download unter http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key_issuesII/BESTUF_Quantification_of_effects.pdf [27.05.2020].
- Schrampf, J. (2016). Von der City-Logistik zu „Smart Urban Logistics“. Vortrag am 15. Juni 2016. Veranstaltungsreihe Zyklus Infrastruktur. Download unter <https://www.wko.at/branchen/industrie/Smart-Urban-Logistics.pdf> [10.06.2019].
- Schrampf, J., Zvokelj, A. & Hartmann, G. (2013). Strategisches Gesamtkonzept. Smart Urban Logistics. Effizienter Güterverkehr in Ballungszentren. Wien: Klima- und Energiefonds. Download unter <https://smartcities.at/assets/01-Foerderungen/SmartUrbanLogistics-Gesamtkonzept-v1-0-Web.pdf> [23.10.2019].
- Schütz, T. (2012). Perspektive Erdgeschoß. Verbarrikadierte gähnende Leere wird unberührte Leinwand für eine Perspektive auf – eine andere Erdgeschoßzone. Wien. Download unter http://www.unos.at/Container/Perspektive-EG-Summary_Sch%C3%BCtz.pdf [11.07.2020].

- Schweig, K.-H. (o.J.). City- und Stadtlogistik als ein Teil des Wirtschaftsverkehrs. Download unter <https://bit.ly/39LFzjH> [12.07.2020].
- Schweizerische Eidgenossenschaft (2019). Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport. Erläuternder Bericht zur Vernehmlassungsvorlage. Download unter <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/56330.pdf> [25.10.2019].
- Segalou, E., Ambrosini, C. & Routhier, J.-L. (2004). The Environmental Assessment of Urban Goods Movement. In: Taniguchi, E. & Thompson, R. G. (Hrsg.): Logistics Systems for Sustainable Cities. Proceedings of the 3rd International Conference on City Logistics (Madeira, Portugal, 25-27 June, 2003). Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 207–220.
- Shahooei, S., Farooghi, F., Zahedzahedani, S. E., Shahandashti, M. & Ardekani, S. (2018). Application of underground short-haul freight pipelines to large airports. In: Journal of Air Transport Management, Volume 71, August 2018, 64–72.
- Sheth, M., Butrina, P., Goodchild, A. & McCormack, E. (2019). Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. In: European Transport Research Review 11(1), 11, 1–12.
- Soteropoulos, A., Mitteregger, M., Berger, M. & Zwirchmayr, J. (2020). Automated drivability: Toward an assessment of the spatial deployment of level 4 automated vehicles. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 136, 64–84.
- Stadt Wien (o.J.a). Fahrverbot in Wien für LKW der Abgasklassen Euro 0, Euro 1 und Euro 2. Download unter <https://www.wien.gv.at/umwelt/luft/massnahmen/fahrverbot.html> [12.07.2020].
- Stadt Wien (o.J.b). Zahlen und Fakten zum Wiener Straßennetz. Download unter <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/fakten.html> [14.04.2020].
- Stadt Wien (2014). Realnutzungskartierung 2014. Download unter <https://tinyurl.com/yyl78u76> [09.09.2020]
- Stadt Wien (2017). Katalog. Anteil LKW mit Elektro- oder Hybridantrieb Wien. Download unter <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/anteil-lkw-mit-elektro-oder-hybridantrieb> [15.05.2020].
- Stadt Wien (2020a). Katalog. Ladezonen Standorte Wien. Download unter https://www.data.gv.at/katalog/dataset/stadt-wien_ladezonenwien [10.03.2020]
- Stadt Wien (2020b). Katalog. U-Bahnnetz Bestand Wien. Download unter https://www.data.gv.at/katalog/dataset/stadt-wien_ubahnnetzbestandwien [12.07.2020].
- Stadtrechnungshof Wien (2004). Vergleich der Kosten für den Neubau der Wiener U-Bahn mit jenen von München. Download unter <http://www.stadtrechnungshof.wien.at/berichte/2004/lang/1-16-KA-V-TU-10-4.pdf> [14.06.2020].
- Starke (o.J.). Starke Cycles – The delivery machine for E-commerce in cities. Download unter <http://www.starkecycles.com> [21.02.2020].
- Starship Technologies (o.J.). We are a company building a network of robots ready to serve you anytime, anywhere. Download unter <https://www.starship.xyz> [15.03.2020].
- Statista (2009). Europäische Städte mit der niedrigsten Durchschnittsgeschwindigkeit im Straßenverkehr (Stand: 2008; in Kilometer pro Stunde). Download unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37200/umfrage/durchschnittsgeschwindigkeit-in-den-15-groessten-staedten-der-welt-2009/#professional> [08.01.2020].

- Statista (2019). Entwicklung der gesamten Fahrleistung von Lkw in Deutschland von 1970 bis 2018. Download unter <https://bit.ly/30dARYW> [29.05.2020].
- Statistik Austria (2011). Arbeitsstättenzählung 2011.
- Statistik Austria (2012). Registerzählung 2012.
- Statistik Austria (2016). Verkehrsstatistik 2015. Güterverkehr – Verkehrsleistungen. Download unter https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=108394 [13.11.2019].
- Statistik Austria (2019a). Verkehrsstatistik 2018. Wien: Download unter http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=122183 [11.05.2020].
- Statistik Austria (2019b). Straßenverkehrsunfälle – Jahresergebnisse 2018. Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden. Schnellbericht 4.3. Download unter https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=120752 [13.05.2020].
- Steadman, I. (2013). London's Victorian Hyperloop: the forgotten pneumatic railway beneath the capital's streets. In: *New Statesman*, 18. Dezember 2013. Download unter <https://www.newstatesman.com/future-proof/2013/12/londons-victorian-hyperloop-forgotten-pneumatic-railway-beneath-capitals-street> [24.11.2019].
- Stein, D. (2002). *Der begehbare Leitungsgang*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag.
- Stein, D. (2014a). CargoCap. In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 23(1), 22–30.
- Stein, D. (2014b). CargoCap – Die 5. Transportalternative für den unterirdischen Gütertransport im Ballungsraum. In: *KiT-Artikel*, 03.02.2014. Karlsruher Institut für Technologie.
- Stokoe, M. (2018). Space for Freight – Managing capacity for Freight in Sydney. Präsentation. Download unter http://conference.lcl-project.eu/wp-content/uploads/2018/10/8_Michael-Stokoe-SPACE-FOR-FREIGHT-MANAGING-CAPACITY-FOR-FREIGHT-IN-SYDNEY-%E2%80%93-A-CBD-UNDERGOING-TRANSFORMATION.pdf [17.07.2020]. Geht das kürzer?
- Stephan, M. (2005). *Citylogistik, ein Instrument zur Verringerung des städtischen Güterverkehrs*. Diplomarbeit. München und Ravensburg: GRIN-Verlag.
- Stoppenhagen, T. (2020). Shoppen ohne Corona-Risiko. In *Hamburg kommt der Einkauf per Roboter*. In: *Hamburger Morgenpost*, 21. April 2020. Download unter <https://www.mopo.de/hamburg/shoppen-ohne-corona-risiko-in-hamburg-kommt-der-einkauf-per-roboter-36586766> [15.05.2020].
- Straube, F., Reipert, J. & Schöder, D. (2017). City-Logistik der Zukunft – im Spannungsfeld von Elektromobilität und Digitalisierung. In: *Wirtschaftsinformatik & Management Vol. 9, No. 3*, 28–35.
- Sun, Y. & Wang, Y. (2011). Fallstudie. Infrastruktur und CargoCap. Download unter <https://docplayer.org/33824873-Fallstudie-infrastruktur-und-cargocap-yongxin-sun-yaomin-wang.html> [14.12.2019].
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T. & van Duin, R. (2001). *City Logistics. Network Modelling and Intelligent Transport Systems*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.

- Taniguchi, E., Thompson, R. G. & Yamada, T. (2016). New Opportunities and Challenges for City Logistics. In: *Transportation Research Procedia*, Vol. 12, 5–13.
- Tchiendji, M. M. (2015). Nachhaltigkeitsorientierte Analyse von Wertschöpfungsnetzwerken am Beispiel Kameruns: Ein Beitrag zur nachhaltigen Integration Kameruns in die Weltwirtschaft. Dissertation: Universität Bremen.
- Teo, J. S. E., Taniguchi, E. & Qureshi, A. G. (2014). Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-agent Systems Learning Models. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Volume 125, 62–74.
- TfL – Transport for London (2009). Cycle freight in London: A scoping study. Download unter <http://content.tfl.gov.uk/cycle-as-freight-may-2009.pdf> [18.09.2019].
- The Boring Company (o.J.). The Chicago Express Loop. Download unter <https://www.boringcompany.com/chicago> [11.05.2020].
- The New Zealand Railways Magazine (1929). Our London Letter. Railways as Road Carriers. In: *The New Zealand Railways Magazine* 4(5), September 1st 1929, S. 19–23. Download unter http://nzetc.victoria.ac.nz/tm/scholarly/tei-Gov04_05Rail-t1-body-d9.html [10.09.2020]
- Thoma, L. (1996). Bessere Organisation des städtischen Verkehrs durch City-Logistik? In: Boes, H. & Hesse, M. (Hrsg.) *Güterverkehr in der Region. Technik, Organisation, Innovation*. Marburg: Metropolis, 315–338.
- Tögel, C. (2019). Über Sigmund Freuds erste und über seine beinahe letzte Unterkunft in Wien. Download unter https://www.researchgate.net/publication/335889805_Uber_Sigmund_Freuds_erste_und_uber_seine_beinahe_letzte_Unterkunft_in_Wien [23.04.2020].
- Toyota (o.J.). e-PALETTE. Download unter <https://www.toyota-europe.com/startyourimpossible/e-palette> [03.03.2020].
- Tracy, S. W. (1929). Underground Transportation of Freight in Central Area. In: *Chicagology*. Download unter <https://chicagology.com/transportation/chicagotunnelco> [04.08.2019].
- Transport & Environment (2020). How European transport can contribute to an EU -55% GHG emissions target in 2030. Brüssel: European Federation for Transport and Environment – AISBL. Download unter https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_02_TE_EGD_vision_How_EU_transport_can_contribute_minus_55.pdf [4.9.2020]
- Umweltbundesamt (2018). Lärmzonen Umgebungslärmkartierung 2017 – Strasse. Strasse – Lden – Wien. Download unter <https://geometadatensuche.inspire.gv.at/metadaten-suche/srv/ger/catalog.search#/metadata/125ec87c-7120-48a7-bd2c-2718cbf878c6> [12.07.2020].
- Unbekannt (1904). File:IllinoisTunnelTestTrain.jpg. Download unter <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IllinoisTunnelTestTrain.jpg#/media/File:IllinoisTunnelTestTrain.jpg> [07.09.2020]
- University of Houston (o.J.). Download unter <https://uh.edu/engines/pneumatictubes.jpg> [01.04.2020].
- Vähäaho, I. (2018). Urban Underground Space – Sustainable Property Development in Helsinki. City of Helsinki: Urban Environment Division, Soil and Bedrock Unit GEO.
- Vallée, D. (2012). Leitfaden Logistik. E-Paper der ARL, Nr. 16, Hannover. Download unter http://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr16.pdf [26.11.2019].

- van der Heijden, M. C., van Harten, A., Ebben, M. J. R., Saanen, Y. A., Valentin, E. C. & Verbraeck, A. (2002). Using Simulation to Design an Automated Underground System for Transporting Freight around Schiphol Airport. In: *Interfaces*, 32(4), 1–19.
- van Essen, H., van Wijngaarden, L., Schroten, A., Sutter, D., Bieler, C., Maffii, S., Brambilla, M., Fiorello, D., Fermi, F., Parolin, R. & El Beyrouty, K. (2019). Handbook on the external costs of transport, Version 2019. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Download unter <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/internalisation-handbook-isbn-978-92-79-96917-1.pdf> [18.03.2020].
- VCÖ – Verkehrsclub Österreich (2017). Warum können wir statt dem E-Auto mit Akku nicht auf den Durchbruch von Brennstoffzelle oder Treibstoffen aus Wasserstoff warten? Download unter <https://www.vcoe.at/service/fragen-und-antworten/Warum-nicht-auf-brennstoffzelle-oder-treibstoffe-aus-wasserstoff-warten> [12.07.2020].
- VCÖ – Verkehrsclub Österreich (2018). Rebound- und Seiten-Effekte im Verkehrssystem. Wien: VCÖ.
- Verkade, T. & Te Brömmelstroet, M. (2019). Het grootste taboe in het verkeer: we kunnen elkaar doodrijden. In: *De Correspondent*, 12. Februar 2019. Download unter <https://bit.ly/3jSkWqZ> [27.06.2020].
- Verkehrsclub Deutschland (2006). Güterverkehr in der Stadt. Ein unterschätztes Problem. Berlin: Verkehrsclub Deutschland. Download unter https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Themen/Gueterverkehr/Lkw-Maut/VCD_Kurzbroschuere_Gueterverkehr_in_der_Stadt_2006.pdf [18.06.2019].
- Vienna.at (2013). Autofahrer im Durchschnitt mit 25 km/h unterwegs. Download unter <https://www.vienna.at/autofahrer-in-wien-im-durchschnitt-mit-25-kmh-unterwegs/3556244> [09.01.2020].
- VRF – Vienna Research Forum (2020). Presseaussendung VRF Logistik/Industrie – 05.02.2020. Download unter https://www.viennaresearchforum.at/download_files/Presseaussendung_VRF_Logistik_H2_2019.pdf [16.06.2020].
- Visser, J. G. (2018). The development of underground freight transport: An overview. In: *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 80, 123–127.
- Visser, J. G. & Geerlings, H. (2001). Technological innovations in transport: an implementation strategy for underground freight transport. In: Feitelson, E. & Verhoef, E. T. (Hrsg.). *Transport and Environment: In search of Sustainable Solutions*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 136–146.
- Visser, J., Wiegman, B. W., Konings, R. & Pielage, B.-J. A. (2008). Review of Underground Logistic Systems in The Netherlands: An Ex-post Evaluation of Barriers, Enablers and Spin-off. ISUFT 2008, Arlington, March 20-22, 2008, 5th International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems.
- Vogel, B. (2018). Stadtlogistik: Mehr Güter, weniger Energie. Bundesamt für Energie (BFE). Download unter <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9493.pdf> [19.02.2020].
- Waldburger, H. (1980). Zürichs Post-U-Bahn ist nicht mehr. In: *Schweizer Eisenbahn-Revue* 4/1980, S. 133–134.
- Watzlawek, G. (2019). CargoCap kommt auf den Prüfstand. In: *Bürgerportal Bergisch Gladbach*, 29. April 2019. Download unter <https://in-gl.de/2019/04/29/fantastisches-verkehrssystem-nimmt-naechste-huerde> [19.02.2020].

- Wegner, K. (2019). Potenziale der Digitalisierung für die letzte Meile in der Logistik. In: Schröder, M. & Wegner, K. (Hrsg.). *Logistik im Wandel der Zeit – Von der Produktionssteuerung zu vernetzten Supply Chains*. Wiesbaden: Springer Gabler, 285–301.
- Weider, M., Metzner, A. & Rammler, S. (2004). Das Brennstoffzellen-Rennen: Aktivitäten und Strategien bezüglich Wasserstoff und Brennstoffzelle in der Automobilindustrie (No. SP III 2004-101). WZB Discussion Paper. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.
- Werner, M. (2014). *Hypercargo. Ein deutscher Hyperloop nach Transrapid und Co? Überlegungen zu einer Güterverkehrsumsetzung für Elon Musks bahnbrechende Technologie auf deutschem Boden*. Masterarbeit an der Helmut-Schmidt-Universität – Universität der Bundeswehr Hamburg. Download unter <https://www.grin.com/document/301597> [09.06.2020].
- Whiteing, A. E. (1996). *Freight in Urban Areas: A European Comparative Study of the Potential for Urban Freight Trans-shipment Facilities*. Huddersfield: University of Huddersfield.
- Wiegmans, B. W., Visser, J., Konings, R. & Pielage, B.-J. A. (2010). Review of underground logistic systems in the Netherlands: An ex-post evaluation of barriers, enablers and spin-offs. In: *European Transport\Trasporti Europei*, issue 45, 34–49.
- Wiener Stadtwerke (2020). *Smart Campus*. Download unter <https://www.wienerstadtwerke.at/eportal3/ep/programView.do/pageTypeld/71282/programId/2177967/channelId/-51322> [11.07.2020].
- Williams, A. (1910). *The Underground Freight Railways of Chicago*. In: „Engineering Wonders of the World“ – Volume I. Download unter <http://fdelaitre.org/lpf2/Chicago.htm#BIBL> [09.11.2019].
- Winter, R., Pötscher, F., Pölz, W., Lichtblau, G., Kutschera, U. & Schreiber, H. (2014). *Ökobilanz alternativer Antriebe – Elektrofahrzeuge im Vergleich*. Wien: Umweltbundesamt.
- Wirth, T. (2017). *Start-up-Steckbrief: Endlich die richtige Temperatur*. In: *Die Presse*, 29. Dezember 2017. Download unter <https://www.diepresse.com/5342216/start-up-steckbrief-endlich-die-richtige-temperatur> [14.12.2019].
- Wirtschaftsagentur Wien (2016). *City Logistik. Technologie Report*. Wien: Wirtschaftsagentur. Download unter https://wirtschaftsagentur.at/fileadmin/user_upload/Technologie/Factsheets_T-Reports/DE_CityLogistik_Technologie_Report.pdf [14.07.2020].
- Wittenbrink, P., Leerkamp, B. & Holthaus, T. (2016). *Städtisches Güterverkehrskonzept Basel. Schlussbericht*. Luzern: Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt.
- Wittenbrink, P., Leerkamp, B. & Holthaus, T. (2019). *Städtisches Güterverkehrskonzept Basel*. In: Proff, H. (Hrsg.): *Mobilität in Zeiten der Veränderung. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*. Wiesbaden: Springer Gabler, 351–370.
- WKO – Wirtschaftskammer Österreich (o.J.). *Ihre elektronische Meldung. Straßengüterverkehrserhebung*. WKO/Statistik Austria
- WKO – Wirtschaftskammer Österreich (2018). *Die österreichische Verkehrswirtschaft. Daten und Fakten 2018*. Download unter <https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/die-oesterreichische-verkehrswirtschaft-2018.pdf> [18.09.2019].
- WKO – Wirtschaftskammer Österreich (2019). *Die österreichische Verkehrswirtschaft. Daten und Fakten 2019*. Wien: Wirtschaftskammer Österreich. Download unter <https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/die-oesterreichische-verkehrswirtschaft-2019.pdf> [21.02.2020].

- Wong, J. C. (2017a). Delivery robots: a revolutionary step or sidewalk-clogging nightmare? In: The Guardian, 12. April 2017. Download unter <https://www.theguardian.com/technology/2017/apr/12/delivery-robots-doordash-yelp-sidewalk-problems> [27.06.2020].
- Wong, J. C. (2017b). San Francisco sours on rampant delivery robots: 'Not every innovation is great'. In: The Guardian, 10. Dezember 2017. Download unter <https://www.theguardian.com/us-news/2017/dec/10/san-francisco-delivery-robots-laws> [27.06.2020].
- Workhorse (2020). Download unter <https://workhorse.com> [15.05.2020].
- Wren, J. (2007). The great Chicago flood. Analysis of Chicago's 2nd Great Disaster. In: STRUCTURE magazine (August 2007), 35–40. Download unter <https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/09/SF-Chicago-Flood-Wren-Aug-071.pdf> [27.08.2019].
- Wright, C., Rupani, S., Nichols, K., Chandani, Y. & Machagge, M. (2018). White Paper: What should you deliver by unmanned aerial systems? Arlington: JSI Research & Training Institute. Download unter <http://iaphl.org/wp-content/uploads/2018/02/White-Paper-What-should-you-deliver-by-unmanned-aerial-systems.pdf> [27.08.2019].
- www.stadtregionen.at (2020). Stadtregion Wien. Download unter <https://www.stadtregionen.at/wien> [30.06.2020].
- Yang, C. & Peng, F. (2016). Discussion on the Development of Underground Utility Tunnels in China. In: Procedia Engineering, Volume 165, 540–548.
- Zanker, C. (2018). Branchenanalyse Logistik: Der Logistiksektor zwischen Globalisierung, Industrie 4.0 und Online-Handel. Study der Hans-Böckler-Stiftung, No. 390. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Zhou, Y. & Zhao, J. (2016). Advances and Challenges in Underground Space Use in Singapore. In: Geotechnical Engineering, 47(3), 85–95.
- zukunftindustrie.info (2019). „Wir brauchen einen Generalverkehrsplan für die City-Logistik!“ Interview mit Dkfm. Heinz Pechek, Vorstand des Bundesverbandes Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik in Österreich. Download unter <https://www.zukunftindustrie.info/logistik/wir-brauchen-einen-generalverkehrsplan-fuer-die-city-logistik/amp> [12.07.2020].
- Zunder, T. H. & Ibanez, J. N. (2004). Urban freight logistics in the European Union. In: European Transport\Trasporti Europei, issue 28, 77–84.

The End

