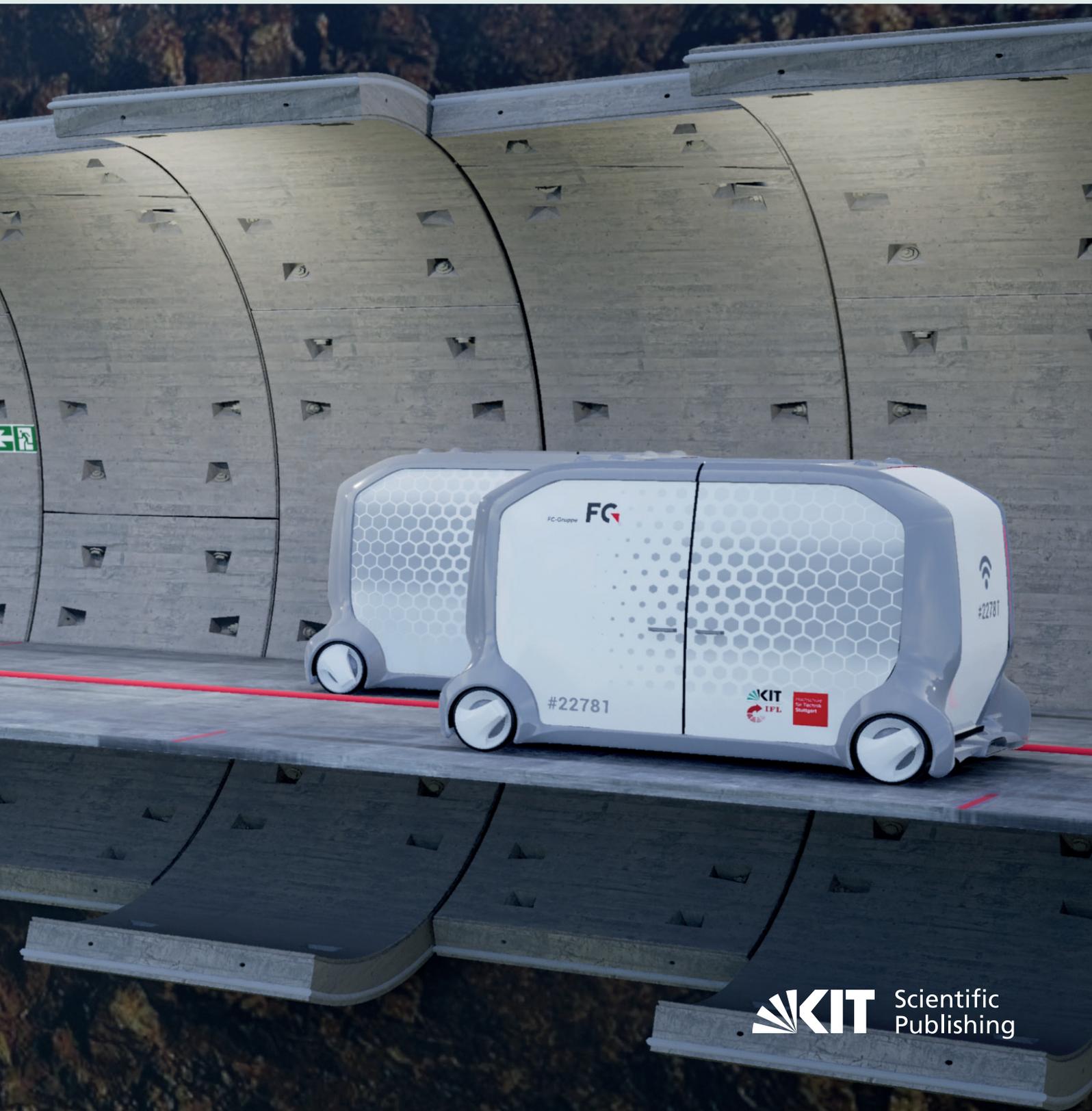


P. Dehdari, F. Rauscher, M. Walz, J. Oellerich,
K. Furmans, M. Heusser, K. Unverfärth, C. Seeger

UNTERIRDISCHER WARENTRANSPORT LANDESHAUPTSTADT STUTTGART

Machbarkeitsstudie



Payam Dehdari, Felix Rauscher, Michael Walz, Jan Oellerich, Kai Furmans,
Matthias Heusser, Karen Unverfärth, Christian Seeger

Unterirdischer Warentransport Landeshauptstadt Stuttgart

Machbarkeitsstudie

Unterirdischer Warentransport Landeshauptstadt Stuttgart

Machbarkeitsstudie

von

Payam Dehdari, Felix Rauscher, Michael Walz, Jan Oellerich, Kai Furmans,
Matthias Heusser, Karen Unverfärth, Christian Seeger

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding parts marked otherwise, the cover, pictures and graphs –
is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(CC BY 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2023 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISBN 978-3-7315-1326-1

DOI 10.5445/KSP/1000162868

In Zusammenarbeit:



Schüßler-Plan

AutorInnen	Institution	Verantwortlich für
Prof. Dr.-Ing. Payam Dehdari	Hochschule für Technik Stuttgart	Kap. 1 + 8
Felix Rauscher	Karlsruher Institut für Technologie	Kap. 2, 3 + 7
Michael Walz	FC-Gruppe	
Dr.-Ing. Jan Oellerich	Karlsruher Institut für Technologie	Kap. 4
Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans	Karlsruher Institut für Technologie	
Matthias Heusser	FC-Gruppe	Kap. 5
Karen Unverfärth	FC-Gruppe	Kap. 6
Christian Seeger	FC-Gruppe	

Vielen Dank auch an alle weiteren Beteiligten, ohne die die Erstellung dieser Studie nicht möglich gewesen wäre.

Kontakt:

FC-Projektsteuerung GmbH

Bahnhofstraße 27

70372 Stuttgart

Homepage: www.fc-gruppe.de

E-Mail: uwt@fc-gruppe.de

Auftraggeber:

Landeshauptstadt Stuttgart

Projektlaufzeit:

Januar 2021 bis Oktober 2021

Zitiervorschlag:

Dehdari, Payam; Rauscher, Felix; Walz, Michael; Oellerich, Jan; Furmans, Kai; Heusser, Matthias; Unverfärth, Karen; Seeger, Christian (2023): Machbarkeitsstudie Unterirdischer Warentransport Landeshauptstadt Stuttgart. Abschlussbericht, Stand: September 2023. Unter Mitarbeit von Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH. Stuttgart, Karlsruhe.

Stuttgart, September 2023

Hinweis:

Zur Vereinfachung der Lesbarkeit wurde teilweise auf eine geschlechtsspezifische Ansprache verzichtet.

I. Vorwort

Vorwort Landeshauptstadt Stuttgart

Mit dem Masterplan zur Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität – dem Green City Plan – hat die Stadt Stuttgart einen umfassenden Handlungsleitfaden zur Umsetzung von Maßnahmen mit dem Ziel der Reduzierung bzw. Vermeidung von verkehrsbedingten Schadstoffemissionen erstellt. Die Förderung einer umweltfreundlichen Logistik ist Teil dieses Maßnahmenkatalogs. Dabei ist die hier vorliegende Studie der Einzelmaßnahme „Machbarkeitsstudie für die Realisierung unterirdischer und digital vernetzter Transportlösungen von Gütern am Beispiel der Stadt Stuttgart“ zuzuordnen. Dieses Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur in der Förderrichtlinie Städtische Logistik gefördert.

Das Projekt hat sich mit dem innovativen Ansatz eines unterirdischen Transportsystems für den Güterverkehr auseinandergesetzt. Ziel war die Prüfung, ob und unter welchen Rahmenbedingungen die Implementierung eines Systems zur unterirdischen Ver- sowie Entsorgung der Stadt Stuttgart realisierbar ist. Im Projekt ging es vor allem darum, die Chancen und Hindernisse sowie Vor- und Nachteile eines solchen unterirdischen Warentransportsystems zu identifizieren und für die Landeshauptstadt zu bewerten. Dabei wurden neben technischen und räumlichen Aspekten auch die Interessen unterschiedlicher Stakeholder berücksichtigt.

Die hier vorliegenden Inhalte der Machbarkeitsstudie spiegeln die Meinung und Erkenntnisse des Gutachterteams wider und nicht die der Landeshauptstadt. Erst mit Vorliegen dieser Studie werden die politischen Gremien entscheiden, wie das Thema künftig in Stuttgart behandelt wird.

Ines Aufrecht

*Leiterin Abteilung Koordination S21/Rosenstein und Zukunftsprojekte
Referat Verwaltungskoordination, Kommunikation und Internationales
Landeshauptstadt Stuttgart*

Vorwort FC-Gruppe

Wie können Städte in der Zukunft mit Waren versorgt werden? Dieser Frage widmete sich die FC-Gruppe im Rahmen der vorliegenden Studie und zeigt hierin Möglichkeiten auf, um den Herausforderungen unserer Zeit, bspw. dem stark steigenden Verkehrsaufkommen in Innenstädten oder der Belastung durch Luftschadstoffe wie Feinstaub, Stickstoffdioxide und Treibhausgase, entgegenzuwirken. Ein erfolgversprechender Ansatz liegt hierbei im ‚Smart City‘-Konzept. Durch den Einsatz von Digitalisierung und technologische Innovationen sollen die Städte hierbei lebenswerter gestaltet werden. Konkret untersuchte die FC-Gruppe die Möglichkeit, Teile des Verkehrs zur Ver- und Entsorgung in der Landeshauptstadt Stuttgart unterirdisch zu verlegen und so die oberirdischen Verkehrsflächen zu entlasten sowie den Verkehrsfluss zu verbessern.

Zur Bewältigung der Projektaufgabe haben wir ein kompetentes Projektteam zusammengestellt und die Aufgabengebiete entsprechend der jeweiligen Expertise jedes Projektpartners aufgeteilt. Das Projektteam setzt sich aus der FC-Gruppe, dem Institut für Fördertechnik und Logistik (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), der Hochschule für Technik Stuttgart und der Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft zusammen. Die FC-Gruppe übernahm die Gesamtkoordination des Projektteams und brachte sich u. a. maßgeblich in den Bereichen Fördertechnikplanung und Bautechnik ein. Das Team des IFL um Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans unterstützte das Projektteam in den Bereichen Logistik- und Materialflussplanung sowie bei der Entwicklung des Zukunftsmodells für den unterirdischen Warentransport. Durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Dehdari von der HfT Stuttgart und dessen Team flossen innovative Konzepte der umweltorientierten Logistik in die Machbarkeitsstudie ein. Zudem unterstützte die HfT Stuttgart das Projektteam im Bereich Stakeholdermanagement. Das Ingenieurbüro Schüssler-Plan brachte seine langjährige Erfahrung mit den örtlichen Gegebenheiten in Stuttgart, bspw. durch das Projekt ‚Stuttgart 21‘, insbesondere in den Bereichen Trassenführung und Bautechnik gewinnbringend in die Studie ein. Unser Ansatz bei der Erstellung der Studie war es, an die Aufgabenstellung unvoreingenommen, herstellerneutral und wissenschaftlich heranzugehen. Ebenso war es von Beginn an unser Anspruch, die Studie nach Fertigstellung zu veröffentlichen und die Ergebnisse zur Diskussion zu stellen.

Ich danke dem gesamten Projektteam für die gute und intensive Zusammenarbeit in den vergangenen Monaten. Mein herzlicher Dank gilt auch allen weiteren Projektunterstützern, die uns im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie unterstützt haben, und der Landeshauptstadt Stuttgart, insbesondere in Person von Frau Ines Aufrecht, Frau Dr. Manuela Wohlhüter und Herrn Volker Zahn für das entgegengebrachte Vertrauen und den fachlichen Austausch.

*Mit freundlichen Grüßen,
Michael Hoffmann
Geschäftsführer FC-Gruppe*

II. Zusammenfassung

Der Güterverkehr im urbanen Raum ist zunehmend Teil von Diskussionen, da die Auswirkungen auf Umwelt, Klima und Aufenthaltsqualität einen Schwerpunkt politischen Handelns darstellen. Insbesondere für Städte wie der Landeshauptstadt Stuttgart (LHS), in denen topographisch bedingt ein begrenztes Platzangebot zur Verfügung steht, stellt das steigende Güterverkehrsaufkommen der letzten Jahre eine große Herausforderung dar und erfordert zukunftsweisende Initiativen und Maßnahmen zur Verbesserung der städtischen Verkehrslage hin zu einer lebenswerteren Stadt. Eine Befragung von Logistikdienstleistern und Gewerbetreibenden zeigt, dass diese großen Herausforderungen und Probleme bei der urbanen Güterversorgung sehen und Maßnahmen zur Verbesserung der Situation getroffen werden sollten.

Eine dieser Maßnahmen, die eine Reduktion des urbanen Straßengüterverkehrs bewirken könnte, ist ein unterirdisches Warentransportsystem (UWT-System). Das Konzept basiert darauf, dass Waren außerhalb der Stadt in einem größeren Verteilzentrum (Urban-Hub) angenommen und durch eine automatisierte unterirdische Förderstrecke zu kleineren Verteilzentren in der Innenstadt (City-Hubs) befördert werden. Die letzte Distributionsstufe führt dann von den kleineren städtischen Verteilzentren aus oberirdisch zu den Abnehmern.

In einem ersten Schritt konnte gezeigt werden, dass der für das hier untersuchte UWT-System substituierbare Güterverkehr 0,34 % des gesamten Kfz-Verkehrs bzw. 4,5 % des gesamten Güterverkehrs innerhalb des Kesselrands der LHS ausmacht. Dies liegt darin begründet, dass nicht alle Gütertransporte für einen unterirdischen Warentransport über das UWT-System geeignet sind. Außerdem entfällt ein großer Anteil der Gütertransporte durch die Stadt auf Leerfahrten, Handwerker- und Umzugsverkehr sowie Durchfahrten, die ebenfalls vom gesamten substituierbaren Güterverkehr abgezogen werden müssen. Anhand der ermittelten Verkehrszahlen konnte ein Beförderungspotenzial von 5156 Paletten pro Tag ermittelt werden, was in etwa 152 vollbeladenen Lastzügen pro Tag entspricht.

Für die Standortplanung der Verteilzentren wurde einerseits das Gelände des SVG-Süd-Autohofs als Standort des einzigen Urban-Hubs empfohlen. Andererseits konnten 32 mögliche City-Hub-Standorte identifiziert werden, wobei ausschließlich das Konzept der Integration in bestehende Parkhäuser bzw. Tiefgaragen verfolgt wurde. Für die Trasse des UWT-Systems wird ein 9,4 km langer Verlauf empfohlen, der größtenteils entlang des Bahnprojekts Stuttgart 21 verläuft. Somit kann auf bereits vorhandene geologische Untersuchungen und Erfahrungen zurückgegriffen und die technische Realisierung der Trasse abgesichert werden. Der vorgeschlagene Tunnelinnendurchmesser beträgt 4,5 m, was eine zweispurige Nutzung ermöglicht. Über vier City-Hubs wird die Feinverteilung der letzten Distributionsstufe zum Abnehmer sichergestellt. Das Materialflusssystem ist mit einem 95%-Service-Level ausgelegt und kann bei Bedarf ohne wesentlichen Umlaufaufwand kapazitiv erweitert werden. Eine Durchsatzbetrachtung verdeutlicht, dass die unterirdische Förderstrecke, für welche das System ‚autonomer Routenzug‘ als am geeignetsten erscheint, kein Engpass des Materialflusssystem ist. Vielmehr bestimmt in der aktuellen Konstellation die Lastübergabe am Urban-Hub den Grenzdurchsatz des Gesamtsystems.

Eine ökologische Betrachtung zeigt jedoch, dass durch das UWT-System insgesamt keine CO₂e-Emissionen eingespart werden. Grund dafür ist, dass ein Großteil des Güterverkehrs gegenüber der aktuellen Situation zukünftig einen Umweg zum Urban-Hub fahren muss. Die zusätzlichen Emissionen durch den Umweg können durch die Substituierung der Fahrten zwischen Urban-Hub und City-Hub mit dem UWT-System insgesamt nicht aus-

geglichen werden. Somit erhöhen sich die CO₂e-Emissionen allein durch die Umwege zum Urban-Hub um 118 %. Unter Berücksichtigung der Emissionen, die beim Bau des UWT-Systems anfallen, würden die CO₂e-Emissionen insgesamt um 203 % steigen.

Ökonomisch ist das UWT-System hingegen durchaus wettbewerbsfähig. Bereits bei einem Ertrag von 20 bis 32 € pro Palette kann eine Amortisationsdauer von 10 bzw. 40 Jahren erzielt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass das angestrebte Beförderungspotenzial erreicht wird. Steigende Treibstoffpreise begünstigen zudem eine Nutzung des UWT-Systems.

Soll der urbane Straßengüterverkehr reduziert werden, so kann dies entweder durch eine Reduktion der Güternachfrage in der Stadt, durch eine höhere Auslastung der Verkehrsmittel oder durch einen geringeren Leerfahrtenanteil realisiert werden. Aus technischer Sicht bleibt lediglich die Verlagerung des Güterverkehrs in die Luft oder unter die Erde. Letzteres wurde in dieser Machbarkeitsstudie am Beispiel der LHS untersucht. Die genannten Alternativen wurden jedoch bei der Bewertung nicht betrachtet. Bei einer Befragung der Stakeholder wurde dies bemängelt. Sie sehen das UWT-System als eine mögliche Option, sind jedoch unsicher, ob die hohen Investitionen und das Umsetzungsrisiko tatsächlich gerechtfertigt sind. Daher rät das interdisziplinäre Forschungsteam, das UWT-System vorerst nicht aus der Liste möglicher Optionen zur Verbesserung der urbanen Güterversorgung auszuschließen. Eine weitere eingehende Untersuchung von Risiko, Aufwand und Nutzen sowie der Vergleich mit alternativen Konzepten werden jedoch empfohlen.

III. Inhaltsverzeichnis

I.	Vorwort	1
II.	Zusammenfassung	3
III.	Inhaltsverzeichnis	5
IV.	Abbildungsverzeichnis	9
V.	Tabellenverzeichnis	13
VI.	Abkürzungsverzeichnis	17
1.	Konzept Einführung und Vorgehen der Studie	19
1.1	Vorstellung des Konzepts eines unterirdischen Warentransportsystems	19
1.2	Vorgehensweise der Studie	21
2.	Ist-Situation in Stuttgart – Transportaufkommen und Abnehmermodell	23
2.1	Problemstellung der Erfassung des Güterverkehrs	23
2.2	Zielsetzung der Ist-Analyse	23
2.3	Vorgehensweise und Methodik der Ist-Analyse	24
2.3.1	Vorgehensweise	24
2.3.2	Methodik	25
2.3.3	Limitationen des Abnehmer- und Verkehrsmodells	31
2.4	Ergebnisse des Abnehmer- und des Verkehrsmodells	32
2.4.1	Ergebnisse des Verkehrsmodells	32
2.4.2	Ergebnisse des Abnehmermodells	33
2.5	Fazit des Verkehrs- und des Abnehmermodells	35
3.	Erschließung des Stadtgebiets – Standortplanung und Trassenplanung	37
3.1	Standortplanung Urban-Hub	37
3.1.1	Problemstellung und Zielsetzung der Standortplanung des Urban-Hubs	37
3.1.2	Vorgehensweise und Methodik der Standortplanung des Urban-Hubs	38
3.1.3	Ergebnis Standortwahl Urban-Hub	39
3.2	Standortplanung der City-Hubs	46
3.2.1	Problemstellung und Zielsetzung der City-Hub-Standortplanung	46
3.2.2	Methodik und Vorgehensweise der City-Hub-Standortplanung	47
3.2.3	Ergebnisse der Standortplanung	51
3.3	Trassenplanung	57
3.3.1	Problemstellung der Trassenplanung	57
3.3.2	Zielsetzung der Trassenplanung	57

3.3.3	Vorgehensweise und Methodik der Trassenplanung	57
3.3.4	Ergebnisse der Trassenplanung	60
3.4	Fazit der Standort- und Trassenplanung	65
3.4.1	Urban-Hub	65
3.4.2	City-Hub	65
3.4.3	Trassenplanung	66
4.	Materialfluss- und Fördertechnik	67
4.1	Förderhilfsmittel	67
4.2	Vorauswahl der Fördertechnik	67
4.2.1	Problemstellung der Fördertechnikvorauswahl	68
4.2.2	Zielsetzung der Fördertechnikvorauswahl	70
4.2.3	Vorgehensweise der Fördertechnikvorauswahl	70
4.2.4	Methode und Limitationen der Fördertechnikvorauswahl	71
4.2.5	Ergebnisse der Fördertechnikvorauswahl	72
4.3	Materialflussplanung	77
4.3.1	Problemstellung der Materialflussplanung	77
4.3.2	Zielsetzung der Materialflussplanung	77
4.3.3	Vorgehensweise und Methodik der Materialflussplanung	77
4.3.4	Ergebnis der Materialflussplanung	84
4.4	Fazit der Fördertechnik- und Materialflussplanung	87
5.	Bautechnik	89
5.1	Tiefbau und Röhre	89
5.1.1	Problemstellung der Bautechnik	89
5.1.2	Zielsetzung der Bautechnik	89
5.1.3	Vorgehensweise und Methodik der Bautechnik	89
5.1.4	Ergebnisse der Bautechnik	90
5.2	Urban-Hub	97
5.3	City-Hub	98
5.4	Baustellen- und Grobterminplanung	98
5.5	Fazit der Bautechnik	100
6.	Stakeholdermanagement	103
6.1	Problemstellung	103
6.2	Zielsetzung	103
6.3	Vorgehensweise	103
6.4	Methode und Limitationen	104

6.4.1	Methodik Phase 1	104
6.4.2	Methodik Phase 2	107
6.4.3	Limitationen	110
6.5	Ergebnisdarstellung	111
6.5.1	Vorauswahl der Stakeholder	111
6.5.2	Phase 1: Vorselektion der Stakeholder	113
6.5.3	Phase 2: Akzeptanzergründung der zentralen Gruppen	117
6.6	Ausblick und weiteres Vorgehen	132
6.7	Fazit des Stakeholdermanagements	132
7.	Zukunftsmodell des unterirdischen Warentransports	135
7.1	Identifikation von möglichen Betreibermodellen	135
7.1.1	Problemstellung des Betreibermodells	135
7.1.2	Zielsetzung	135
7.1.3	Vorgehensweise, Methodik und Limitationen	135
7.1.4	Rechercheergebnisse zu möglichen Betreibermodellen und deren Eignung für den Anwendungsfall UWT	136
7.1.5	Fazit zu möglichen Betreibermodellen	140
7.2	Ökologische Betrachtung	141
7.2.1	Problemstellung der ökologischen Betrachtung	141
7.2.2	Zielsetzung der ökologischen Betrachtung	142
7.2.3	Methodik und Limitationen der ökologischen Betrachtung	142
7.2.4	Einordnung der CO ₂ e-Emissionen des Straßengüterverkehrs	143
7.2.5	Gegenüberstellung der verschiedenen ökologischen Betrachtungsweisen	147
7.2.6	Fazit der ökologischen Betrachtung	148
7.3	Ökonomische Betrachtung	148
7.3.1	Problemstellung der ökonomischen Betrachtung	148
7.3.2	Zielsetzung der ökonomischen Betrachtung	149
7.3.3	Vorgehensweise und Methodik der ökonomischen Betrachtung	149
7.3.4	Limitationen der ökonomischen Betrachtung	152
7.3.5	Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung	152
7.3.6	Fazit der ökonomischen Betrachtung	158
7.4	Potenziale	158
7.4.1	Anbindung Rosensteinquartier	158
7.4.2	Warentransport aus der Stadt	160
7.5	Eingehende quantitative Analyse	161
7.5.1	Sensitivität der Ist-Analyse	161

7.5.2	Sensitivität der ökonomischen Bewertung	163
7.5.3	Güterverkehrsentwicklung	165
7.5.4	Fazit der quantitativen Analyse	166
8.	Fazit und Ausblick	169
9.	Literaturverzeichnis	173
10.	Anhang	185
A	Projektpartner	203
A.1	FC-Gruppe	203
A.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	203
A.3	Hochschule für Technik Stuttgart	204
A.4	Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH	205
A.5	Weitere Projektunterstützer	205

IV. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Konzeptionelle Darstellung des UWT-Systems

Abbildung 1.2: Säulenmodell

Abbildung 2.1: Das Einzugsgebiet des UWT-Systems

Abbildung 2.2: Methodisches Vorgehen zur Ist-Analyse

Abbildung 2.3: Visualisierung des Ergebnisses der Verkehrszählungen der LHS am KR bzgl. des Güterverkehrs

Abbildung 2.4: Vorgehensweise der Hochrechnung der Verkehrsstärke

Abbildung 2.5: Verteilung und Gewichtung der Abnehmer und Branchen im Untersuchungsgebiet

Abbildung 3.1: Betrachtete Gewerbegebiete zur Standortplanung Urban-Hub

Abbildung 3.2: Isochronenkarte zur Standortwahl des Urban-Hubs

Abbildung 3.3: Darstellung Grundstück 1 in Stammheim Mitte

Abbildung 3.4: Darstellung Grundstück 2 in Weilimdorf-Nord

Abbildung 3.5: Darstellung Grundstück 3 in Gaisburg

Abbildung 3.6: Darstellung Grundstück 4 in Wangen

Abbildung 3.7: Darstellung Grundstück 5 im Stuttgarter Hafen

Abbildung 3.8: Darstellung Grundstück 6 im Benzviertel

Abbildung 3.9: Übersicht der sechs potenziellen Urban-Hub-Standorte

Abbildung 3.10: Lage der potenziellen City-Hub-Standorte

Abbildung 3.11: City-Hub-Standorte der kontinuierlichen Standortplanung in Abhängigkeit von deren Anzahl

Abbildung 3.12: Entwicklung der durchschnittlichen Palettendistanz in Abhängigkeit von der Anzahl an City-Hubs bei der kontinuierlichen Standortplanung

Abbildung 3.13: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit von der Anzahl an City-Hubs bei der kontinuierlichen Standortplanung

Abbildung 3.14: Grafische Darstellung des Ergebnisses der diskreten Standortplanung ohne Einschränkungen der Trassenplanung

Abbildung 3.15: Variation der Transport- und Investitionskosten

Abbildung 3.16: Übersicht über zu umfahrende Gebiete der Kernzone

Abbildung 3.17: Übersicht über die Untergrundinfrastruktur

Abbildung 3.18: Routenoptionen der vier Trassen zwischen Urban-Hub und Innenstadt

Abbildung 3.19: Gewählter Routenverlauf Gesamtstrecke

Abbildung 3.20: Modellierter Routenverlauf Innenstadt

Abbildung 4.1: Vorgehensweise im Arbeitspaket Materialfluss- und Fördertechnik

- Abbildung 4.2: Normmodell des UWT
- Abbildung 4.3: Entwicklung der Investitionskosten für Horizontalförderer in Abhängigkeit der Fahrzeuge
- Abbildung 4.4: Abstrakte Materialflussdarstellung des UWT-Systems
- Abbildung 4.5: Verteilung des wöchentlichen Güterverkehrsaufkommens
- Abbildung 4.6: Verteilung des täglichen Güterverkehrsaufkommens
- Abbildung 5.1: Beschreibung des Tunnelquerschnitts
- Abbildung 5.2: Vergleich des zwei- und des dreispurigen Querschnitts
- Abbildung 5.3: Skizze zur Anbindung eines City-Hubs über die Tiefgarage
- Abbildung 6.1: Erzeugung geeigneter Rahmenbedingungen zur Implementation eines UWT-Systems
- Abbildung 6.2: Überblick zu den Erhebungen in den Phasen 1 und 2
- Abbildung 6.3: Konzept des Stakeholderportfolios
- Abbildung 6.4: Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz
- Abbildung 6.5: Die fünf Kundensegmente der Technologieadaption
- Abbildung 6.6: Zusammengefasstes Stakeholderportfolio aus den Experteninterviews für das Gesamtprojekt
- Abbildung 6.7: Bewertung der Zufriedenheit mit der Ist-Situation der City-Logistik
- Abbildung 6.8: Einschätzung des Potenzials des UWT-Systems durch die Befragten der Phase 2
- Abbildung 6.9: Überblick über die Ergebnisse des Stakeholdermanagements der Studie
- Abbildung 7.1: Zusammenfassung der Verkehrseintrittspunkte an der MG zu Clustern zur Abschätzung der durchschnittlichen Umwege zum Urban-Hub
- Abbildung 7.2: Bewertung der CO₂-Emissionen im Verhältnis zu den beförderten Paletten
- Abbildung 7.3: Routenvariante Rosensteinquartier
- Abbildung 7.4: Sensitivitätsanalyse; Änderung der Investitionssumme
- Abbildung 7.5: Sensitivitätsanalyse; Änderung der Betriebskosten
- Abbildung 7.6: Sensitivitätsanalyse; Änderung des Preises pro Palette
- Abbildung 7.7: Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens
- Abbildung 7.8: Prognose des Güterverkehrsaufkommens
- Abbildung 10.1: Säulenmodell und die Zuordnung der Arbeitspakete der Ausschreibung
- Abbildung 10.2: Untersuchungsgebiet der Machbarkeitsstudie – Skizzierung der MG und des Einzugsgebiets
- Abbildung 10.3: Ergebnisse der Bewertung möglicher Standorttypen für City-Hubs
- Abbildung 10.4: Fragebogen zur Abfrage des Anlieferverhaltens im Handel

Abbildung 10.5: Fragebogen zur Abfrage des Anlieferverhaltens in der Industrie

Abbildung 10.6: Fragebogen zur Abfrage des Anlieferverhaltens in der KEP-Branche

Abbildung 10.7: Logo der FC-Gruppe

Abbildung 10.8: Logo des IFL am KIT

Abbildung 10.9: Logo der Hochschule für Technik Stuttgart

Abbildung 10.10: Logo der Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

V. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Ergebnisse des Verkehrsmodells

Tabelle 2-2: Jährlicher Güterverkehr am KR

Tabelle 2-3: Jährlicher Güterverkehr abzgl. Leerfahrten, Handwerker- und Umzugsverkehr sowie Durchfahrten

Tabelle 2-4: Relevanter jährlicher Güterverkehr abzüglich nicht relevanter Branchen für das UWT-System

Tabelle 2-5: Ergebnis des Abnehmermodells für das Einzugsgebiet

Tabelle 2-6: Relevante Abnehmer der Einzelhandelsbranche innerhalb des Einzugsgebiets

Tabelle 2-7: Gegenüberstellung der relativen Anteile des Güteraufkommens aus dem Abnehmermodell und der KBA-Güterstatistik

Tabelle 2-8: Ergebnisse der Palettenanzahl in Abhängigkeit vom zugrunde liegenden Modell

Tabelle 3-1: Kriterien für die Bewertung der Urban-Hub-Standorte

Tabelle 3-2: Auflistung der betrachteten Urban-Hub-Standorte

Tabelle 3-3: Bewertungsergebnisse Urban-Hubs

Tabelle 3-4: Kriterien und Literaturnachweis

Tabelle 3-5: Ergebnis der City-Hub-Standortplanung ohne Einschränkungen der Trassenplanung

Tabelle 3-6: Ergebnis der City-Hub-Standortplanung unter Berücksichtigung ausgewählter Standorte

Tabelle 3-7: Bewertung der Trassenalternativen

Tabelle 3-8: Überblick über ausgeschlossene und ausgewählte City-Hubs

Tabelle 4-1: Relevante Förderhilfsmittel im deutschen Handel

Tabelle 4-2: Übersicht relevanter Anbieter zum Warentransport in Röhren

Tabelle 4-3: Liste der K.-o.-Kriterien für die Horizontalförderer

Tabelle 4-4: Ergebnis der Nutzwertanalyse für Horizontalförderer

Tabelle 4-5: Grundlegende technische Daten der Horizontalförderer

Tabelle 4-6: Investitionskosten der Horizontalförderer

Tabelle 4-7: Operative Kosten der Horizontalförderer

Tabelle 4-8: Grundlegende technische Daten der Vertikalförderer

Tabelle 4-9: Investitionskosten der Vertikalförderer

Tabelle 4-10: Betriebskosten der Vertikalförderer

Tabelle 4-11: Größen zur Bestimmung der Prozesszeiten der Fördertechnik

Tabelle 4-12: Ergebnisse des Palettenaufkommens

- Tabelle 4-13: Ergebnisse der Auslegung des Materialflusssystemes
- Tabelle 4-14: Grenzdurchsatzberechnung für die Horizontalförderer
- Tabelle 5-1: Kostenschätzung V1 (Innendurchmesser: 4,5 m), unterer Grenzwert
- Tabelle 5-2: Kostenschätzung V1 (Innendurchmesser: 4,5 m), oberer Grenzwert
- Tabelle 5-3: Kostenschätzung V2 (Innendurchmesser: 5,9 m), unterer Grenzwert
- Tabelle 5-4: Kostenschätzung V2 (Innendurchmesser: 5,9 m), oberer Grenzwert
- Tabelle 5-5: Kostenschätzung für den Anschluss eines City-Hubs
- Tabelle 5-6: Grobabschätzung Bauzeit des Tunnels
- Tabelle 6-1: Anzahl der Selektionen durch die Experten pro Stakeholdergruppe
- Tabelle 7-1: Betreibermodelle
- Tabelle 7-2: Verteilung der relevanten Fahrten des Straßengüterverkehrs auf die Zählstellen
- Tabelle 7-3: CO₂e-Ausstoß SB1 und SB2 (Ist)
- Tabelle 7-4: CO₂e-Ausstoß SB1 und SB2 (Soll) durch die Umwege zum UWT-System
- Tabelle 7-5: Ermittelte Baustoffmengen beim Bau des Tunnels
- Tabelle 7-6: CO₂e-Bemessungen für den Bau des Tunnels
- Tabelle 7-7: Zusammenfassung der CO₂e-Bemessungen
- Tabelle 7-8: Übersicht der Input-Faktoren
- Tabelle 7-9: Input für die quantitative Bewertung
- Tabelle 7-10: Übersicht der Einzelinvestitionskosten
- Tabelle 7-11: Darstellung der Investitionskosten
- Tabelle 7-12: Übersicht der Betriebskosten
- Tabelle 7-13: Darstellung der jährlichen Betriebskosten
- Tabelle 7-14: Ergebnis der Break-even-Berechnung je Betrachtungszeitraum
- Tabelle 7-15: Zusätzliche Kosten für die Anbindung des Rosensteinquartiers
- Tabelle 7-16: Auswirkung der Variation des Handwerker- und Umzugsverkehrs (vertikal) sowie des Durchfahrtverkehrs (horizontal) auf die erwartete tägliche Palettenanzahl
- Tabelle 7-17: Auswirkung der Variation der relevanten Branchen (vertikal) sowie der gesamten Güterverkehrszahlen (horizontal) auf die erwartete tägliche Palettenanzahl
- Tabelle 7-18: Einfluss der Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens auf das Mengengerüst des UWT-Systems
- Tabelle 10-1: Ermittelte Standortmöglichkeiten für City-Hubs
- Tabelle 10-2: Überblick über ausgeschlossene und ausgewählte City-Hubs
- Tabelle 10-3: Leitfaden Interviews Stakeholdermanagement

Tabelle 10-4: Bewertung Urban-Hub-Standorte

Tabelle 10-5: Nutzwertanalyse zur Vorauswahl der Horizontalförderer

Tabelle 10-6: Kostenschätzung Horizontalförderer

Tabelle 10-7: Kostenschätzung Vertikalförderer

Tabelle 10-8: Kostenschätzung Lastübergabe

Tabelle 10-9: Anwendung Münchner Verfahren zur Grundstücksunterfahrung

Tabelle 10-10: Ergebnis des Abnehmermodells inklusive MG

VI. Abkürzungsverzeichnis

ABBV	Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Customer
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BIEK	Bundesverband Paket und Expresslogistik e.V.
CCG	Centrale für Coorganisation
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN 276	DIN-Norm „Kosten im Hochbau“
EUL	Efficient Unit Load
FTL	Full Truck Load
FTS	Fahrerloses Transportsystem
KEP	Kurier-, Express- und Paketdienste
KGr	Kostengruppe (gemäß DIN 276)
KR	Kesselrand
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
Lfw	Lieferwagen
LHS	Landeshauptstadt Stuttgart
LTL	Less Than Truck Load
Lkw	Lastkraftwagen
LR	Lastenrad
Lzg	Lastzüge
MG	Markungsgrenze
NST-2007	Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport
OSM	OpenStreetMap
PfA	Planfeststellungsabschnitt
PPP	Public Private Partnership
S21	Stuttgart 21
UWT	Unterirdischer Warentransport

1. Konzept Einführung und Vorgehen der Studie

1.1 Vorstellung des Konzepts eines unterirdischen Waren-transportsystems

Durch die wachsende Globalisierung und zunehmende Bevölkerungsdichte steigt u. a. der Güterverkehr im urbanen Raum. Insbesondere für Städte wie Stuttgart mit begrenztem verfügbarem Raum wird der Güterverkehr zunehmend zum Problem (Oehler et al. 2014). In diesem Zusammenhang werden alternative Logistiklösungen gesucht, die vor allem mit den Bedürfnissen der Bevölkerung und der Umwelt im Einklang stehen (Maier-Geißer und Leyva 2017). Ein System für den unterirdischen Warentransport (UWT) in Städten könnte eine dieser alternativen Logistiklösungen sein (LHS 2018). Erste UWT-Systeme wurden bereits Mitte des 19. Jahrhunderts in London, Berlin und Paris eingeführt. Sie bestanden aus Rohrleitungen, durch die Telegramme und Briefe befördert wurden. Echte Tunnelsysteme kamen zu Beginn des 20. Jahrhunderts erstmals in Chicago zum Transport von Kohle und Abfall zum Einsatz (Cui und Nelson 2019). Die Idee eines UWT-Systems zur Überbrückung der vorletzten und letzten Distributionsstufe in urbanen Regionen wurde in den letzten Jahren wiederholt aufgegriffen und war Gegenstand von Studien. So wurde bspw. seit dem Jahr 1998 an der Ruhr-Universität Bochum ein UWT-System namens ‚CargoCap‘ konzipiert und aus technischer, ökonomischer, ökologischer sowie juristischer Sicht bewertet. Seitdem wurde dieses System bis zur Einsatzreife weiterentwickelt (Stein und Schoesser 2003). Für die Stuttgarter Innenstadt soll ein UWT-System zur Ver- und Entsorgung geprüft werden, in dem Güter bspw. autonom und vollautomatisch zwischen den Knoten eines Transportnetzes transportiert werden.

Abbildung 1.1 veranschaulicht das logistische Konzept des UWT-Systems und verdeutlicht, wie dieses in die bestehenden transportlogistischen Prozesse integriert werden kann. Derzeit werden die Güter per Lkw oder Lieferwagen (Lfw) direkt in die Innenstadt geliefert und dort bei den entsprechenden Abnehmern bzw. Kunden umgeschlagen. Mithilfe des UWT-Systems soll dieser Schwerlasttransport am Rande der Stadt gebündelt und in den Untergrund verlagert werden. Dazu werden die Güter vom Schwerlasttransporter an einem Güterverteilzentrum – im Folgenden ‚Urban-Hub‘ genannt – am Rande der Stadt umgeschlagen und (optional) zwecks Konsolidierung zwischengelagert. Anschließend werden die Güter für den Weitertransport in das unterirdische horizontale Fördersystem umgeschlagen. Grundsätzlich entspricht die Logik am Urban-Hub der Logik des ‚Crossdocking‘, bei dem die Güter nicht gelagert, sondern direkt umgeschlagen und zum Kunden versandt werden (Arnold et al. 2008). Die Güter werden dann an ein kleines innerstädtisches Verteilzentrum geliefert – im Folgenden ‚City-Hub‘ genannt –, wo sie ebenfalls ohne Lagerung im Sinne der Feinverteilung direkt auf ein elektrisches Lastenfahrrad (E-LR) bzw. einen E-Lieferwagen (E-Lfw) oder E-Scooter umgeschlagen werden. Diese befördern die Güter schließlich auf der ‚letzten Meile‘ zum Endkunden bzw. Abnehmer des UWT-Systems – im Folgenden ‚Abnehmer‘ genannt (siehe Abbildung 1.1).

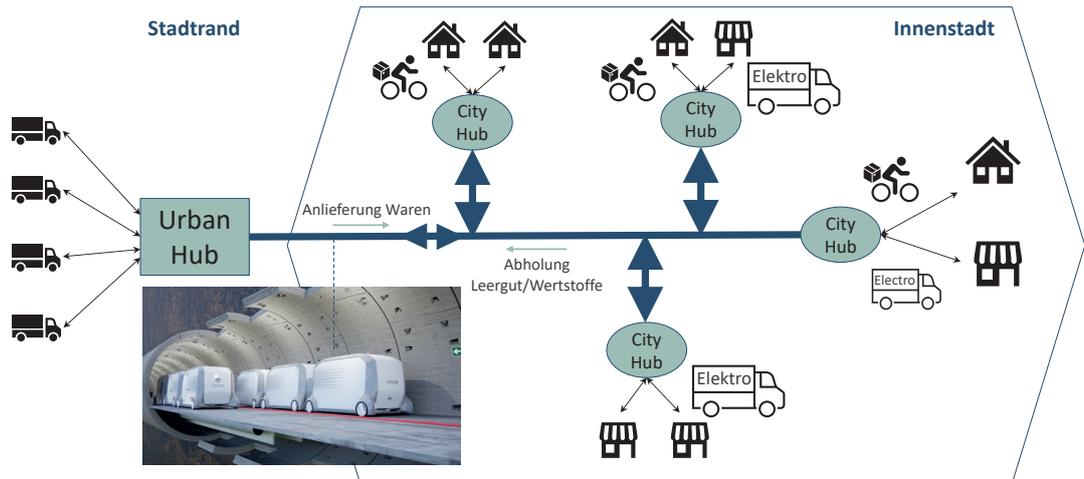


Abbildung 1.1: Konzeptionelle Darstellung des UWT-Systems

Für die Akzeptanz des Systems ist von entscheidender Bedeutung, dass der Endkunde durch das UWT-System nicht schlechter gestellt wird. Das bedeutet, dass das Service-Level bzgl. der Liefertreue mindestens erreicht werden muss. Darin besteht die wesentliche logistische Herausforderung des UWT-Systems, da der Lieferkette je nach aktuellem Lieferkonzept zwei bis drei zusätzliche Umschlagspunkte hinzugefügt werden. Diese führen zu zusätzlichem logistischem Aufwand. Dies bedeutet, die logistischen Prozesse müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass es zu keiner Verzögerung und damit zu keinen Mehrkosten kommt. Das betrifft den Umschlag von Lfw, Lkw oder Lastzügen (Lzg) am Urban-Hub, den Umschlag vom Urban-Hub auf den Horizontalförderer im Tunnel sowie den Umschlag vom Horizontalförderer auf die E-Lfw und E-LR in der Feinverteilung. Entscheidend ist hier die IT-seitige Verknüpfung der unterschiedlichen Elemente vor und nach den Umschlagspunkten zur effizienten Steuerung des gesamtlogistischen Prozesses. Ein beispielhafter Prozessablauf ist im Folgenden dargestellt:

1. Eingang der Kundenbestellung.
2. Übermittlung der Lieferbedingungen an die UWT-Leitstelle und Übersetzung in logistische Zielgrößen (Zielort, Lieferdatum, Menge).
3. Anlieferung der Ware am Urban-Hub.
4. Zwischenlagerung und Konsolidierung der Ware im Urban-Hub; Bestimmung des Ziel-City-Hubs und Sortierung der Waren je City-Hub.
5. Umschlag auf den Horizontalförderer in der Röhre.
6. Direkter Umschlag auf das Fahrzeug in der Feinverteilung ohne geplante Zwischenlagerung.
7. Auslieferung der Güter zum Endkunden.

Mit dem „Verkehrsentwicklungskonzept 2030“ (Oehler et al. 2014) und dem Bündnis „Stuttgart lauft nai“ (Stuttgart lauft nai 2017), das am 26. Juli 2017 zum Zielbeschluss des Gemeinderats zum Antrag „Eine lebenswerte Stadt für alle“ führte, wurde bereits die Notwendigkeit alternativer City-Logistikkonzepte zur Güterversorgung Stuttgarts zum Ausdruck gebracht. Das vorgestellte Logistikkonzept eines UWT-Systems steht im Einklang mit wesentlichen Aspekten dieser Beschlüsse, wie der Bündelung von Lieferungen, der Förderung von E-LR im Lieferverkehr sowie der Umnutzung von Parkhäusern.

1.2 Vorgehensweise der Studie

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie werden mögliche Lösungsansätze erarbeitet. Dabei stehen neben einer technischen Umsetzbarkeit auch wirtschaftliche und ökologische Betrachtungen im Fokus der Untersuchung. Diese entscheiden maßgeblich darüber, ob eine weitere Planung des UWT-Systems in der LHS in Betracht gezogen werden sollte. Das Ziel ist dabei, auf Basis einer Ist-Analyse Modelle und Werkzeuge zu entwickeln, damit die genannten Aspekte quantifiziert und bewertet werden können. Dazu zählen u. a. Instrumente zur Abschätzung des Güteraufkommens, zur Kostenbemessung und zur Auslegung des Materialflusssystems sowie der eingesetzten Systemkomponenten.

Die Aufgabengebiete der Machbarkeitsstudie sind in einem Säulenmodell dargestellt (vgl. Abbildung 1.2), wobei die einzelnen Bausteine des Säulenmodells in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden. Eine thematische Zuordnung der in der Ausschreibung genannten Arbeitspakete kann dem Anhang entnommen werden (siehe Abbildung 10.1).



Abbildung 1.2: Säulenmodell

2. Ist-Situation in Stuttgart – Transportaufkommen und Abnehmermodell

2.1 Problemstellung der Erfassung des Güterverkehrs

Ein wesentlicher Aspekt bei der Analyse des UWT-Systems ist die mengenmäßige Erfassung des aktuellen Güterverkehrs in der Landeshauptstadt Stuttgart (LHS). Diese Gütermenge ist bedeutend für die Auslegung der logistischen Elemente im System und entscheidet letztlich auch über die ökonomische und ökologische Sinnhaftigkeit. Die Herausforderung besteht darin, die für das UWT-System relevanten Güterbewegungen und die dazugehörigen Abnehmer zu identifizieren. Dabei ist ausschlaggebend, ob die jeweiligen Güter palettierbar sind und welchen Anteil am Gesamtgüteraufkommen diese Gütermengen ausmachen.

Derzeit werden die Güterbewegungen in der LHS nicht zentral erfasst. Aus diesem Grund werden in der Studie Ansätze erarbeitet, damit auf Basis der vorhandenen Daten auf die relevante Gütermenge geschlossen werden kann. Anschließend kann u. a. aus der Identifikation der Abnehmer und ihrer geografischen Lagen die Anzahl der Verteilzentren bestimmt und die Standortplanung vorgenommen werden. In diesem Zuge wird in der Studie ein Abnehmermodell zur Ermittlung der Abnehmer und ihrer geforderten Liefermengen entwickelt.

2.2 Zielsetzung der Ist-Analyse

Im Rahmen der Ist-Analyse sollen das relevante Güteraufkommen und die Abnehmer des Untersuchungsgebiets bestimmt werden; sie dienen als Eingangsgrößen für die Standortplanung. Hierbei ist die durchschnittliche Palettenanzahl pro Abnehmer pro Jahr und pro Tag das Ergebnis der Untersuchung und dient als Eingangsgröße für eine anschließende Materialflussplanung.

Die Ermittlung des relevanten Güteraufkommens wird vom Güterverkehr abgeleitet. Dazu wird ein Verkehrsmodell aufgestellt. In einem Abnehmermodell werden die Abnehmer hinsichtlich ihrer Standorte, ihrer Branche, ihres Sortiments und ihrer Liefermenge charakterisiert. Die Liefermenge wird in diesem Zusammenhang als Gewichtung der Abnehmer festgelegt. Damit kann gewährleistet werden, dass im Rahmen der Standortplanung der City-Hubs jene bevorzugt werden, die eine geringe Distanz zu den Abnehmern mit dem größten Lieferaufkommen besitzen.

Die Ist-Analyse findet im Rahmen des Untersuchungsgebiets statt. Dieses ist durch die Gemarkungsgrenze (MG) der LHS begrenzt (siehe Abbildung 10.2). Allerdings beschränkt sich die weitere Verarbeitung der Daten aus der Ist-Analyse auf das Einzugsgebiet des UWT-Systems. Das Einzugsgebiet beschreibt das Gebiet, innerhalb dessen Abnehmer mit Waren aus dem UWT-System beliefert werden. Es ist in Form der roten Umrahmung in Abbildung 2.1 dargestellt und orientiert sich an der als ‚Kesselrand‘ (KR) bezeichneten Stadtgrenze. Ausschlaggebend ist die Vorgabe seitens der LHS, den erweiterten innerstädtischen Bereich mit dem UWT-System zu bedienen. Ziel des Systems ist die Überbrückung der ‚vorletzten Meile‘ innerhalb der MG. Zunächst wird hierfür der Güterverkehr stadteinwärts berücksichtigt.

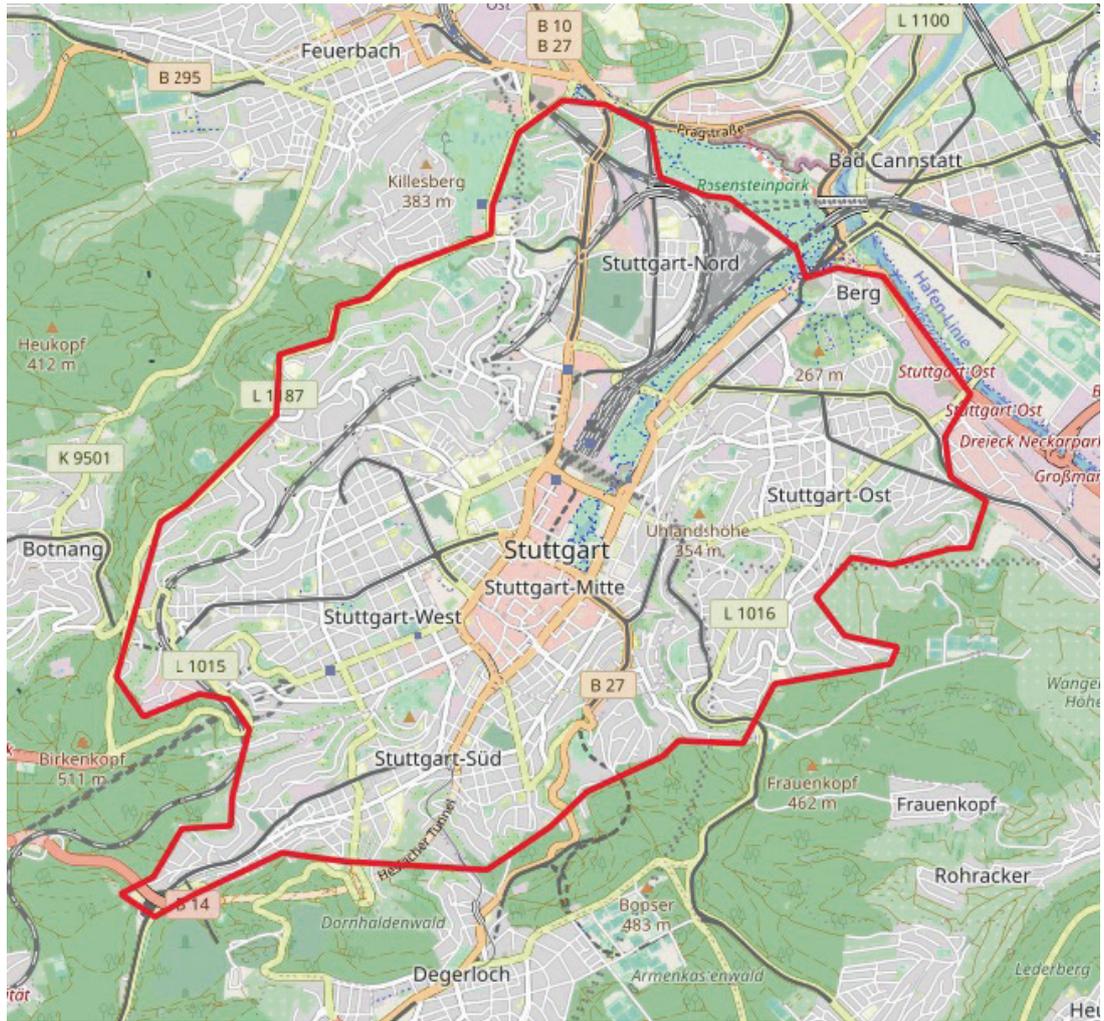


Abbildung 2.1: Das Einzugsgebiet des UWT-Systems

2.3 Vorgehensweise und Methodik der Ist-Analyse

2.3.1 Vorgehensweise

Bei der Ist-Analyse werden zunächst die relevanten Branchen nach der europäischen Systematik Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport (NST-2007) identifiziert (Statistisches Bundesamt 2008). Eine Branche gilt hierbei als relevant, sofern die Ware palettiert werden kann. Darauf aufbauend werden zwei unterschiedliche Ansätze zur Modellierung des Ist-Zustands bzgl. der Gütertransporte zugrunde gelegt. Im ersten Ansatz (Verkehrsmodell) wird ein Mengengerüst der transportierten Güter in der LHS erstellt. Der zweite Ansatz (Abnehmermodell) behandelt die Erfassung der Kundenstruktur des UWT-Systems anhand der Standorte, der Branche und der Gütermenge. Beide Ansätze lassen sich durch folgende Fragestellungen unterscheiden:

Verkehrsmodell

1. Wie groß ist das relevante Güterverkehrsaufkommen in Stuttgart?
2. Wie lässt sich der Güterverkehr klassifizieren?
3. Welche potenziellen Gütermengen ergeben sich für das UWT-System?

Abnehmermodell

1. Wie sind die Abnehmer des UWT-Systems in Stuttgart kategorisiert?
2. Wo sind die Abnehmer in Stuttgart lokalisiert?

3. Wie sind die Abnehmer hinsichtlich der Liefermengen gewichtet?

Im Anschluss werden die Ergebnisse beider Vorgehensweisen im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung miteinander verglichen. Die gewonnenen Daten bilden dann die Eingangsgrößen für die Standort- und Materialflussplanung.

2.3.1.1 Vorgehensweise Verkehrsmodell

Die Grundlage für das Verkehrsmodell sind die einmal im Jahr stattfindenden 24-stündigen Verkehrszählungen der LHS an den Straßen, die die MG kreuzen, und an den Straßen, die den KR kreuzen. Für die Zählungen an der MG wird auf die Daten der Verkehrszählung vom 16.10.2018 zurückgegriffen. Diese beruhen auf den Datensätzen von 44 Zählstellen. Für die Zählungen am KR wird auf die Daten der Verkehrszählung vom 23.05.2019 zurückgegriffen. Diese beruhen auf den Datensätzen von 21 Zählstellen. Die Datensätze sind nach Fahrzeugklassen unterteilt und werden mithilfe der Informationen aus den nahegelegenen automatischen Zählstellen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf die jährliche Gesamtgüterverkehrsbelastung hochgerechnet. Für die Hochrechnung werden die Daten der automatischen Zählstellen in Echterdingen, Hedelfingen, Kornwestheim und Zuffenhausen verwendet. Anschließend wird der für das UWT-System relevante Anteil abgeleitet, woraus sich die zu erwartende Gütermenge näherungsweise ermitteln lässt. Durch die Kombination der Informationen aus zwei unterschiedlichen unabhängigen Datentöpfen können die Schwachpunkte der einzelnen Datentöpfe ausgeglichen werden. Im Anschluss wird der für das UWT-System nicht relevante Anteil des ermittelten Güterverkehrs (nicht relevante Branchen, Handwerker- und Umzugsverkehr, Durchfahrtverkehr, Leerfahrten) abgezogen. Anhand des reduzierten Güterverkehrs kann schließlich die erwartete Gütermenge abgeschätzt werden.

2.3.1.2 Vorgehensweise Abnehmermodell

Mithilfe der OpenStreetMap-Datenbank (OSM) werden zu Beginn alle Abnehmer im Einzugsgebiet zusammengefasst. Die gesammelten Informationen beinhalten die Zuordnung des Abnehmers zu einer Branche und dessen Standort. Anschließend werden diese Daten um die Informationen bzgl. des Sortiments und der umgeschlagenen Gütermenge ergänzt. Das Modell liefert somit eine Datenbank aller potenziellen Abnehmer des UWT-Systems sowie deren Standorte und relative Gewichtung in Relation zur Gütermenge als Ergebnis.

2.3.2 Methodik

Das übergeordnete methodische Vorgehen ist in Abbildung 2.2 in Form eines Flussdiagramms dargestellt. Die bereits in Kapitel 2.3.1 beschriebenen parallelen Ansätze des Verkehrs- und Abnehmermodells sind hier abgebildet. Im Folgenden wird beschrieben, nach welcher Methodik die relevanten Branchen identifiziert werden, wie die Kundenstruktur bestimmt wird und auf welche Weise die Ermittlung der resultierenden Gütermenge erfolgt.

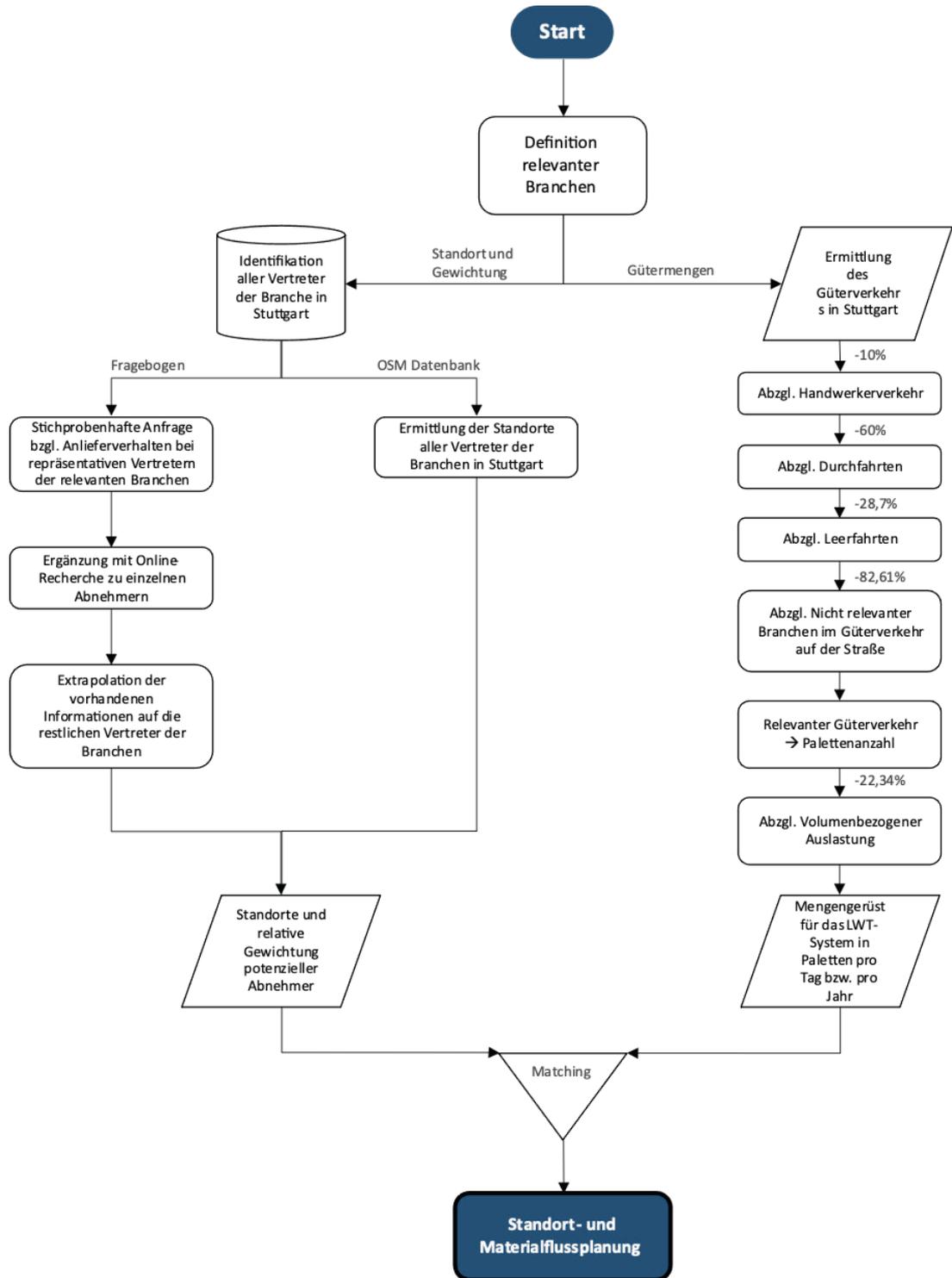


Abbildung 2.2: Methodisches Vorgehen zur Ist-Analyse

2.3.2.1 Definition relevanter Branchen

Relevante Branchen im Verkehrsmodell

Für das Verkehrsmodell werden die relevanten Branchen anhand der vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) verwendeten Gliederung nach NST-2007 abgeleitet. Unter Berücksichtigung der Bedingung, dass nur Branchen als relevant eingestuft werden, die palettierbare Güter transportieren, wird eine Auswahl getroffen. Von insgesamt 20 NST-2007-Abteilungen werden 6 als potenziell relevant klassifiziert. Diese 6 Abteilungen bestehen wiederum aus 32 NST-2007-Gruppen, von denen 26 als relevant (palettierbare Güter) eingestuft werden. Damit werden von insgesamt 81 NST-2007-Gruppen 26 Gruppen für die weiteren Ergebnisse

dieser Studie berücksichtigt.

Es ergeben sich folgende relevante Branchen (Statistisches Bundesamt 2008):

- „Nahrungs- und Genussmittel (04)“;
- „Textilien und Bekleidung; Leder- und Lederwaren (05)“;
- „Papier, Pappe und Waren daraus (06.2)“;
- „Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger (06.3)“
- „Pharmazeutische und parachemische Erzeugnisse einschließlich Pestizide und andere agrochemische Erzeugnisse (08.5)“;
- „Gummi- oder Kunststoffwaren (08.6)“;
- „Maschinen und Ausrüstungen a. n. g.; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen; Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung u. Ä.; Nachrichtentechnik, Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie elektronische Bauelemente; medizin-, mess-, steuerungs- und regelungstechnische Erzeugnisse; optische Erzeugnisse; Uhren (11)“ und
- „Post, Pakete (15)“.

Relevante Branchen im Abnehmermodell

Aus der oben vorgenommenen Selektion der relevanten Branchen nach NST-2007 werden folgende Branchen als mögliche Abnehmer des UWT-Systems abgeleitet:

- Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP),
- verarbeitende Industrie,
- Bau und
- stationärer Einzelhandel (Supermärkte, Drogerien, Kaufhäuser, Baumärkte, Kleidungsgeschäfte, Schuhgeschäfte, Handwerksläden, Haushaltswarengeschäfte, Elektromärkte, Getränkemärkte).

2.3.2.2 Methodik des Verkehrsmodells

Die methodische Vorgehensweise zur Bestimmung des Güterverkehrs im Verkehrsmodell ist Abbildung 2.4 zu entnehmen. Als Grundlage werden die Ergebnisse der Verkehrszählungen der LHS herangezogen. Abbildung 2.3 veranschaulicht die Ergebnisse der Verkehrszählung der LHS am KR bzgl. des Güterverkehrs. Das relative Verkehrsaufkommen an den Zählstellen ist vereinfacht durch die Breite des entsprechenden Pfeils dargestellt. Anhand der Abbildung ist zu erkennen, dass ein großer Teil des ein- bzw. ausgehenden Güterverkehrs über die Canstatter Straße im Nordosten verläuft. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1.1 beschrieben, stellen diese Daten jedoch nur eine Stichprobe dar; aus diesem Grund wurden die Daten der automatischen BAST-Zählstellen zur Extrapolation der Verkehrsdaten auf ein ganzes Jahr in die Betrachtung aufgenommen. Aus den vier BAST-Zählstellen wurde eine gemittelte, prozentuale Verteilung des Güterverkehrs in Bezug auf die Wochentage und die jeweiligen Kalenderwochen berechnet. Anhand dieser Verteilungen wurden die jeweiligen Verkehrszählungsergebnisse ins Verhältnis gesetzt und somit auf das gesamte Jahr hochgerechnet. Die Fahrzeugklassifizierung entspricht der Verkehrszählung der BAST-Zählstellen und umfasst die nachfolgenden Kategorien:

- Lfw: Lieferwagen/Transporter mit einer Nutzlast von 2,8 bis 3,5 t,
- Lkw: Lastkraftwagen mit einer Nutzlast von > 3,5 t ohne Anhänger und
- Lzg: Sattelzüge sowie Lkw mit Anhänger.

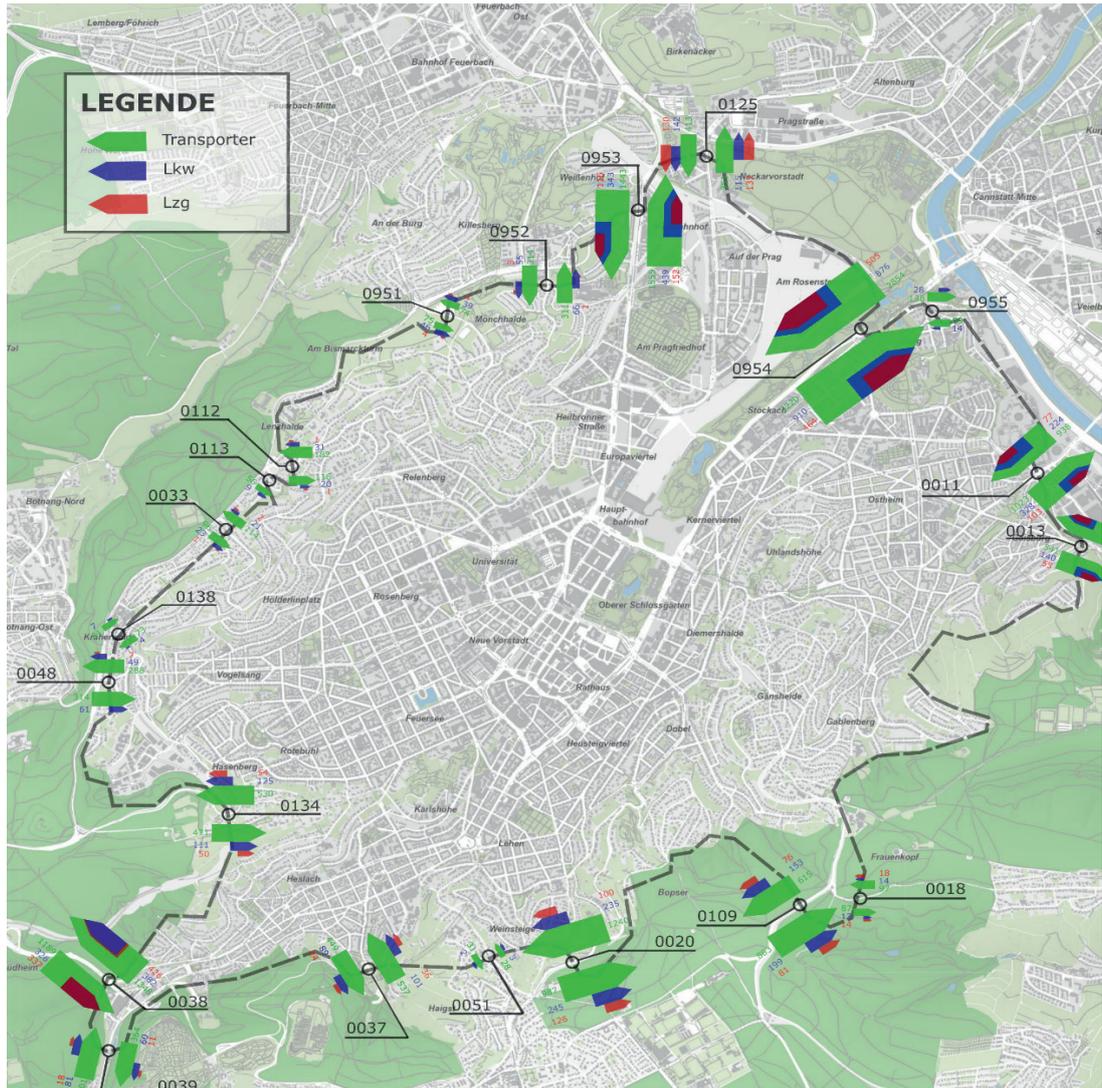


Abbildung 2.3: Visualisierung des Ergebnisses der Verkehrszählungen der LHS am KR bzgl. des Güterverkehrs

Im Anschluss daran wird der nicht relevante Güterverkehr vom Gesamtgüterverkehr subtrahiert. Als Ergebnis erhält man den Verkehr, der durch das UWT-System substituiert werden kann. Zu den nicht relevanten Anteilen zählen die folgenden Kategorien:

- Handwerker- oder Umzugsverkehr
 - Bis zum Veröffentlichungsdatum der Studie lagen keine Daten vor, die eine fundierte Bestimmung des Anteils von Handwerker- oder Umzugsverkehr am Gesamtverkehr zulassen. Aus diesem Grund wurde eine Abschätzung durch Experten auf einen Anteil von 10 % vom Schwerlastverkehr vorgenommen.
- Durchfahrtverkehr
 - Beim Durchfahrtverkehr passieren die Fahrzeuge das betrachtete Gebiet ohne Lieferabgabe. Der Anteil des Durchfahrtverkehrs wird unter Berücksichtigung der Datenanalysen des Fraunhofer IAO basierend auf einer Inrix-Datenbank auf 60 % des gesamten Güterverkehrsinnerhalb des Einzugsgebiets geschätzt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass dieser Wert lediglich für eine Einfahrt am KR (Cans-tatter Straße) überprüft wurde. Als Durchfahrtverkehr werden hierbei alle Touren gewertet, die keinen Stopp innerhalb des Einzugsgebiets aufweisen.
- Leerfahrten
 - Laut KBA liegt dieser Wert bei 28,4 % des gesamten Güterverkehrs in Deutschland und bezieht sich auf den Anteil der Leerkilometer gegenüber den Lastkilo-

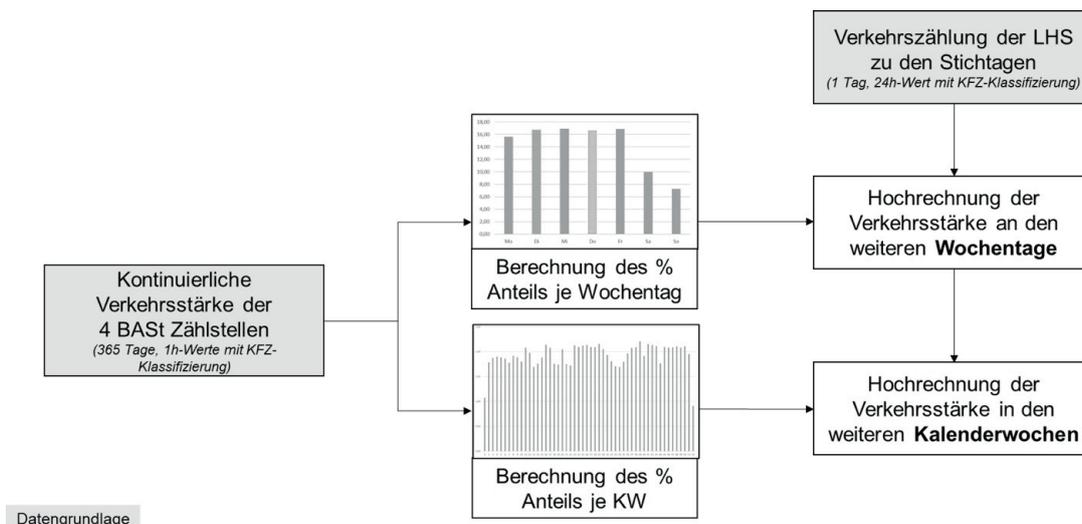
metern im Jahr 2020 (Kraftfahrt-Bundesamt 2021).

Es zeigt sich, dass in Kombination mit der Güterverkehrsstatistik des KBA für das Jahr 2019 (Kraftfahrt-Bundesamt 2020) generell 17,58 % des Güterverkehrs für das UWT-System relevant sind. Hierbei wird die Anzahl der Fahrten der jeweiligen Branchen ins Verhältnis gesetzt und nicht die geförderte Gütermenge. Dies würde zur Folge haben, dass der Gütertransport von Branchen mit Stück- und Volumengütern unterschätzt wird.

Der verbleibende Anteil wird nun genutzt, um die zu erwartende Gütermenge für das UWT-System näherungsweise zu ermitteln. Hierzu wird eine maximale Beladung in Form von Paletten in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse angenommen:

- Lfw: 4 Paletten,
- Lkw: 17 Paletten und
- Lzg: 35 Paletten.

Weiterhin werden eine durchschnittliche Auslastung der Gütertransporte und eine Sechstagewoche (Montag bis Samstag) berücksichtigt, um die finale Palettenanzahl zu erhalten. Es ist dabei zu beachten, dass durch den Transport von Stückgut auf Paletten eine volumenbezogene Auslastung gesucht wird. Zu deren Ermittlung wird die Verkehrsstatistik des KBA zur Güterbeförderung nach genutztem Rauminhalt herangezogen (Kraftfahrt-Bundesamt 2020). Bei Annahme eines Mittelwerts des genutzten Rauminhalts ergibt sich eine durchschnittliche volumenbezogene Auslastung von 77,66%.



Datengrundlage

Abbildung 2.4: Vorgehensweise der Hochrechnung der Verkehrsstärke

2.3.2.3 Methodik des Abnehmermodells

Zur Erstellung des Abnehmermodells werden zunächst alle Abnehmer von Gütern der relevanten Branchen ermittelt. Ausschlaggebend ist dabei der Ort des ersten Güterumschlags innerhalb der Stadtgrenzen. Im Anschluss daran werden die Gewichtungen der Abnehmer auf Basis der umgeschlagenen Gütermenge bestimmt. Je nach Branche werden für die Identifikation der Abnehmer unterschiedliche Ansätze verfolgt. Diese sind nachgehend aufgelistet.

Verarbeitende Industrie

Für diese Branche werden ausschließlich drei große Industrieunternehmen in der LHS betrachtet. Andere Vertreter werden hingegen vernachlässigt, da für sie keine verwertbaren Daten vorliegen. Die Informationen bzgl. des Güterumschlags entstammen

einer Datenerhebung durch die Beantwortung von Fragebögen (siehe Abbildung 10.4 bis Abbildung 10.6 im Anhang).

KEP

Für die KEP-Branche wird angenommen, dass sich die Lieferungen in Business-to-Customer (B2C) und Business-to-Business (B2B) unterteilen lassen. Für den B2C-Bereich werden die KEP-Sendungen pro Einwohner mithilfe der Einwohnerzahl der jeweiligen Stadtteile aggregiert. Die KEP-Sendungen pro Kopf pro Jahr lagen nach den Angaben des Bundesverbands Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) in Stuttgart im Jahr 2016 bei insgesamt 60 bzw. 1,2 % des gesamten KEP-Sendungsvolumens in Deutschland (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) und KE-CONSULT Kurte&Esser GbR 2018). In Anbetracht des positiven Trends der KEP-Sendungen wurde dieser Wert für das Jahr 2019 angepasst. Das KEP-Sendungsvolumen in Deutschland lag 2019 um 15,5 % höher als im Jahr 2016. Dies entspricht jährlich 71 Paketen pro Kopf. Als Standort des Umschlags der Lieferungen wird in einer Näherung der Flächenschwerpunkt der Wohngebiete abgeschätzt.

Da sich der B2B-Bereich hauptsächlich aus den Vertretern des stationären Einzelhandels in Stuttgart zusammensetzt, wurde der B2B-Anteil der KEP-Lieferungen von der Pro-Kopf-Menge abgezogen, um eine doppelte Berechnung zu vermeiden. Laut einer Studie des BIEK liegt der B2B-Anteil der gesamten KEP-Sendungen bei ca. 25 % (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) und KE-CONSULT Kurte&Esser GbR 2021). Entsprechend wird im Modell mit 53 Paketen pro Kopf im Jahr gerechnet.

Auf Basis der Informationen eines führenden KEP-Unternehmens und aufgrund der Informationen aus einer Kurzstudie zu konsolidierten Zustellungen des BIEK (Bogdanski 2019) kann angenommen werden, dass ca. 140 Pakete pro Lfw transportiert werden. Bei einer Kapazität von vier Paletten für diese Fahrzeugklasse ergibt sich, dass auf einer Palette durchschnittlich 35 Pakete zusammengefasst werden können. Dies dient für den weiteren Verlauf als Referenzwert, um auf die Palettenanzahl schließen zu können.

Bau

Auf Basis der Informationen eines in Stuttgart aktiven Großbauunternehmens wird angenommen, dass 40 % der Lkw palettierte Ware zu Baustellen liefern. Unter Berücksichtigung der volumenbezogenen Auslastung der Lkw folgt daraus eine gemittelte Anzahl von täglich 5,12 Paletten pro Baustelle. Die Betrachtung aller Baustellen (abgeleitet aus LHS (2021) und LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS-AG) et al. (2021a)) in der LHS führt anschließend auf die gesamte Gütermenge und damit auf die Gewichtung der Branche ‚Bau‘. Da sich die Baustellenstandorte fortlaufend verändern, wird die ermittelte Gütermenge im Bau zur Gewichtung allen Abnehmern des Abnehmermodells standortspezifisch gleichverteilt zugerechnet.

Stationärer Einzelhandel

Mithilfe der OSM-Datenbank werden die Vertreter der relevanten Branchen des stationären Einzelhandels ermittelt. Bei einer Stichprobengröße von 64 liegt die Übereinstimmung der Daten der OSM-Datenbank mit den Daten der ‚Google Maps‘-Datenbank bei 92,2 %. Das Ergebnis zeigt, dass die Vorgehensweise gerechtfertigt ist. Für die Gewichtung der identifizierten Abnehmer aus dem stationären Einzelhandel sind erneut die jeweils am Standort umgeschlagenen Güter ausschlaggebend. Die Abschätzung des Palettenumschlags erfolgt über die Befragung von Branchenvertretern hinsichtlich des Anlieferverhaltens. Die dabei eingesetzten Fragebögen und kontaktierten Vertreter sind dem Anhang zu entnehmen. Zur Verfeinerung der Ergebnisse wird die Befragung mit Informationen aus frei zugänglichen Quellen ergänzt (vgl. Abschnitt 2.4.2).

2.3.3 Limitationen des Abnehmer- und Verkehrsmodells

Im Folgenden sind die wesentlichen Limitationen der gewählten Vorgehensweise aufgelistet:

1. Die Definition und die Unterteilung in Branchen sind für die beiden Ansätze, das Abnehmer- und Verkehrsmodell, nicht deckungsgleich. Diese Abweichung begründet sich dadurch, dass im Abnehmermodell einige berücksichtigte Abnehmer Güter unterschiedlicher Branchen umschlagen und somit eine eindeutige Zuordnung zu den NST-2007-Gruppen nicht möglich ist. Dies gilt u. a. für die Baubranche, die verarbeitende Industrie und Teile des stationären Einzelhandels.
2. Die ermittelten Verkehrsdaten stützen sich hauptsächlich auf zwei stichprobenbasierte Verkehrszählungen der LHS am KR (2019) und an der MG (2018) innerhalb eines Tages. Diese werden zur Erhöhung der Aussagekraft auf Basis der Messungen an den BAST-Zählstellen um die Wochentags- und Kalenderverteilung ergänzt.
3. Angaben bzgl. der Palettenanzahl, die aus den Rückläufern der Fragebögen abgeleitet werden, sind zum Teil nicht präzise: Nicht immer wurde nach den Fahrzeugklassen oder nach full truckload (FTL) bzw. less-than truckload (LTL) unterschieden.
4. Die Annahme bzgl. des Anteils an Handwerker- und Umzugsverkehr basiert auf einer Expertenschätzung.
5. Zwar liegen detaillierte Daten für drei wesentliche Unternehmen der verarbeitenden Industrie in der LHS vor; diese werden im weiteren Verlauf der Studie jedoch nicht berücksichtigt, da die Standorte der Unternehmen außerhalb des Einzugsgebiets liegen. Die Beschränkung auf drei Industrieunternehmen lässt sich auf die für diese Studie vorliegenden Informationen sowie die Einstufung in relevante Branchen nach dem Kriterium palettierbarer Waren (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) zurückführen.
6. Die ermittelte Anzahl an Baustellen in Stuttgart unterliegt beträchtlichen Schwankungen. Die in dieser Studie angenommene Anzahl ist demnach nur bedingt aussagekräftig, da sie nur eine zum Zeitpunkt der Studiererstellung aktuelle Momentaufnahme darstellt. In dieser Studie wird daher eine auf dem Baustellenkalender der LHS basierende Expertenschätzung herangezogen und somit der Fokus auf die Bauvorhaben gelegt, die einen direkten Einfluss auf den Verkehr haben. Für weitere Untersuchungen könnte eine Langzeitbetrachtung der Baustellen einbezogen werden.
7. Die Lieferungen der KEP-Branche im B2C-Bereich werden pro Stadtteil aggregiert. Eine genauere Aufschlüsselung hinsichtlich der Einwohnerdichte wird somit nicht vorgenommen.
8. Die Branchen der Gastronomie und Hotellerie wurden zunächst ebenfalls als relevant eingestuft, mussten jedoch aufgrund fehlender Informationen vernachlässigt werden. Die Befragung ergab keine Rückläufer, außerdem konnten auch über eingehende Recherchen keine relevanten Daten erhoben werden. Der Einbezug dieser Branchen würde das Potenzial des UWT-Systems weiter steigern.
9. Aufgrund fehlender detaillierter Informationen wird im Abnehmermodell für alle Schuhgeschäfte die gleiche Gewichtung in Bezug auf den Güterumschlag angenommen. Diese Annahme gilt in gleicher Weise für die Kleidungsgeschäfte.
10. Retouren und Lieferungen aus der Stadt hinaus werden im Rahmen dieser Studie lediglich als Potenzial berücksichtigt. Die genauere Einbeziehung und die technische Umsetzung dieser Lieferverkehre sollte Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein.

2.4 Ergebnisse des Abnehmer- und des Verkehrsmodells

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Verkehrs- und des Abnehmermodells vorgestellt.

2.4.1 Ergebnisse des Verkehrsmodells

Die Ergebnisse des Verkehrsmodells sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

Standort	Gesamtverkehr in Mio. Fahrzeuge pro Jahr	Güterverkehr in Mio. Fahrzeuge pro Jahr
MG – stadteinwärts	147,0	12,3
MG – stadtauswärts	146,6	12,7
KR – stadteinwärts	77,2	5,5
KR – stadtauswärts	78,3	5,6
City-Ring* – stadteinwärts	21,6	1,5
City-Ring* – stadtauswärts	23,1	1,7

* beruht auf den Daten von drei Messquerschnitten der LHS

Tabelle 2-1: Ergebnisse des Verkehrsmodells

Für die Berechnungen im Verkehrsmodell werden der Verkehr des Einzugsbereichs (vgl. Abschnitt 2.2) des UWT-Systems und der Verkehr innerhalb der für Einzelhandel und KEP üblichen Sechstageswoche betrachtet. Unter diesen Voraussetzungen teilt sich der jährliche Güterverkehr von Montag bis Samstag am KR wie folgt auf (I):

Kfz gesamt	Güterverkehr gesamt	% Anteil Güterverkehr ¹	Lfw	% Anteil Lfw ¹	Lkw	% Anteil Lkw ¹	Lzg	% Anteil Lzg ¹
67.910.564	5.130.763	7,56%	3.828.490	5,64%	889.209	1,31%	413.064	0,61%

¹
Gegenüber dem gesamten KFZ-Verkehr

Tabelle 2-2: Jährlicher Güterverkehr am KR

Nach Abzug der Leerfahrten, des Handwerker- und Umzugsverkehrs sowie der Durchfahrten teilt sich der jährliche Güterverkehr schließlich wie folgt auf (II):

Kfz gesamt	Güterverkehr	% Anteil Güterverkehr ¹	Lfw	% Anteil Lfw ¹	Lkw	% Anteil Lkw ¹	Lzg	% Anteil Lzg ¹
67.910.564	1.316.664	1,94%	982.472	1,45%	228.190	0,34%	106.001	0,16%

Tabelle 2-3: Jährlicher Güterverkehr abzgl. Leerfahrten, Handwerker- und Umzugsverkehr sowie Durchfahrten

Bei der Betrachtung der für das UWT-System als relevant eingestuften Branchen verbleibt schließlich folgender Güterverkehr (III):

Kfz gesamt	Güterverkehr	% Anteil Güterverkehr ¹	Lfw	% Anteil Lfw ¹	Lkw	% Anteil Lkw ¹	Lzg	% Anteil Lzg ¹
57.910.564	231.460	0,34%	172.712	0,25%	40.114	0,06%	18.634	0,03%

Tabelle 2-4: Relevanter jährlicher Güterverkehr abzüglich nicht relevanter Branchen für das UWT-System

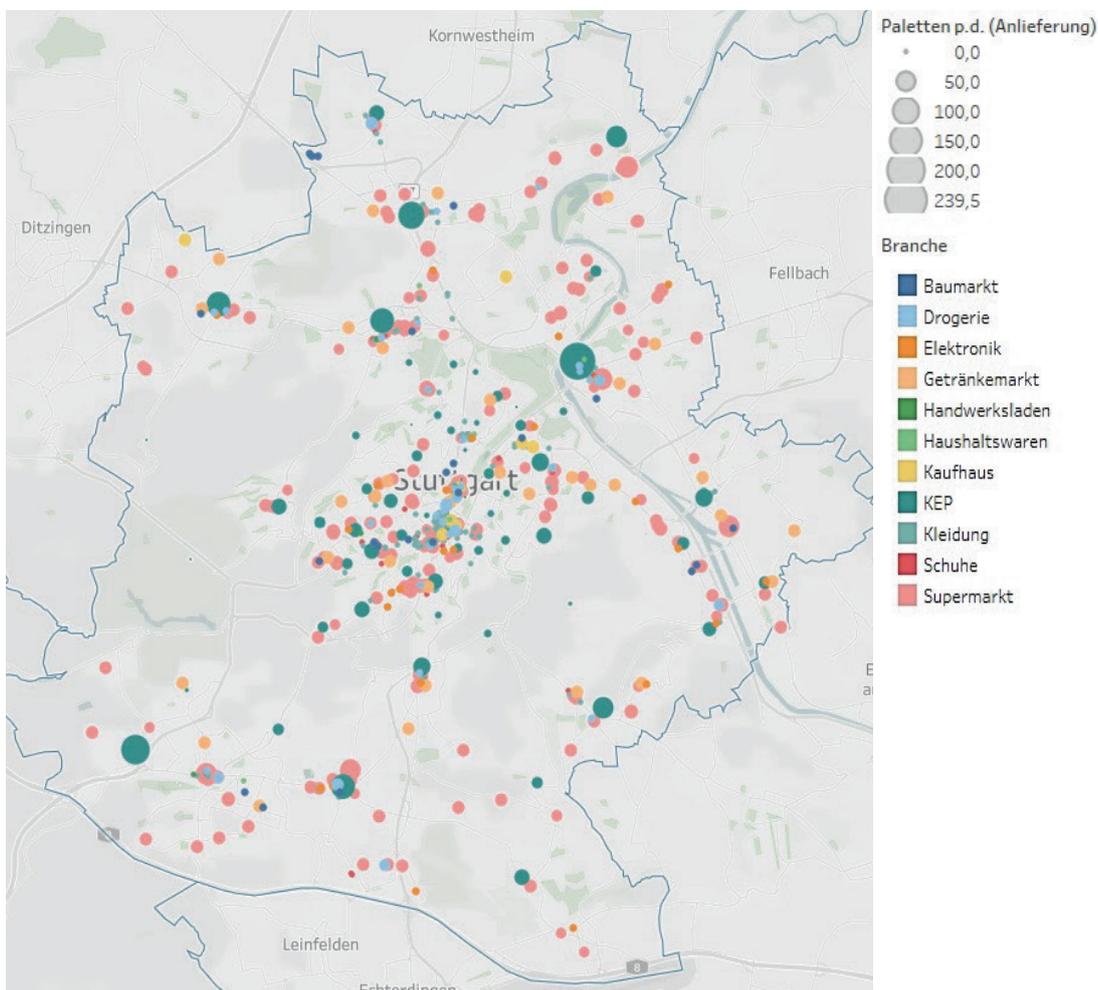
Die Ergebnisse aus Tabelle 2-4 werden im Folgenden für die finale Ableitung der erwarteten Palettenanzahl herangezogen. Daraus lässt sich schließlich – unter Berücksichtigung der angenommenen Palettenkapazitäten der Fahrzeugklassen und der volumenbasierten durchschnittlichen Auslastung – diejenige Anzahl an Paletten ermitteln, die jährlich für das UWT-System erwartet werden kann. Mit der Annahme von 305 Arbeitstagen pro Jahr kann die Anzahl an Paletten pro Tag errechnet werden:

- 1 572 591 Paletten pro Jahr
- 5156 Paletten pro Tag

Dies entspricht in etwa 152 vollbeladenen Lzg pro Tag oder einer Fläche von ca. 0,5 ha bzw. 2/3 eines Fußballplatzes in Bodenblocklagerung.

2.4.2 Ergebnisse des Abnehmermodells

Im Abnehmermodell werden u. a. die Informationen aus den Fragebögen verarbeitet und mithilfe der OSM-Datenbank und weiterer Rechercheergebnisse für die nicht kontaktierten Unternehmen ergänzt. Insgesamt wurden 20 unterschiedliche Unternehmen kontaktiert. Davon konnten 11 Rückläufer für die weiteren Ergebnisse des Abnehmermodells herangezogen werden. Die gesamte Datenbank des Abnehmermodells umfasst 729 Einträge, die mit dem Namen, der Branche, den Koordinaten, der Gewichtung und der Zuordnung zum City-Ring, zum KR oder zur MG klassifiziert sind. Abbildung 2-5 zeigt die Verteilung der Abnehmer und ihre Unterscheidung hinsichtlich Branche und Gewichtung.²



2
Die Branche 'Verarbeitende Industrie' wurde aus der Darstellung in dieser Abbildung exkludiert, da sie den visuellen Eindruck durch den hohen Palettenumschlag und die damit verbundenen sehr großen Kreise verfälscht hätte.

Abbildung 2.5: Verteilung und Gewichtung der Abnehmer und Branchen im Untersuchungsgebiet

Durch die zuvor beschriebene Methodik wurden folgende tägliche Palettenlieferungen für die Branchen im Einzugsgebiet ermittelt (siehe Tabelle 10-10 für die erweiterten Ergebnisse inkl. der Unternehmen außerhalb des Einzugsgebiets):

Branche	Betrachtete Elemente	Paletten p. a.	Paletten p. d.
KEP		272.186	892
Bau (22 Baustellen)		34.350	113
Einzelhandel	Baumarkt	33.785	111
	Elektronik	104.342	342
	Handwerksladen	1.771	6
	Haushaltswaren	1.771	6
	Kaufhaus	58.573	192
	Kleidung	167.329	549
	Schuhe	34.528	113
	Drogerie	58.440	192
	Getränkemarkt	83.676	274
	Supermarkt	537.778	1.763
Gesamt		1.401.021	4.594

Tabelle 2-5: Ergebnis des Abnehmermodells für das Einzugsgebiet

Stationärer Einzelhandel

Da der stationäre Einzelhandel eine bedeutende Rolle im Abnehmermodell einnimmt, die Ergebnisse jedoch stark fragmentiert sind, werden diese im Folgenden genauer aufgeschlüsselt. Innerhalb der MG wurden insgesamt 660 relevante Abnehmer identifiziert. Davon haben 352 Abnehmer ihren Standort innerhalb des Einzugsgebiets. Innerhalb des CR reduziert sich diese Anzahl nochmals auf 206. Die Kleidungsbranche ist mit 189 Filialen am häufigsten vertreten (vgl. Tabelle 2-6). Diese Reihenfolge spiegelt jedoch nicht die Gewichtung im Zusammenhang der Gütermengen wider (vgl. Tabelle 2-5). In diesem Zusammenhang nehmen die Supermärkte den größten Anteil innerhalb der Einzelhandelsbranche ein.

Einzelhandelsbranche	Anzahl Vertreter im Einzugsgebiet (KR)	Prozentualer Anteil
Kleidung	189	53.69%
Supermarkt	65	18.47%
Schuhe	39	11.08%
Drogerie	16	4.55%
Elektronik	13	3.69%
Getränkemarkt	10	2.84%
Baumarkt	9	2.56%
Kaufhaus	7	1.99%
Handwerksladen	2	0.57%
Haushaltswaren	2	0.57%
Summe	352	

Tabelle 2-6: Relevante Abnehmer der Einzelhandelsbranche innerhalb des Einzugsgebiets

Durch die mit Vertretern von Supermärkten geführten Interviews konnte eine Palettenanzahl pro Quadratmeter Verkaufsfläche ermittelt werden. Eine weitere Recherche ergab eine überschlägige Palettenanzahl für Drogeriemärkte. Diese orientiert sich an einer Statistik zu Verkaufsflächen von Vertriebslinien im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) in Deutschland im Jahr 2020 (HAHN-Immobilien-Beteiligungs AG 2021) bzw. an den Angaben des jeweiligen Internetauftritts (Dirk Rossmann GmbH 2021b; dm-drogerie markt GmbH + Co. KG 2020). Im Mittel ergibt sich eine Palettenanzahl von 27,43 pro Tag je Filiale. Dieser Mittelwert wird für alle übrigen Supermärkte, Kaufhäuser und Getränkemärkte verwendet, für die keine Angaben bzgl. der Verkaufsfläche zur Verfügung stehen. Für Drogerien ergibt sich eine durchschnittliche Palettenanzahl von 12,36 pro Tag je Filiale (Brüggmann 2017; Dirk Rossmann GmbH 2021a).

Für die restlichen Einzelhändler wird davon ausgegangen, dass die Palettenanzahl pro Filiale den Rechercheergebnissen des zugehörigen Branchenvertreters entspricht. In (Deichmann SE 2018) wird angegeben, dass 100 000 Schuhpaare an 265 Geschäfte geliefert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass 130 Schuhkartons (Abmessungen: 340 x 205 x 125 mm) auf eine Palette passen. Daraus ergeben sich 2,9 Paletten pro Tag für das Schuhgeschäft. Demnach wird vereinfacht angenommen, dass alle Bekleidungs- und Schuhgeschäfte dieselbe Anzahl von 2,9 Paletten pro Tag benötigen. Für Elektronikmärkte werden 26,3 Paletten pro Tag³ (Hell 2020; Conrad Electronic SE 2021) und für Baumärkte 12,3 Paletten pro Tag⁴ zugrunde gelegt (Ritter Logistik GmbH 2013).

2.5 Fazit des Verkehrs- und des Abnehmermodells

Die Ergebnisse des Verkehrsmodells aus Tabelle 2-4 zeigen, dass der durch das UWT-System substituierbare Güterverkehr ca. 4,5 % des gesamten Güterverkehrs innerhalb des Kesselrands der LHS beträgt. Dies entspricht ca. 0,34 % des gesamten Kfz-Verkehrs. Für eine mögliche Entlastung der innerstädtischen Verkehrslage führt dies lokal auf einzelnen Streckenabschnitten zu geringen Effekten. In Abbildung 2.3 ist außerdem zu erkennen, dass mit insgesamt ca. 25 % der Großteil des innerstädtischen Güterverkehrs über die Canstatter Straße in die Stuttgarter Innenstadt eingeht.

In Tabelle 2-7 sind die relativen Anteile der Branchen in den verfügbaren Modellen (NST-2007 und Güterstatistik) sowie des berechneten Abnehmermodells aufgeführt. Der Vergleich zeigt, dass durch die Gewichtungen im Abnehmermodell die KEP- und die Textilbranche überschätzt sowie die Branche der Nahrungs- und der Genussmittel unterschätzt werden. Für die berücksichtigte Branche, Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse konnten keine Abnehmer identifiziert werden. Auf der anderen Seite können die Abnehmer der Baubranche keiner der berücksichtigten NST-2007-Abteilungen eindeutig zugeordnet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Annahmen im Abnehmermodell gegenüber der Güterstatistik sind Abweichungen bei einem Vergleich der Branchenanteile erwartbar. Dies führt dazu, dass der Anteil einzelner Branchen am Gesamtgüteraufkommen im Abnehmermodell zum Teil konservativer bzw. optimistischer eingeschätzt wird. In Tabelle 2-7 sind dies Unterschiede aufgelistet und analysiert.

³ Ausschlaggebend für diese Annahme sind Angaben der Firma Conrad SE. Demnach werden im Unternehmen insgesamt 50 000 Pakete pro Tag für den E-Commerce und an die 19 Filialen verschickt. Laut Geschäftsbericht entfallen ca. 65 % des Umsatzes auf E-Commerce. Vereinfacht wird angenommen, dass folglich 35 % der Pakete für die Filialen bestimmt sind.

⁴ Ausschlaggebend für diese Annahme sind Angaben zur Belieferung von Obi-Baumärkten mit bis zu 800 Paletten pro Tag für 65 Märkte.

NST-2007-Abteilung	Aus Güterstatistik ⁵		Ergebnis aus Abnehmermodell	Analyse / Kommentar
	Anteil an der Gesamtgüterstatistik	Relativer Anteil der betrachteten Abteilungen	Relativer Anteil der betrachteten Abteilungen	
Nahrungs- und Genussmittel	9,68%	55,05%	44,36%	Gastro- und Hotel-Branche sind im Abnehmermodell nicht berücksichtigt, deshalb geringeres Volumen im Abnehmermodell.
Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	0,41%	2,32%	14,41%	Dieser Vergleich lässt auf eine Überschätzung der Gewichtung der Kleidungs- und Schuhgeschäfte im Abnehmermodell schließen.
Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	2,30%	13,06%	-	Konnte im Abnehmermodell nicht identifiziert und nicht zugewiesen werden.
Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	1,80%	10,24%	14,29%	Einzelhandelsgeschäfte des Abnehmermodells schlagen weitere Güter um (jenseits der NST-2007-Abteilung).
Post, Pakete	2,39%	13,58%	19,43%	
Chemische Erzeugnisse	1,01%	5,75%	4,17%	Hier sind die Drogeriemärkte berücksichtigt.
Gesamt	17,58%	100%	96,7%	

Tabelle 2-7: Gegenüberstellung der relativen Anteile des Güteraufkommens aus dem Abnehmermodell und der KBA-Güterstatistik

Tabelle 2-8 stellt die Ergebnisse des Verkehrs- und des Abnehmermodells gegenüber. Es zeigt sich, dass beide Ergebnisse in einem ähnlichen Bereich liegen, wobei das Abnehmermodell zu einer geringeren Palettenanzahl führt. Für die weitere Studie dienen die Ergebnisse des Verkehrsmodells als Grundlage der Berechnungen. Die Ergebnisse des Abnehmermodells werden im Folgenden zur Gewichtung der Abnehmer in der Standortplanung (vgl. Abschnitt 3.2) herangezogen.

	Paletten p. a.	Paletten p. d.
Verkehrsmodell	1.572.591	5.156
Abnehmermodell	1.401.021	4.594

Tabelle 2-8: Ergebnisse der Palettenanzahl in Abhängigkeit vom zugrunde liegenden

3. Erschließung des Stadtgebiets – Standortplanung und Trassenplanung

Im Rahmen der Standort- und Trassenplanung des UWT-Systems wird ein logistisches Netzwerk erarbeitet, über das die Gütermengen in der LHS verteilt werden können. Die Grundvoraussetzung für ein solches Netzwerk ist die Existenz bzw. Definition der Knoten. Die Knoten des UWT-Netzwerks sind durch die City-Hubs, den Urban-Hub sowie die Abnehmer definiert. Da die Abnehmer bereits im Abnehmermodell in Kapitel 2 bestimmt wurden, sollen in diesem Kapitel zunächst die fehlenden Knoten des Systems in Form der Standortplanung des Urban-Hubs und der City-Hubs bestimmt werden. Nachfolgend können die Kanten des Netzwerks – in Form einer Verbindung von Urban-Hub und City-Hubs – durch eine geeignete Trassenplanung hinzugefügt werden. Daraus ergeben sich folgende Aufgabenstellungen für die Standort- und Trassenplanung, die in diesem Kapitel beschrieben und gelöst werden:

Standortplanung Urban-Hub

Identifikation möglicher Urban-Hub-Standorte sowie deren Bewertung und Auswahl. Die Auswahl wird anhand qualitativer Kriterien abgeleitet.

Standortplanung City-Hub

Identifikation möglicher City-Hub-Standorte sowie deren Bewertung und Auswahl. Die Auswahl wird als mathematisches Optimierungsproblem zur Minimierung der Transport- und Investitionskosten formuliert.

Feinverteilung/ ‚letzte Meile‘

Zuordnung der Abnehmer zu den entsprechenden City-Hubs sowie Umschlag auf die Fahrzeuge der letzten Meile.

Trassenplanung

Verbindung des Urban-Hubs mit den City-Hubs durch eine unterirdische Tunneltrasse. Im Fokus steht hierbei die technische Machbarkeit der Tunneltrasse.

3.1 Standortplanung Urban-Hub

3.1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Standortplanung des Urban-Hubs

Bestandteile der Standortplanung Urban-Hub sind die Identifikation, die Bewertung und die Auswahl geeigneter Standorte für einen Urban-Hub. Hierfür werden Orte außerhalb des Stadtgebietes gesucht, die hinsichtlich ihrer Größe und Lage die Anforderungen an ein Güterverteilzentrum erfüllen. Für den Umschlag und die Lagerung der Güter muss ein Urban-Hub-Standort genügend Hallenfläche bieten. Ebenso muss für den Lkw-Verkehr genügend Außenfläche vorhanden sein, um ein reibungsloses Be- und Entladen zu gewährleisten. Bei der Lage des Urban-Hubs ist zudem darauf zu achten, dass der Standort sich in möglichst geringer Distanz zu den relevanten Autobahnen oder Bundesstraßen befindet.

Das Ziel ist die Ermittlung von Standorten für den Urban-Hub, die im Hinblick auf Kosten, vorhandene Infrastruktur, Fläche und Anbindung an den Verkehr geeignet sind. Die Auswahl und die Bewertung werden anhand definierter Kriterien vorgenommen.

3.1.2 Vorgehensweise und Methodik der Standortplanung des Urban-Hubs

3.1.2.1 Vorgehensweise Standortwahl Urban-Hub

Zunächst wird anhand der Verkehrszählungsdaten aus dem Ist-Zustand ein Gebiet bestimmt, in dem nach potenziellen Urban-Hub-Standorten gesucht wird (vgl. Abschnitt 2.4.1). Mithilfe einer Isochronenkarte (auch: Erreichbarkeitskarte) werden in der Suchregion die Bereiche ermittelt und visualisiert, von denen aus die MG auf den Lkw-Empfehlungsrouten (LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS-AG) et al. 2021b) in kurzer Zeit verlassen werden können. Es werden Gewerbegebiete innerhalb dieser Bereiche näher betrachtet und die potenziellen Grundstücke für einen Urban-Hub identifiziert. Sofern in den infrage kommenden Gewerbegebieten keine freien Baufelder verfügbar sind, werden diese Gebiete nicht weiter betrachtet.

Zur Bewertung der Urban-Hub-Standortoptionen werden die folgenden Kriterien eingeführt und nach dem untenstehenden Ansatz bewertet (vgl. Tabelle 3-1). Für jedes Kriterium werden pro Standort 1 bis 5 Punkte vergeben.

Kriterium	Bewertung
Kosten	
Anschaffungskosten (Grundstückskosten)	1 - sehr gering (< 200 €/m ²), 5 - sehr hoch (> 650 €/m ²)
Geografische Kriterien und Infrastruktur	
Grundstücksverfügbarkeit (Inhaber, Bebauungsplan)	1 - sofort verfügbar, 5 - Verfügbarkeit nicht realistisch
Realisierbarkeit der Untergrundanbindung (ausreichend Fläche für Rampe, Bautiefe)	1 - keine kollidierende Untergrundkonstruktion, ausreichende Länge für Rampe, 5 - Untergrundanbindung riskant, teuer
Verkehrsinfrastruktur exklusive Straße (Verbindung mit verschiedenen Verkehrsträgern)	1 - mehrere Optionen (z. B. Bahn, Hafen), 5 - keine Optionen
Verkehrsinfrastruktur – Straße Erreichbarkeit, Ein- und Ausfahrten	1 - geringe Entfernung zu relevanten Autobahnen oder Bundesstraßen (> 1 km), 5 - große Entfernung zu relevanten Autobahnen oder Bundesstraßen (> 10 km)
Güterverkehrsaufkommen von MG (aus Ist-Analyse)	1 - sehr großes Güterverkehrsaufkommen (> 3 Mio. Fzg. p. a.), 5 - sehr geringes Güterverkehrsaufkommen (< 1 Mio. Fzg. p. a.)
Distanz zwischen Urban- und City-Hub	1 - sehr nah (< 5 km), 5 - sehr weit (> 10 km)
Mögliche Abnehmer auf Tunnelroute	1 - mehrere Gewerbe- oder Industriegebiete entlang der Tunnel, 5 - keine Optionen
Verfügbare Fläche	
Grundstücksfläche	1 - mehr als ausreichend vorhanden (> 2,5 ha), 5 - nicht ausreichend (< 0,5 ha)

Expansionsmöglichkeiten	1 - unerschlossene Flächen unmittelbar angrenzend, 5 - keine flächenmäßige Expansion möglich
Ausrüstung	
Zustand der öffentlichen Einrichtungen (Strom, Wasser, Versorgungseinrichtungen)	1 - steht zur Verfügung, 5 - Erschließung ist notwendig
Umwelt und Umgebung	
Auswirkungen auf die ökologische Landschaft (Erhaltung der ursprünglichen umgebenden Landschaft, Architektur)	1 - keine Abwertung der Umgebung, 5 - große Auswirkungen (z. B. Versiegelung landwirtschaftlich genutzter Fläche)
Auswirkungen auf die Anwohner	1 - keine Anwohner, 5 - Anwohner in unmittelbarer Umgebung, negative Auswirkungen erwartet
Einfluss auf die Verkehrsbelastung	1 - kein/positiver Einfluss, 5 - negativer Einfluss insbesondere auf bisher weniger befahrene Straßen

Tabelle 3-1: Kriterien für die Bewertung der Urban-Hub-Standorte

Die Summen der Bewertungen werden für alle verbleibenden Standorte verglichen. Je höher die Punktzahl, desto weniger geeignet wird ein Standort für das UWT-System bewertet. So kann aus den Bewertungsergebnissen ein präferierter Standort identifiziert werden.

3.1.2.2 Limitationen Standortwahl Urban-Hub

Die Standortwahl beschränkt sich auf Industriegebiete und Grundstücke im Untersuchungsgebiet der LHS (vgl. Abschnitt 2.2). Somit wurden mögliche Standorte, die außerhalb der MG der LHS liegen, nicht betrachtet. Zudem orientiert sich die Suche nach möglichen Standorten eines Urban-Hubs am aktuellen Flächennutzungsplan der LHS. Eine zukünftige Änderung des Flächennutzungsplans zugunsten der Standortwahl ist nicht vorgesehen. Die Eigentumsverhältnisse und mögliche Schadstoffverunreinigungen der potenziellen Flächen sind bei der Auswahl nicht berücksichtigt. Das gesamte System wurde mit einem Urban-Hub geplant. Potenziell wären auch Systeme mit mehreren Urban-Hubs denkbar. Dies wurde in dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt, da eine Minimierung der Tunnelstrecke angestrebt wurde und der Tunnelbau erfahrungsgemäß einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt sowie mit Treibhausgasemissionen (CO₂) verbunden ist.

3.1.3 Ergebnis Standortwahl Urban-Hub

Aus den Untersuchungen der Ist-Daten ging hervor, dass das höchste in die MG eintretende Verkehrsaufkommen am nördlichen und östlichen Rand entsteht (vgl. Abschnitt 2.4.1). Dementsprechend wurden gemäß dem Flächennutzungsplan alle Gewerbegebiete innerhalb der MG betrachtet, die nördlich oder östlich des Kessels liegen, wie in Abbildung 3.1 gezeigt ist.

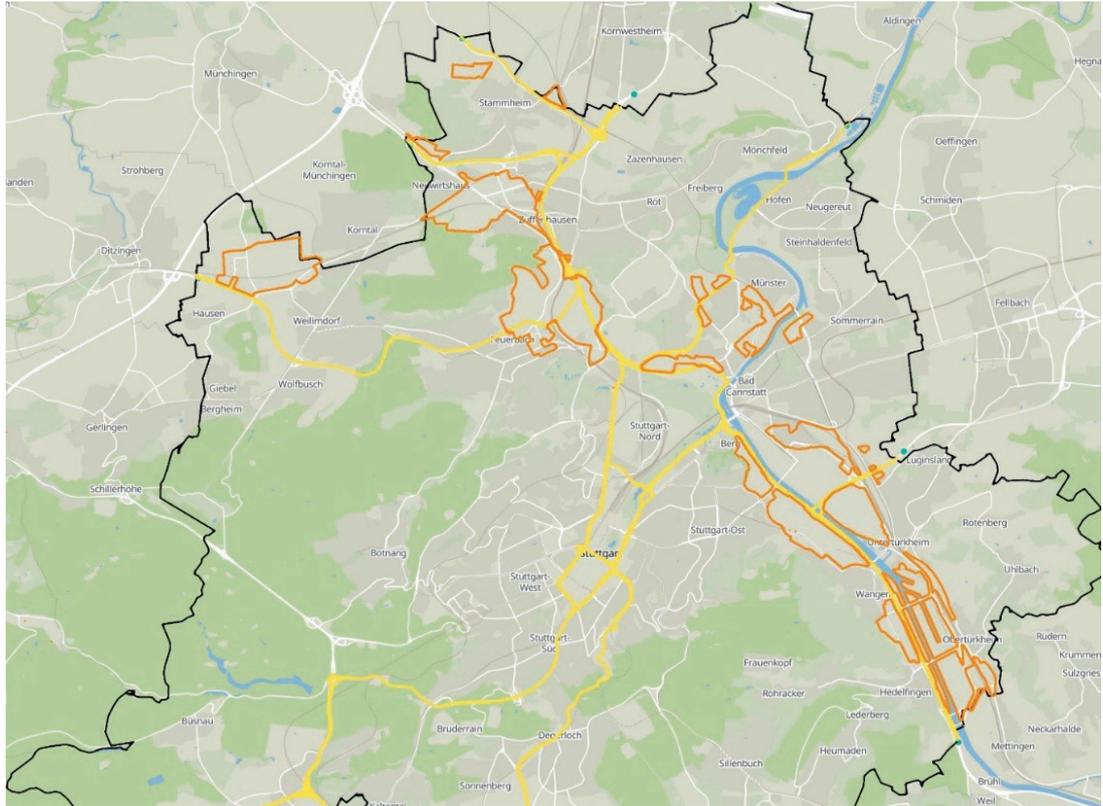


Abbildung 3.1: Betrachtete Gewerbegebiete zur Standortplanung Urban-Hub (orange)

Innerhalb dieser Suchregion wurden Isochronen ermittelt, wie in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Einfärbung der Kacheln zeigt die mittlere Fahrtdauer, die ein Fahrzeug um 8:00 Uhr morgens von einer der Eintrittsstellen der Lkw-Empfehlungsrouten (gelb) in die Stadtgemarkung zur jeweiligen Position benötigt (LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS-AG) et al. 2021b). Je dunkler eine Kachel dargestellt ist, desto kürzer ist die Fahrzeit (hellblau: 15 Minuten Fahrzeit, dunkelblau: 5 Minuten Fahrzeit, pro Farbabstufung je 1 Minute Fahrzeit Unterschied; Erzeugung der Fahrtzeiten durch <https://www.targomo.com/>).

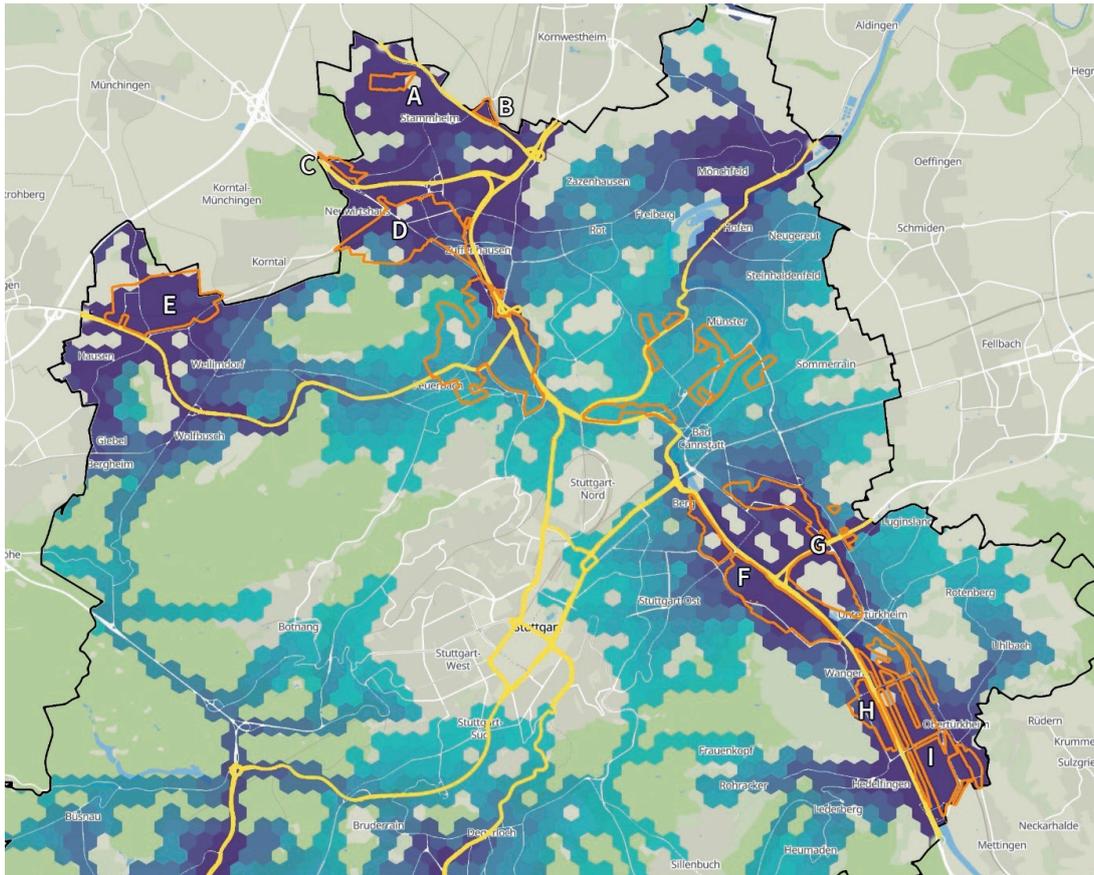


Abbildung 3.2: Isochronenkarte zur Standortwahl des Urban-Hubs

Die folgenden Gewerbegebiete weisen im Untersuchungsyear die niedrigsten Fahrtdauern von den Eintrittsstellen der Lkw-Empfehlungsrouten in die Stadtgemerkung zur jeweiligen Position auf:

Index auf Karte	Gewerbegebiet	Grundstücksverfügbarkeit	Standort-ID
A	Stammheim Mitte	Fläche vorhanden	1
B	Stammheim Mitte (Kornwestheim)	belegt	
C	Stammheim Süd	belegt	
D	Zuffenhausen-Schützenbühl	belegt (Porsche)	
E	Weilimdorf-Nord	angrenzende Freifläche vorhanden	2
F	Gaisburg	eventuell Fläche vorhanden	3
G	Benzviertel	belegt (Daimler)	6
H	Wangen	Fläche vorhanden	4
I	Hafen	Flächen vorhanden	5

Tabelle 3-2: Auflistung der betrachteten Urban-Hub-Standorte

Durch die Beurteilung von Schrägluftbildern (LHS Stadtmessungsamt 2021) sind in den Gewerbegebieten Stammheim Süd (C), Stammheim Mitte (Kornwestheim) (B) und Zuffenhausen-Schützenbühl (D) bereits alle Flächen in Nutzung. Das Benzviertel (G) wird durch die Werke von Daimler belegt. In den übrigen Gewerbegebieten (A, E, F, H, I) wurden jeweils Grundstücke identifiziert.

1. In Stammheim (A) befindet sich eine unbebaute Fläche, die im Flächennutzungsplan als geplante gewerbliche Baufläche eingetragen ist (vgl. Abbildung 3.3).



Abbildung 3.3: Darstellung Grundstück 1 in Stammheim Mitte⁶ (gelb)

2. Das Gewerbegebiet Weilimdorf-Nord (E) ist vollständig bebaut. Angrenzend befinden sich unbebaute Grünflächen in direkter Nähe zur Bundesstraße, von denen ein potenzielles Grundstück betrachtet wird (vgl. Abbildung 3.4). Hier ist eine Änderung des Flächennutzungsplanes notwendig.



Abbildung 3.4: Darstellung Grundstück 2 in Weilimdorf-Nord⁷ (gelb)

⁶
Eigene Darstellung
nach LHS Stadt-
messungsamt 2021

⁷
Eigene Darstellung
nach LHS Stadt-
messungsamt 2021

3. Auf dem Grundstück des alten Kohleheizkraftwerks der EnBW in Gaisburg (F) wird die Fläche des ehemaligen Kohlelagers frei (vgl. Abbildung 3.5).

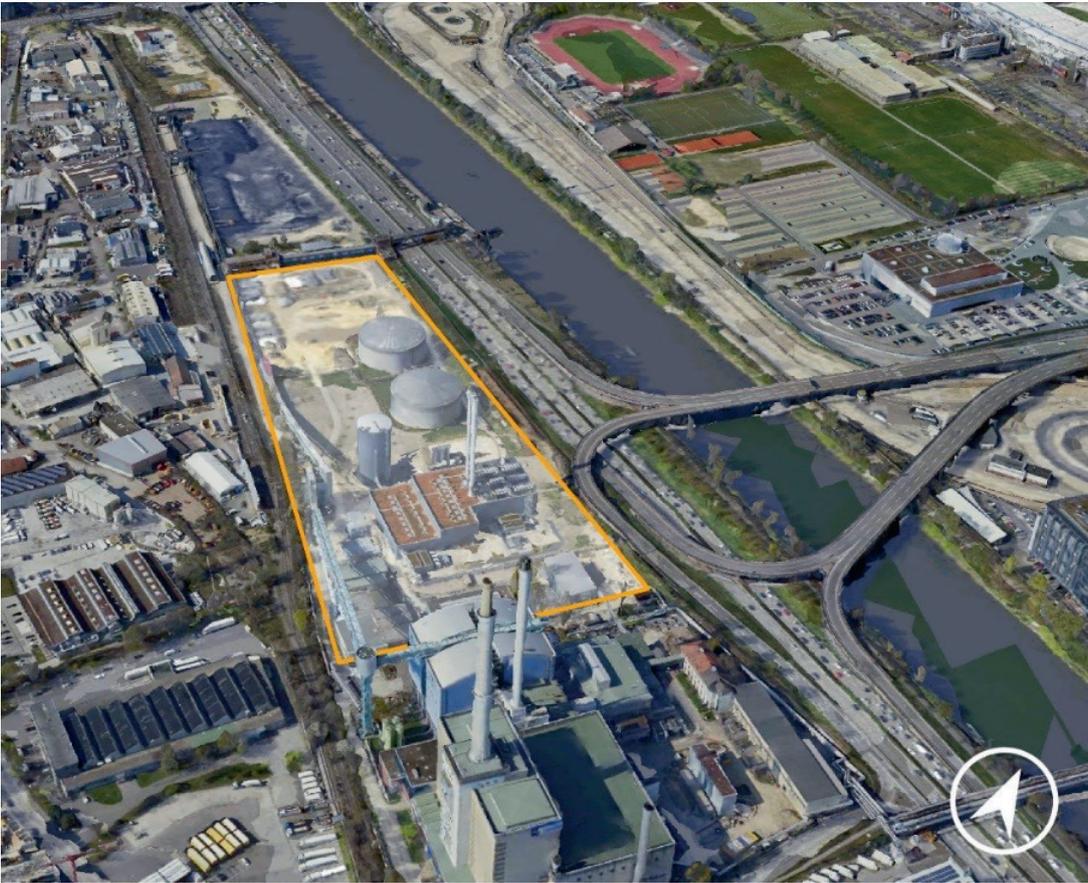


Abbildung 3.5: Darstellung Grundstück 3 in Gaisburg ⁸(gelb)

4. Die SVG Süd betreibt einen Autohof an der B10 in Wangen (H) (vgl. Abbildung 3.6). Für diesen wird aktiv nach Nutzungsmöglichkeiten mit Zukunftsaussichten gesucht, wie in der „Urban Sandwich-Studie“ untersucht wurde (LHS Amt für Stadtplanung und Wohnen et al. 2020).

⁸
Eigene Darstellung
nach LHS Stadt-
messungsamt
2021.

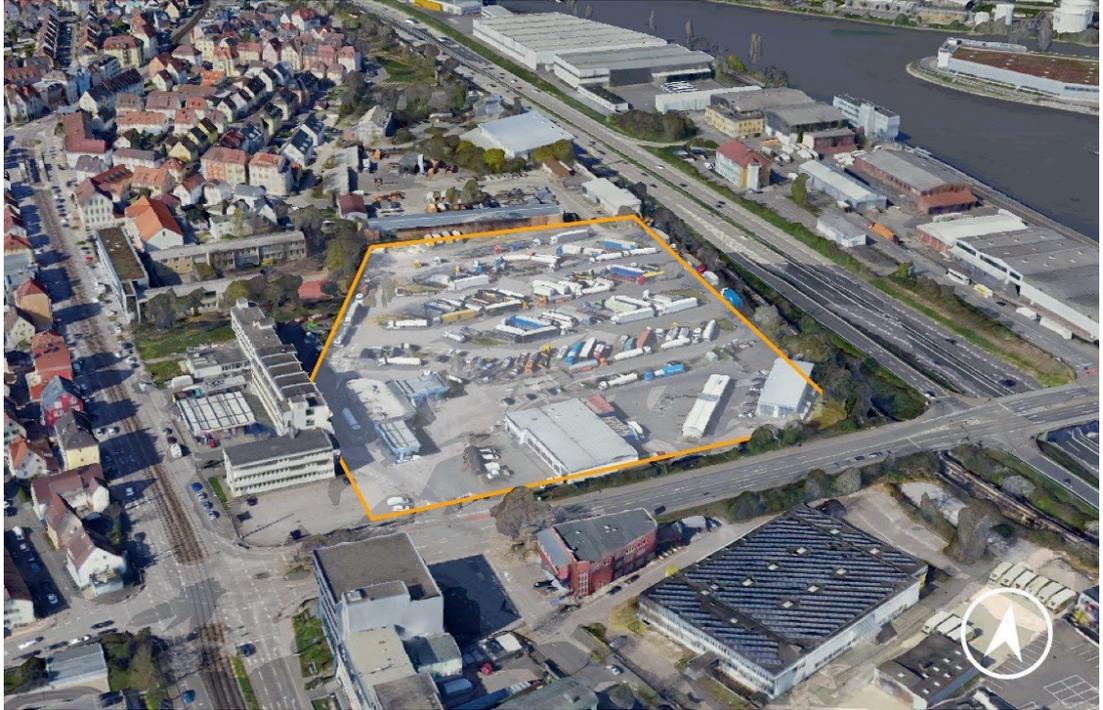


Abbildung 3.6: Darstellung Grundstück 4 in Wangen⁹(gelb)

9
Eigene Darstellung
nach LHS Stadt-
messungsamt 2021

- Als trimodaler Standort bietet der Stuttgarter Hafen (I) vielseitige Anschlussmöglichkeiten für einen Urban-Hub. In die Standortwahl wird ein undefiniertes Beispielgrundstück im Hafengebiet einbezogen (vgl. Abbildung 3.7).



Abbildung 3.7: Darstellung Grundstück 5 im Stuttgarter Hafen¹⁰(gelb)

10
Eigene Darstellung
nach LHS Stadt-
messungsamt
2021.

- Zusätzlich wird eine Musterfläche im Benzviertel (G) betrachtet, um den Fall einzubeziehen, dass es in Zukunft zu einer Verfügbarkeit kommt.



Abbildung 3.8: Darstellung Grundstück 6 im Benzviertel¹¹ (gelb)

Die folgende Karte zeigt zur Übersicht die Standorte der sechs Urban-Hub-Optionen (vgl. Abbildung 3.9).

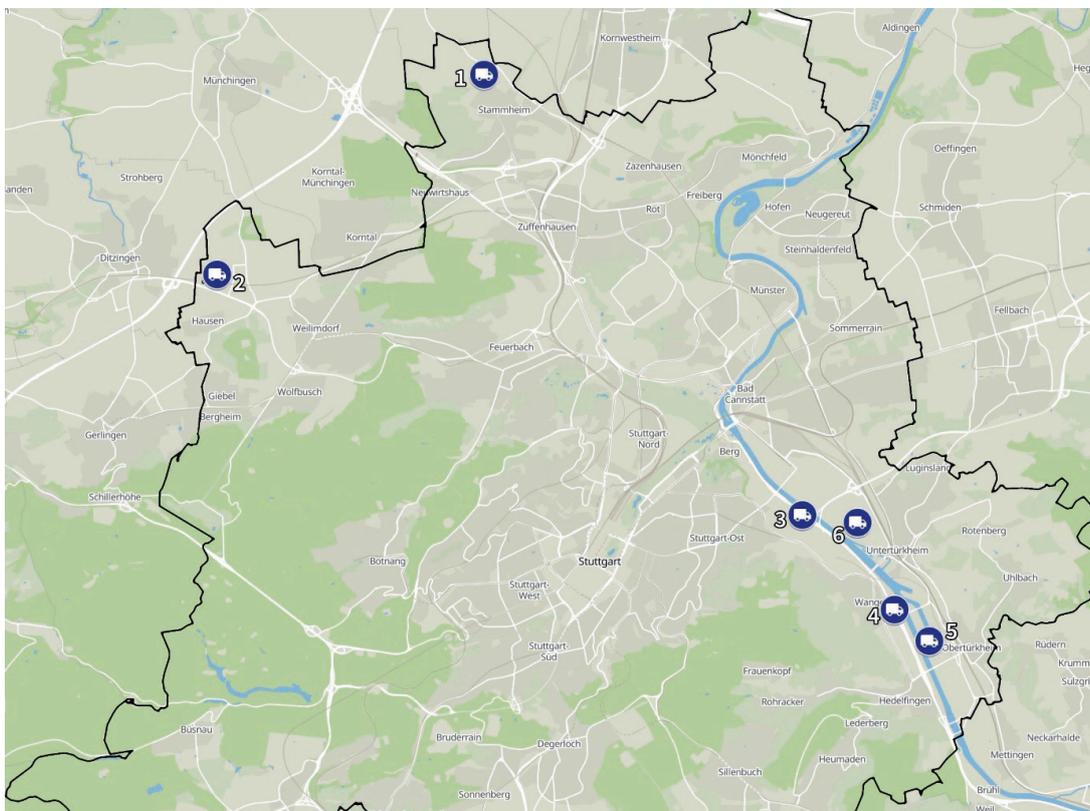


Abbildung 3.9: Übersicht der sechs potenziellen Urban-Hub-Standorte

Die Bewertung der sechs Grundstücke erfolgt, wie in Abschnitt 3.1.2.1 beschrieben, anhand eines Kriterienkatalogs. Die detaillierte Bewertung ist im Anhang aufgeführt. Das Ergebnis stellt sich wie folgt dar (vgl. Tabelle 3-3): Die Grundstücke in der Region Wangen (HKW Gaisburg, SVG-Süd-Autohof) liegen in der Bewertung an den ersten beiden Stellen. Das hohe Güterverkehrsaufkommen in dieser Region (vgl. Abschnitt 2.4.1) und die jewei-

¹¹ Eigene Darstellung nach LHS Stadtmessung 2021

lige Verkehrsanbindung an die B10 und die B14 wirken sich positiv auf die Bewertung der dort befindlichen Grundstücke aus. Eine detaillierte Auflistung der Nutzwertanalyse inkl. aller Wertungskriterien und deren Abstufung findet sich im Anhang (vgl. Tabelle 10-4).

Standort-ID	Grundstück	Bewertung
1	Gewerbegebiet Stammheim	2,7
2	Gewerbegebiet Weilimdorf	3,0
3	HKW Gaisburg	1,9
4	SVG-Süd-Autohof	1,7
5	Grundstück auf dem Hafengelände	2,1
6	Grundstück im Benzviertel	2,5

Tabelle 3-3: Bewertungsergebnisse Urban-Hubs

Die Fläche auf dem Gelände des Heizkraftwerks Gaisburg ist durch die unmittelbare Nähe zu den Bundesstraßen und einem Gleisanschluss gut geeignet. Im Rahmen des Masterplans „Erlebnisraum Neckar – Ein Masterplan für Stuttgart als Stadt am Fluss“ (Bender et al. 2017) ist die Fläche allerdings bereits für Wohnungsbau reserviert und wird deshalb nicht weiter betrachtet.

Der Autohof der SVG Süd erzielte in der vorausgegangenen Bewertung die beste Punktzahl. In Gesprächen mit dem Eigentümer wurde eine attraktive, innovative und zukunftsfähige Nutzung des Grundstücks gewünscht. Es steht als zukünftiger Standort des Urban-Hubs zur Verfügung. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird nur ein potenzieller Standort für den Urban-Hub berücksichtigt. Dementsprechend wird die weitere Planung der Machbarkeitsstudie mit dem Standort ‚SVG-Süd-Autohof‘ fortgesetzt.

Das Grundstück mit einer geschätzten Grundfläche von 2,6 ha bietet im Vergleich mit ähnlich anspruchsvollen Logistikzentren ausreichend Platz für die Bedürfnisse des Urban-Hubs. Derzeit befinden sich auf dem Gelände ein Bürogebäude, eine Fahrschule, ein Hotel, eine Tankstelle, eine Autowaschanlage und Werkstätten. Auch die unbebaute Fläche mit ca. 1,8 ha wird als ausreichend groß für einen Urban-Hub bewertet. Da die Fläche derzeit gewerblich genutzt wird, ist keine Veränderung im Flächennutzungsplan notwendig. Über die Otto-Konz-Brücken ist eine Anfahrt von der B10 möglich. Zudem liegt ein bestehender Gleisanschluss in unmittelbarer Nähe.

3.2 Standortplanung der City-Hubs

3.2.1 Problemstellung und Zielsetzung der City-Hub-Standortplanung

Zunächst stellt sich die Frage, welche Standorte im Einzugsgebiet überhaupt für die Errichtung eines City-Hubs in Frage kommen. Für die endgültige Auswahl in Form der Standortplanung werden schließlich solche Standorte in Betracht gezogen, die über die neu zu planende Tunneltrasse erreicht werden können. Von den City-Hubs aus soll dann die Feinverteilung betrieben werden.

Bei einem City-Hub handelt es sich nicht nur um klassisches Crossdocking, sondern ebenfalls um eine Infrastruktureinrichtung für die Transportmittel. Die City-Hub-Standorte sollen so gewählt werden, dass die Kosten für die finale Distribution möglichst gering ausfallen. Dafür sind Orte mit möglichst geringer Distanz zu den Abnehmern zu wählen. Dem stehen die Kosten zur Errichtung der City-Hubs gegenüber. Dadurch ergibt sich ein Trade-off zwischen der Anzahl an City-Hubs und der Distanz zu den Abnehmern.

3.2.2 Methodik und Vorgehensweise der City-Hub-Standortplanung

3.2.2.1 Methodik

Zunächst werden verschiedene Standorttypen für City-Hubs identifiziert, bewertet und ausgewählt. Für den ausgewählten Standorttyp werden die potenziellen Standorte in der Stuttgarter Innenstadt identifiziert. In Abhängigkeit von den Eingangsparametern aus der Ist-Analyse werden das kontinuierliche Standortproblem in der Fläche sowie das diskrete Standortproblem auf dem zuvor definierten City-Hub-Netzwerk im Rahmen der mathematischen Optimierung durchgeführt. Deren Ergebnis ist eine Menge von City-Hubs, die in die Trassenplanung einbezogen werden.

3.2.2.2 Vorgehensweise

Basierend auf bestehenden City-Hub-Konzepten und den vorliegenden Randbedingungen innerhalb der LHS und des UWT-Systems wurden die folgenden Möglichkeiten für die Platzierung von City-Hubs identifiziert:

- leerstehende Immobilien (DPDgroup 2018; Weber 2017),
- Grundstücke, Parkplätze (FOUR PARX Holding GmbH 2021),
- Parkhäuser/Tiefgaragen/Garagenhöfe (Bienzeisler 2018; Weber 2017),
- Freiflächen auf Gebäuden (LHS Amt für Stadtplanung und Wohnen et al. 2020) und
- U-Bahn-Stationen.

Für die folgenden Untersuchungen ist es notwendig festzustellen, welche der möglichen fünf Arten von Hubs am geeignetsten sind und worin die Besonderheiten bestehen. Zu diesem Zweck wurden zunächst die Kriterien definiert, nach denen die Typen von Hubs bewertet werden können.

Bewertungskriterien für identifizierte Standorte

Zur Erstellung einer Kriterienliste wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei konnten fünf Quellen identifiziert werden, aus denen insgesamt 27 Bewertungskriterien für das City-Hub abgeleitet werden konnten. Die ausgewählten Kriterien wurden anschließend von Experten diskutiert und ggf. für das Projekt angepasst. Eine Anpassung war unter Umständen notwendig, da einige der Kriterien von allgemeinen Konzepten geprägt waren oder für einen bereits in Betrieb befindlichen City-Hub erstellt wurden. Somit sind diese in der eigentlichen Form nicht für die Planungsphase anwendbar. Darüber hinaus wurden Kriterien zur speziellen Bewertung von City-Hubs für UWT-Systeme hinzugefügt.

Die berücksichtigten Kriterien sowie deren Nachweis in der Literatur sind nachfolgend in Tabelle 3-4 dargestellt.

	Anderluh et al. 2020	Rao et al. 2015	Gogas und Nathaniel 2017	Muerza et al. 2018	Carvalho et al. 2020
Kosten					
1 Betriebskosten (Mietkosten)	✓			✓	✓
2 Anschaffungskosten (Grundstückskosten)	✓	✓	✓	✓	✓
Geografische Kriterien und Infrastruktur					
3 Natürliche Bedingungen (z. B. überschwemmungsgefährdetes Flussgebiet, Temperatur, Niederschlag, Bodentyp etc.)		✓	✓		
4 Verkehrsinfrastruktur exklusive Straße (Verbindung mit verschiedenen Verkehrsträgern)	✓	✓	✓		
5 Verkehrsinfrastruktur – Straße, Erreichbarkeit, Ein- und Ausfahrten.	✓	✓	✓		
6 Distanz zwischen Urban-Hub und City-Hub	✓				
7 Nähe, Anbindung zu wichtigen Abnehmerzentren, Kunden	✓	✓	✓	✓	
Verfügbare Fläche					
8 Abstellplätzeverfügbarkeit, ausreichend Platz für Fahrzeuge*					
9 Pufferfläche für Waren*					
10 Höhenbegrenzung für Fahrzeuge*					
11 Expansionsmöglichkeiten			✓		
12 Möglichkeit des Zugriffs rund um die Uhr*					
Ausrüstung					
13 Zustand der öffentlichen Einrichtungen (Strom, Wasser, Versorgungseinrichtungen)	✓	✓	✓		
14 Ausstattungen für Mitarbeiter*					
15 Stromanschlüsse oder Ladesäulen für E-Fahrzeuge*					
Umwelt und Umgebung					
16 Auswirkungen auf die ökologische Landschaft (Erhaltung der		✓	✓	✓	✓

ursprünglichen umgebenden Landschaft, Architektur)

17	Auswirkungen auf die Anwohner	✓	✓	✓	✓
18	Einfluss auf die Verkehrsbelastung		✓		✓
19	Schädigung des historischen Erbes				✓
Qualität					
20	Sicherheit (gegen Unfälle, Beschädigung von Waren, Diebstahl und Vandalismus)	✓	✓	✓	✓

* Kriterien, die nach eigenen Erfahrungen projektspezifisch hinzugefügt wurden

Tabelle 3-4: Kriterien und Literaturnachweis

Bewertung der Standorttypen

In Abbildung 10.3 (siehe Anhang) ist die Gesamtbewertung für jeden Standorttyp abgeleitet. Es zeigt sich, dass nach den allgemeinen Parametern Parkhäuser bzw. Tiefgaragen am geeignetsten sind, gefolgt von freien Flächen, Grundstücken, U-Bahn-Stationen und freien Dachflächen. Dieses Ergebnis ist schließlich die Basis für die weitere Eingrenzung potenzieller City-Hub-Standorte. Die tabellarische Bewertung der Standorttypen und ihr Ergebnis sind in Abbildung 10.3 im Anhang aufgeführt.

Identifikation der Standorte

Auf Basis der Ergebnisse werden im Rahmen der Studie nur Parkhäuser, Tiefgaragen und freie Flächen als potenzielle City-Hub-Standorte betrachtet. Aufgrund der geringen Anzahl an verfügbaren freien Flächen in der Stuttgarter Innenstadt besteht die finale Liste fast ausschließlich aus Parkhäusern und Tiefgaragen, die gleichzeitig den Vorteil bieten, dass Bestandsimmobilien genutzt werden können. Dadurch lassen sich die Investitionskosten senken. Außerdem hat sich in einer Untersuchung der Planersocietät gezeigt, dass gerade Tiefgaragen und Parkhäuser in Stuttgart mehr als ausreichend freie Kapazitäten aufweisen (Planersocietät und LHS 2020), sodass angenommen werden kann, dass ein Teil dieser Kapazitäten für den Güterverkehr nutzbar wäre. Weiterhin wird eine Nutzung des bestehenden U-Bahn-Netzes vernachlässigt, da sie mit einem hohen Aufwand und Restriktionen hinsichtlich der Konnektivität verbunden wäre.

Auswahl der City-Hub-Standorte zur Feinverteilung

Für die Ermittlung der Standorte werden zwei unabhängige Ansätze verfolgt, die anschließend miteinander verglichen werden können. Auf Basis der ermittelten Abnehmerstandorte und ihrer Gewichtung kann ein kontinuierliches Standortproblem formuliert und näherungsweise gelöst werden. Betrachtet werden dabei lediglich die Abnehmer innerhalb des definierten Einzugsbereichs (siehe Abbildung 2.1). Andererseits kann auf derselben Datenbasis inkl. der identifizierten potenziellen City-Hub-Standorte ein diskretes Standortproblem auf Netzwerkebene formuliert und gelöst werden.

Kontinuierliche Standortplanung in der Ebene

Zunächst muss für dieses Lösungsverfahren eine Distanzmatrix mit den Distanzen aller Abnehmer untereinander aufgestellt werden. Dazu wurde ein Matlab-Skript entwickelt, das die vorhandenen Geokoordinaten in euklidische Distanzen umwandelt. Die resultierende euklidische Distanz wird schließlich mit dem Faktor 1,3 multipliziert, um von einer Luftlinie näherungsweise auf die tatsächliche Entfernung schließen zu können. Dies ist eine leichte Anpassung der Ergebnisse der Arbeit von (Boscoe et al.) (2012), in der ein Faktor von 1,4 für das gesamte Straßen-netz der USA empfohlen wird. Aufgrund der dichten

Besiedlung von Deutschland im Vergleich zu den USA wurde dieser Faktor für die weiteren Berechnungen auf 1,3 angepasst. Anschließend wird die gesamte Menge der Abnehmer je nach gewünschter Anzahl an City-Hubs in unterschiedliche disjunkte, kompakte Gebiete unterteilt, mit näherungsweise gleicher Gesamtgewichtung. Hierzu wird der Recursive Partitioning Algorithm über die Algorithmenbibliothek LIZARD (Institut für Operations Research (IOR) 2020) verwendet.

Nach der Unterteilung in eine bestimmte Anzahl an Gebieten kann für das jeweilige Gebiet das gängige Steiner-Weber-Modell angewandt werden. Dieses heuristische Verfahren ermittelt in mehreren Iterationen den besten Standort durch die Minimierung des Gesamttransportaufwands. Inwiefern der ermittelte Standort überhaupt dort errichtet werden kann, ist zunächst zweitrangig und wird im nachfolgenden Schritt geprüft.

Diskrete Standortplanung auf Basis des Netzwerks potenzieller City-Hubs

Auch für die diskrete Standortplanung muss zunächst eine Distanzmatrix erstellt werden. Hier genügen jedoch die Entfernungen zwischen den City-Hubs und allen Abnehmern. Das Standortproblem kann dann durch Angabe der Transportkosten pro Entfernungseinheit sowie der Investitionskosten pro Neueröffnung eines Standortes gelöst werden. Dazu wird ein lineares mathematisches Optimierungsproblem entsprechend dem Warehouse-Location-Problem aufgestellt und mittels der Software IBM ILOG CPLEX gelöst. Daraus resultieren die kostenoptimale Anzahl und Auswahl der City-Hubs bei einer ganzheitlichen Abdeckung der Abnehmer.

3.2.2.3 Limitationen der City-Hub-Standortplanung

- Die Ableitung der Distanzmatrizen zur weiteren Berechnung innerhalb der Standortmodelle basiert auf der kürzesten Verbindung zwischen zwei Punkten. Der zusätzliche Faktor von 1,3 wird zu einer Verfeinerung des Ergebnisses herangezogen, kann die exakte Distanz aber nicht gänzlich ersetzen.
- Steigungen werden bei den Transportkosten ignoriert. In Stuttgart können die teils starken Steigungen jedoch zu signifikanten Verzögerungen im Umgang mit Lastenrädern führen.
- Insgesamt lässt sich eine starke Abhängigkeit der Standortplanungsergebnisse von den Transport- und Investitionskosten beobachten. Die dargestellten Kosten unterliegen jedoch Annahmen und sind folglich mit Unsicherheiten behaftet. Speziell für eine zuverlässigere Aussage bzgl. der Transportkosten müsste eine Tourenplanung einbezogen werden. Da keine Sendungsdaten zum Zeitpunkt der Studiererstellung vorlagen, wurde die Tourenplanung in der Feinverteilung näherungsweise berücksichtigt.
- Die City-Hub-Standortplanung beschränkt sich auf die Betrachtung von zehn Parkhäusern und Tiefgaragen als potenziellen Standorten. Andere Standortmöglichkeiten wurden evaluiert. Aufbauend auf den Ergebnissen der Evaluation werden Parkhäuser und Tiefgaragen fokussiert. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass auch andere Standorte geeignete Optionen darstellen.
- Die Abnehmerstandorte wurden bei der KEP-Branche aggregiert dargestellt und somit vereinfacht. Dies führt zu einer Ungenauigkeit bzgl. der Transportdistanzen und dadurch zu optimalen Standorten, die unter Umständen von den wahren optimalen Standorten abweichen. Dies hat keine signifikante Auswirkung auf das Ergebnis der Studie.

3.2.3 Ergebnisse der Standortplanung

3.2.3.1 Potenzielle City-Hub-Standorte

Auf Basis der definierten Standorttypen lassen sich 32 potenzielle City-Hub-Standorte ermitteln. Deren Lage ist in Abbildung 3.10 dargestellt. Tabelle 10-1 im Anhang listet alle einbezogenen City-Hub-Standorte inkl. ihrer Bezeichnung, ihrer Adressen und ihrer Flächenkapazitäten auf. Die Fläche der Parkhäuser leitet sich aus den verfügbaren Parkplatzkapazitäten ab. Es wird angenommen, dass ein Parkplatz inkl. Verkehrsfläche 20,8 m² entspricht (2,6 x 5 m Parkplatz + 2,6 x 3 m Verkehrsfläche). Aufbauend auf der durchschnittlichen Auslastung der Parkhäuser wird damit gerechnet, dass 20 % der gesamten Parkhausfläche zur Nutzung für das City-Hub verfügbar sind.

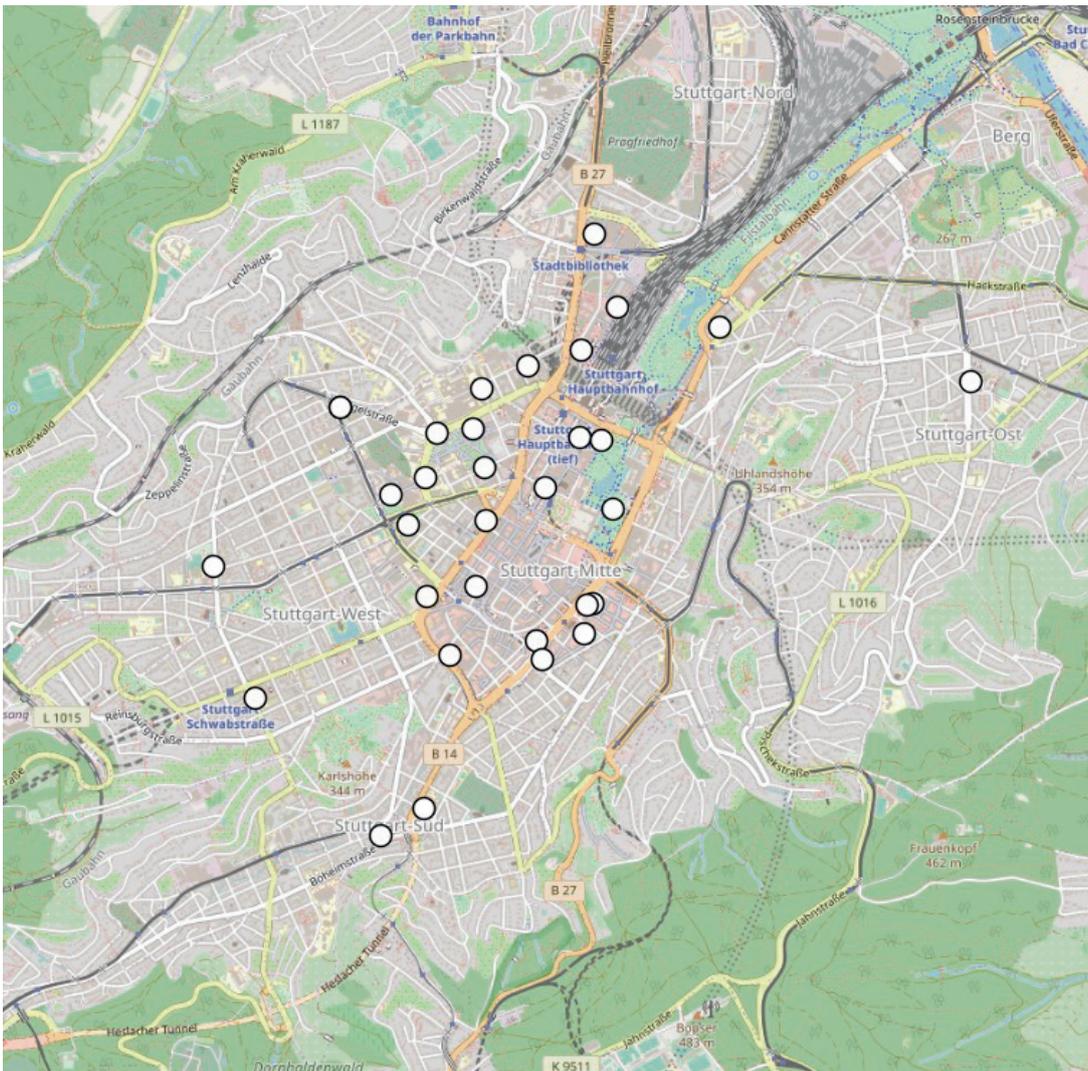


Abbildung 3.10: Lage der potenziellen City-Hub-Standorte

3.2.3.2 Kontinuierliche Standortplanung

Bevor bei der diskreten Standortplanung reale Standorte bzgl. ihrer Eignung als Teil des Logistiknetzwerks in der Stadt bewertet werden, wird mit den Ergebnissen der kontinuierlichen Standortplanung gezeigt, wo, ungeachtet der tatsächlichen Verfügbarkeit, geeignete Urban-Hub-Standorte lägen. Abbildung 3.11 zeigt die Ergebnisse der kontinuierlichen Standortplanung mit den Standorten der City-Hubs als Raute und den Standorten der Abnehmer als Kreis. Die farbliche Übereinstimmung zwischen Raute und Punkt spiegelt die eindeutige Zuordnung des Kunden zum entsprechenden City-Hub wider. Es wurden Experimente mit bis zu zehn City-Hub-Standorten ausgewertet.

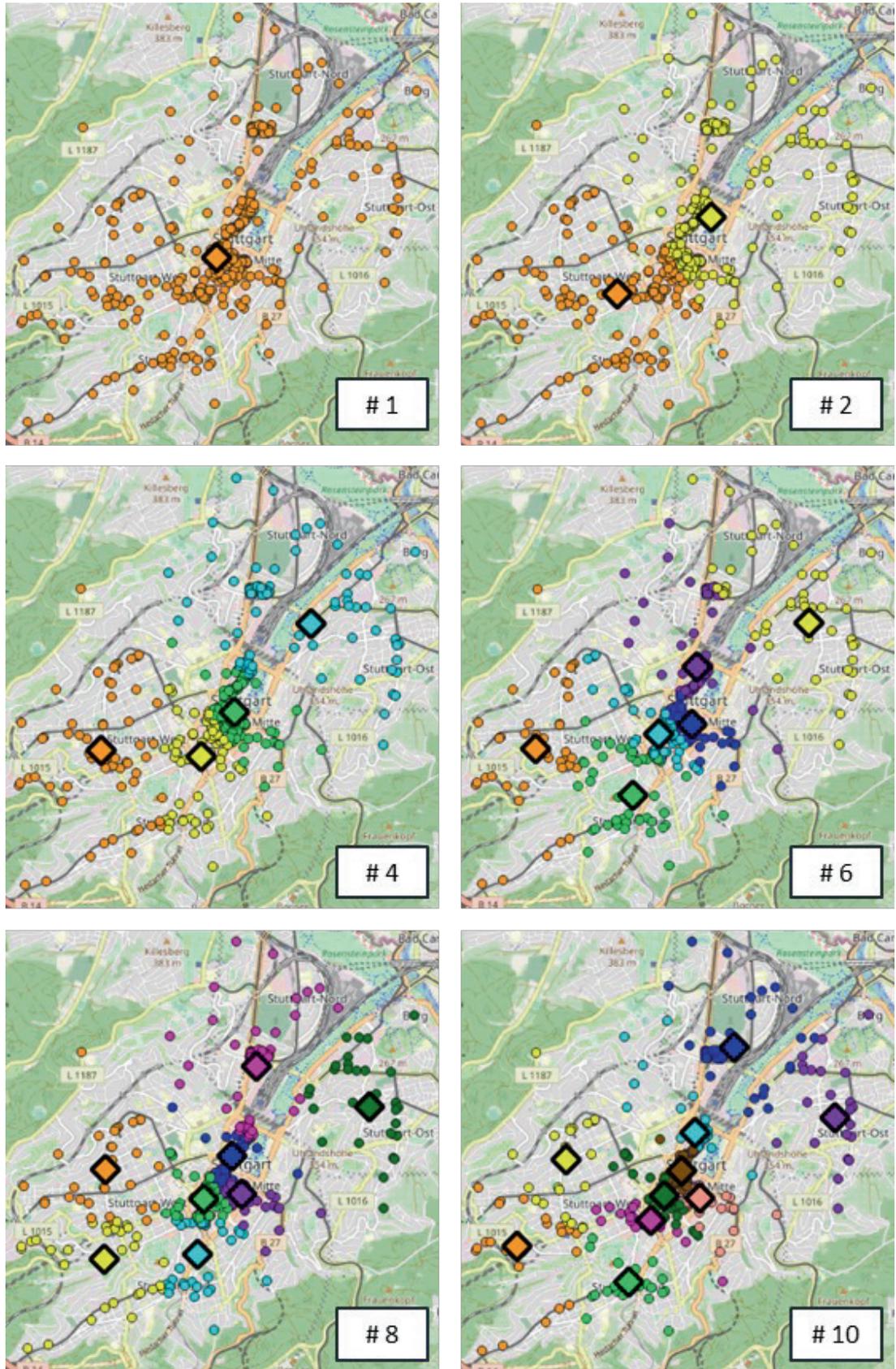


Abbildung 3.11: City-Hub-Standorte der kontinuierlichen Standortplanung in Abhängigkeit von deren Anzahl

Für die Standortplanung werden Transportkosten in Höhe von 1,54 € pro Kilometer pro Palette angenommen (vgl. Abschnitt 7.3.5.2). Diese beinhalten Personalkosten, Wartungskosten und Energiekosten und beziehen sich ausschließlich auf die Strecke zwischen City-

Hub und Abnehmer. Für die Eröffnung eines Standorts werden jährliche Fixkosten in Höhe von 110.815 € angenommen. Diese beinhalten den Umbau und die bauliche Anbindung an die UWT-Röhre, Investitionen für Gebäude- und Fördertechnik sowie Mietkosten für die genutzte Fläche. Die Aufschlüsselung der hier berücksichtigten Transport- und Investitionskosten wird in Kapitel 7.3 vorgenommen.

Abbildung 3.11 zeigt, dass City-Hubs aufgrund der hohen Dichte potenzieller Kunden innerhalb des City-Rings eher in der Nähe des Stadtzentrums platziert werden sollten. Abbildung 3.12 und Abbildung 3.13 führen die numerischen Ergebnisse der kontinuierlichen Standortplanung in zwei unterschiedlichen Diagrammen auf. In Abbildung 3.12 ist zu erkennen, dass bei einer steigenden Anzahl an City-Hubs die Sensitivität bzgl. der Palettendistanz¹² abnimmt. Diese Entwicklung lässt sich auch anhand des Verlaufs der Transportkosten in Abbildung 3.13 beobachten. Die Transportkosten verhalten sich dabei linear zur durchschnittlichen Palettendistanz. Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass für die kontinuierliche Standortplanung eine Anzahl von fünf City-Hubs zu den geringsten Gesamtkosten in der Feinverteilung führen. Da die Fixkosten mit der Anzahl an City-Hubs linear steigen und näherungsweise eine exponentielle Abnahme der Transportkosten bei Erhöhung der Anzahl an City-Hubs angenommen werden kann, lässt sich ein globales Minimum der Gesamtkostenfunktion bei den hier nicht berücksichtigten Ergebnissen mit einer Anzahl an City-Hubs größer als zehn ausschließen.

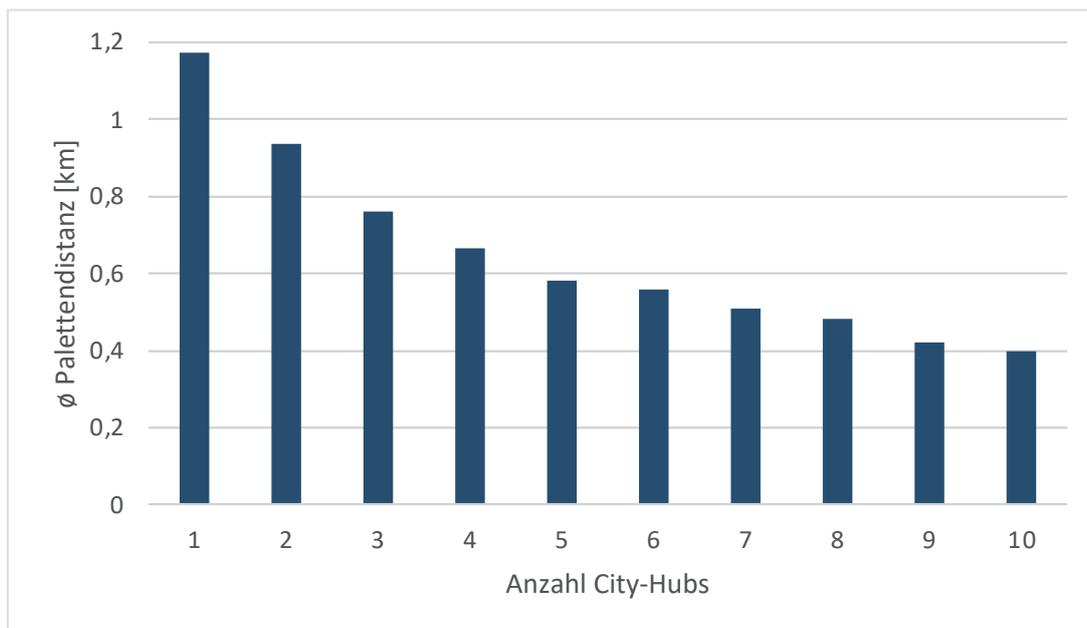


Abbildung 3.12: Entwicklung der durchschnittlichen Palettendistanz in Abhängigkeit von der Anzahl an City-Hubs bei der kontinuierlichen Standortplanung

¹² Die durchschnittliche Palettendistanz ist eine anhand des Palettensbedarfs gewichtete Entfernung der Kunden zum City-Hub. Zur Verdeutlichung folgendes Rechenbeispiel: Kunde A hat einen täglichen Bedarf von zwei Paletten und liegt 25 m vom City-Hub entfernt. Kunde B hat einen täglichen Bedarf von einer Palette und liegt 100 m vom City-Hub entfernt. Die resultierende durchschnittliche Palettendistanz liegt in diesem Beispiel bei 50 m.

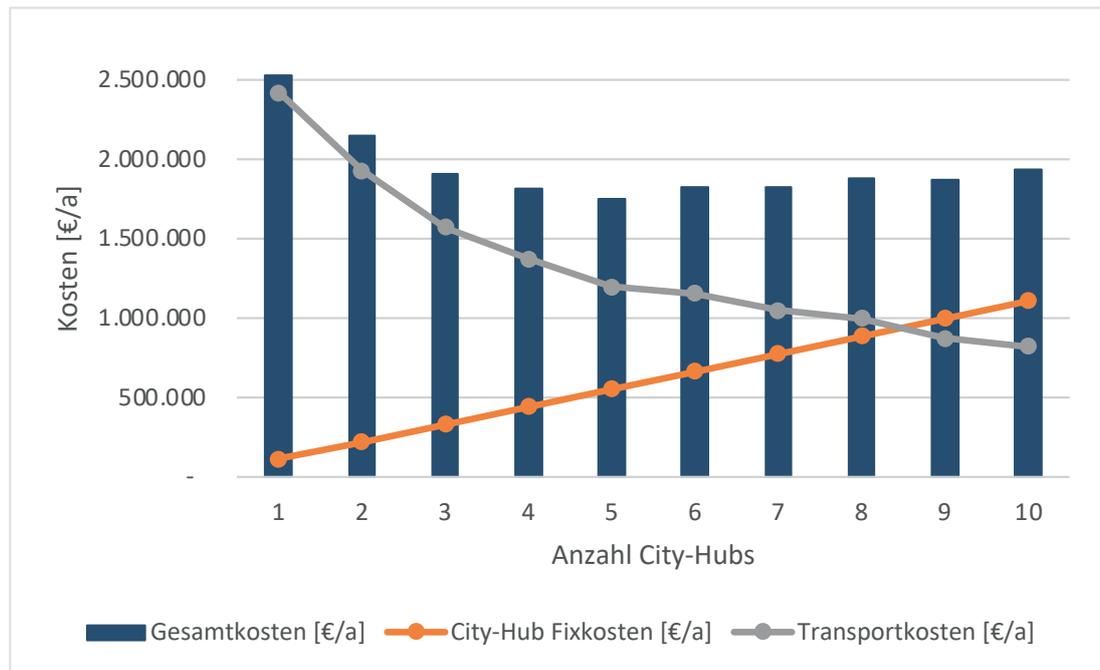


Abbildung 3.13: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit von der Anzahl an City-Hubs bei der kontinuierlichen Standortplanung

3.2.3.3 Diskrete Standortplanung

Lösung des Standortproblems ohne Berücksichtigung der Trassenplanung

Ein erstes Ergebnis der diskreten Standortplanung auf Basis der Daten für das Jahr 2021 ohne weitere Einschränkungen ist in Tabelle 3-5 aufgeführt. Dieses umfasst zehn Standorte, die bei einer kostenoptimalen Lösung errichtet werden. Zugehörig wird der Palettenumschlag pro Jahr bzw. pro Tag am jeweiligen City-Hub angegeben. In Abbildung 3-14 werden diese Standorte und deren jährliche Palettenumschläge dargestellt. Für diese Lösung ergeben sich jährliche Investitions- und Transportkosten von 3,4 Mio. € sowie eine durchschnittliche Palettendistanz vom City-Hub zu den Endkunden von 1,13 km.

ID	Parkhaus	Palettenanzahl p. a. [Stk.]	Palettenanzahl p. d. [Stk.]
1	APCOA PARKING Deutschland GmbH, Königsbau-Passagen	229.360	752
8	E. Breuninger GmbH & Co., Breuninger	206.180	676
19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG, Gerber	206.180	676
20	APCOA PARKING Deutschland GmbH, Parkhaus Milaneo	124.135	407
21 / 24	Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR / Parkplatz Seidenstr.	117.730	386
27	Parkhaus am Marienplatz APCOA	193.675	635
29	Tiefgarage Südwestbank APCOA	164.395	539
30	Tiefgarage Moltke-Areal	129.015	423
31	Rewe-Markt Parkplatz	156.160	512
32	Neckartor	72.285	237

Tabelle 3-5: Ergebnis der City-Hub-Standortplanung ohne Einschränkungen der Trassenplanung

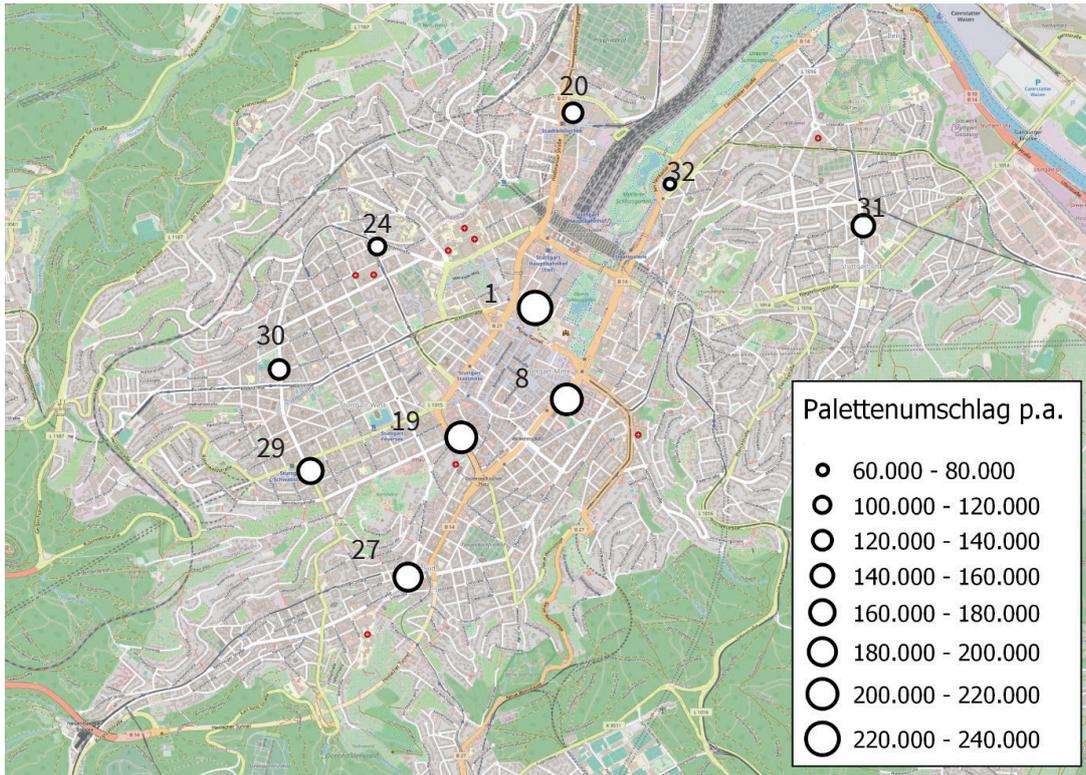


Abbildung 3.14: Grafische Darstellung des Ergebnisses der diskreten Standortplanung ohne Einschränkungen der Trassenplanung

Lösung des Standortproblems unter Berücksichtigung der Trassenplanung

Aufgrund der genannten Einschränkungen bzgl. der Trassenplanung (vgl. Abschnitt 3.3) müssen einige der zuvor identifizierten City-Hub-Standorte für eine umsetzbare Trassenführung aus der Lösungsmenge der potenziellen City-Hubs entfernt werden (vgl. Tabelle 3-6). Zu erwarten ist, dass durch die Einschränkungen der Trassenplanung insbesondere für das Transportnetzwerk der Feinverteilung wirtschaftliche Nachteile aufgrund erhöhter Transportkosten entstehen. Zu untersuchen ist jedoch, wie stark sich diese Einschränkungen auf das Ergebnis der Standortplanung auswirken. Unter diesen neuen Voraussetzungen werden folgende City-Hub-Standorte als optimale Lösung bestimmt. Dieses Ergebnis der Standortplanung dient als vorläufige Basis für weitere Untersuchungen im Rahmen der Studie. Es wird darauf hingewiesen, dass die gewählten Standorte der City-Hubs in ihrer endgültigen Position in den weiteren vertiefenden Planungen noch variieren können. Diese Varianz ist bedingt durch aktuelle und zukünftige Stadtentwicklungsprojekte. Daher wird empfohlen die Trassenplanung und die Standortplanung der Hubs kontinuierlich mit der Stadtentwicklung abzustimmen und ggf. anzupassen.

Der Zielfunktionswert des in Tabelle 3-6 dargestellten Ergebnisses der Standortplanung unter Berücksichtigung der Trassenplanung liegt mit 6,3 Mio. € ca. 85 % über dem Zielfunktionswert der Lösung des Standortproblems ohne Berücksichtigung der Trassenplanung (vgl. Tabelle 3-5) ohne Einschränkungen. Diese erhöhten Kosten resultieren vorwiegend aus den Einbußen in Bezug auf die Kundennähe und aus der damit verbundenen mehr als doppelt so hohen durchschnittlichen Palettendistanz von 2,38 km.

13
Das Bauwerk befindet sich im Bebauungsplan-gebiet Kriegsbergareal (alte Bahndirektion). Inwieweit dieser Standort langfristig als Hub Standort zur Verfügung stehen wird, ist offen. Ein zukünftiger Hub-Standort in diesem Areal, ggf. an veränderter Position, wird empfohlen und ist im Rahmen weiterer Planungen abzustimmen.

ID	Parkhaus	Palettenanzahl p. a.	Palettenanzahl p. d.
8	E. Breuninger GmbH & Co., Breuninger	365.085	1.197
15	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Hauptbahnhof ¹³	412.360	1.352
19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Gerber	574.010	1.882
21 / 24	Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR / Parkplatz Seidenstr.	247.660	812

Tabelle 3-6: Ergebnis der City-Hub-Standortplanung unter Berücksichtigung ausgewählter Standorte

Parametervariation

Auf Basis der Lösung des Standortproblems ohne Berücksichtigung der Trassenplanung werden nachfolgend die Auswirkungen der Variation der Transport- und Investitionskosten auf das Endergebnis der Standortplanung veranschaulicht. Die Parametervariation wird deshalb auf Basis der Lösung des Standortproblems ohne Berücksichtigung der Trassenplanung durchgeführt, da der Lösungsraum durch die Trassenplanung bereits deutlich eingeschränkt ist und sich die Auswirkungen der Transport- und Investitionskosten sonst nicht eindeutig darstellen lassen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.15 dargestellt. Variiert werden jeweils entweder die Transport- oder die Investitionskosten mit einem Faktor von 0,25 bis 2 bei einer Schrittweite von 0,25. Aus den Verläufen geht hervor, dass die Ergebnisse der Standortplanung deutlich sensibler auf eine Veränderung der Transportkosten reagieren als auf eine Veränderung der Investitionskosten in gleichem Maße. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Transportkosten im Vergleich zu den Investitionskosten einen größeren Anteil der Gesamtkosten einnehmen. Die Auswirkung auf die optimale Anzahl an City-Hubs ist ebenfalls zu nennen. Diese läuft bei der Veränderung des Variationskoeffizienten für Transport- und Investitionskosten in unterschiedliche Richtungen. Bei Erhöhung der Transportkosten lohnt sich eine erhöhte Kundennähe, was zu einer Erhöhung der Anzahl an City-Hubs führt. Bei Erhöhung der Investitionskosten hingegen verringert sich die Anzahl an City-Hubs.

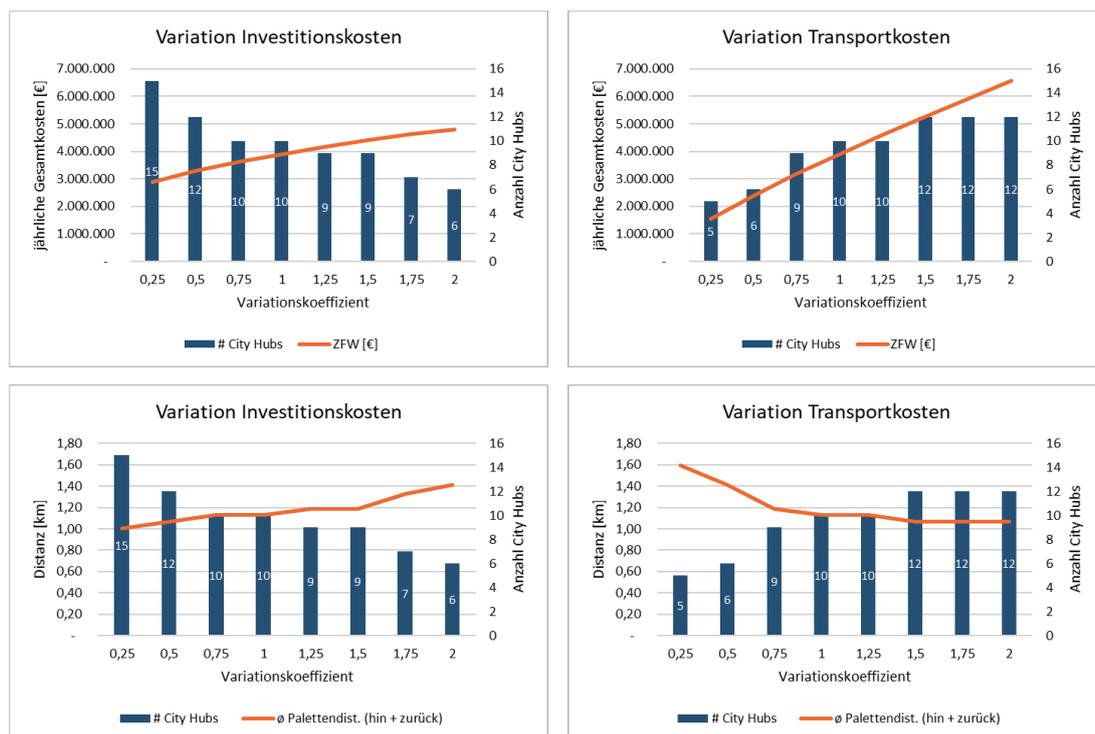


Abbildung 3.15: Variation der Transport- und Investitionskosten

3.3 Trassenplanung

3.3.1 Problemstellung der Trassenplanung

Durch die Standortbewertung von Urban-Hub und City-Hubs liegen die potenziellen Ausgangs- bzw. Zielpunkte der Tunnel bereits fest und werden in den Abschnitten 3.1.3 und 3.2.3 dargestellt. Im Folgenden ist unter Berücksichtigung beschränkender Faktoren herauszufinden, wie diese Punkte unterirdisch miteinander verbunden werden können. Folgende Restriktionen gilt es u. a. zu beachten:

- Hydrogeologische Gegebenheiten (z. B. Anhydrit-Schichten, Mineralwasserschutz-zonen)
- Untergrundinfrastruktur (z. B. Fernwärme-, Gas- und Frischwasserleitungen, Kanalisation, S-Bahn- bzw. U-Bahn-Trassen, Sammler, Düker)
- Fundamente/Tiefgaragen bei oberflächennaher Tunnelführung

3.3.2 Zielsetzung der Trassenplanung

Das Ziel dieser Trassenplanung besteht in der Festlegung einer unterirdischen Verbindung von Urban-Hub und City-Hubs. Die möglichen Standorte von Urban-Hub und City-Hubs wurden in den vorherigen Abschnitten 3.1.3 bzw. 3.2.3 aufgezeigt. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf einer Minimierung der Tunnelstrecke, da der Tunnelbau erfahrungsgemäß einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt (vgl. Abschnitt 5.1.4.10).

3.3.3 Vorgehensweise und Methodik der Trassenplanung

3.3.3.1 Vorgehensweise und Methodik

Die zu planende Trasse wird in zwei Segmenten betrachtet: zum einen vom Urban-Hub in die Innenstadt und zum anderen der Routenverlauf in der Innenstadt. Die Route wird derart gewählt, dass die Gesamtlänge und die Anzahl von Abzweigungen minimal sind. Dabei sind folgende grundlegende Herausforderungen der Gegebenheiten in Stuttgart zu in der Trassenplanung zu berücksichtigen.¹⁴

Hydrogeologie

In der Region Stuttgart und im Umkreis befindet sich ein Quellenschutzgebiet von ca. 30 000 ha (Regierungspräsidium Stuttgart 11.06.2002). Dieses ist in eine Außen-, eine Innen- und eine Kernzone untergliedert. Zum Schutz vor quantitativen und qualitativen Beeinträchtigungen kommt den Deckschichten über dem Oberen Muschelkalk, insbesondere den als ‚Dichtschicht‘ bezeichneten Grundgipsschichten an der Basis des Gipskeupers, sowie der Höhenlage des Mineralwasserdruckspiegels (Grundwasserdruckfläche des Mineralwasseraquifers Oberer Muschelkalk) maßgebende Bedeutung zu. In Bezug auf die genannten Kriterien sind in der Kern- und der Innenzone des Schutzgebiets wasserwirtschaftliche Grundanforderungen (Heilquellenschutzverordnung v. 11.06.2002, Neuauflage Technischer Heilquellenschutz 04/2021) für Baumaßnahmen definiert, um direkte bzw. indirekte Eingriffe in das Mineralwassersystem zu verhindern. Wesentliche Grundanforderungen sind:

Kernzone:

- Eingriffe sind auf die künstliche Auffüllung und die quartären Lockersedimente beschränkt.
- Keine bauzeitliche Wasserhaltung.

Innenzone:

- Keine Eingriffe in die Grundgipsschichten des Gipskeupers bei gleichzeitiger Un-

¹⁴
In Abstimmung
mit dem Amt für
Umweltschutz und
dem Tiefbauamt.

terschneidung des Mineralwasser-Druckspiegels.

- Befristete Dauer und Menge von Wasserhaltungen.

Auf Empfehlung des Amtes für Umweltschutz wird ein Trassenverlauf gewählt, der die Gebiete der Kernzone (dargestellt in Abbildung 3.16) mit einem Sicherheitsabstand umfährt.

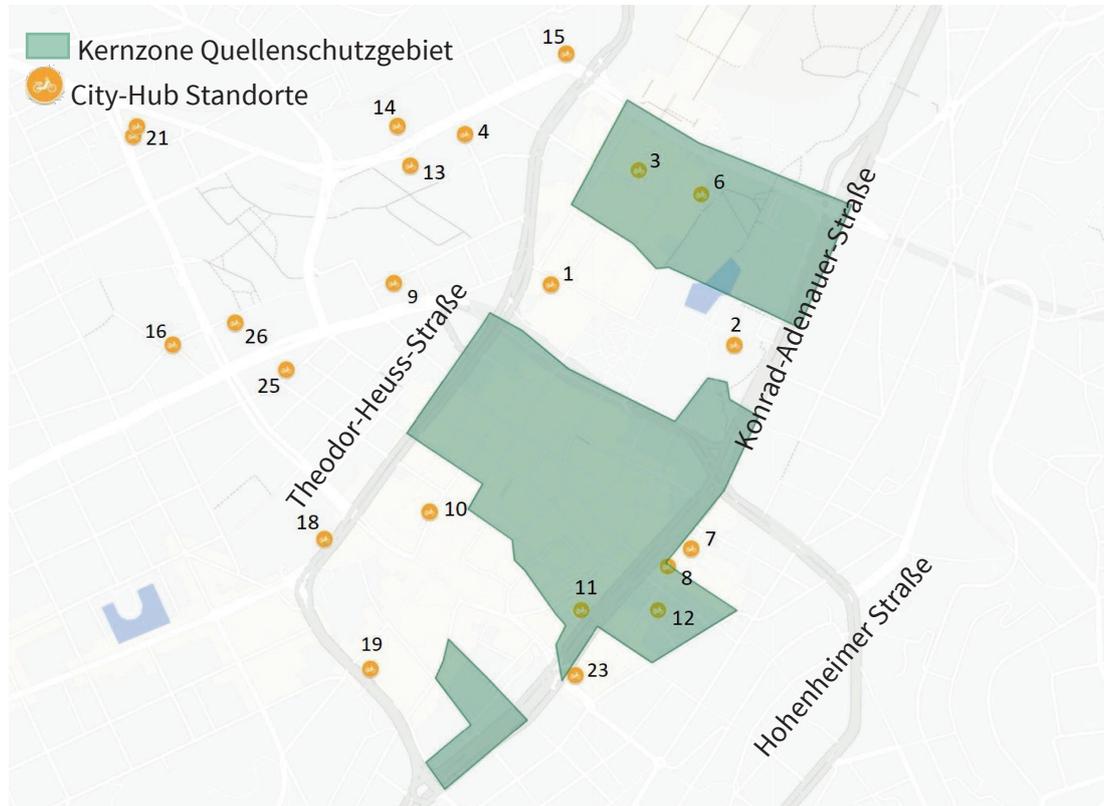


Abbildung 3.16: Übersicht über zu umfahrende Gebiete der Kernzone

Untergrundinfrastruktur

Unmittelbar unter der Straßenoberfläche verlaufen Leitungen und Sammler. Um deren Umverlegung zu vermeiden, wird die Trasse mit einer ausreichenden Überdeckung von einem Tunneldurchmesser (5,5 m) geplant. Tiefer liegende Bauwerke, wie U- und S-Bahn, sowie der Hauptsammler West/Friedrichstraße und der Nesenbach Düker werden durch parallelen Verlauf oder Querung in ausreichender Tiefe berücksichtigt. Die Tiefenlage der Tunneltrasse wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht ganzheitlich untersucht. Eine Detailanalyse zur innerstädtischen Tiefenlage bei kleineren Bauwerken muss in anschließenden Untersuchungen genauer durchgeführt werden. Abbildung 3.17 zeigt unterirdische Bauwerke im Innenstadtbereich auf Basis der Daten von OSM. Die schwarzen Linien beschreiben den unterirdischen Verlauf von S- und U-Bahn und der S21-Röhren. In Grün sind Sammler und Leitungen eingezeichnet.

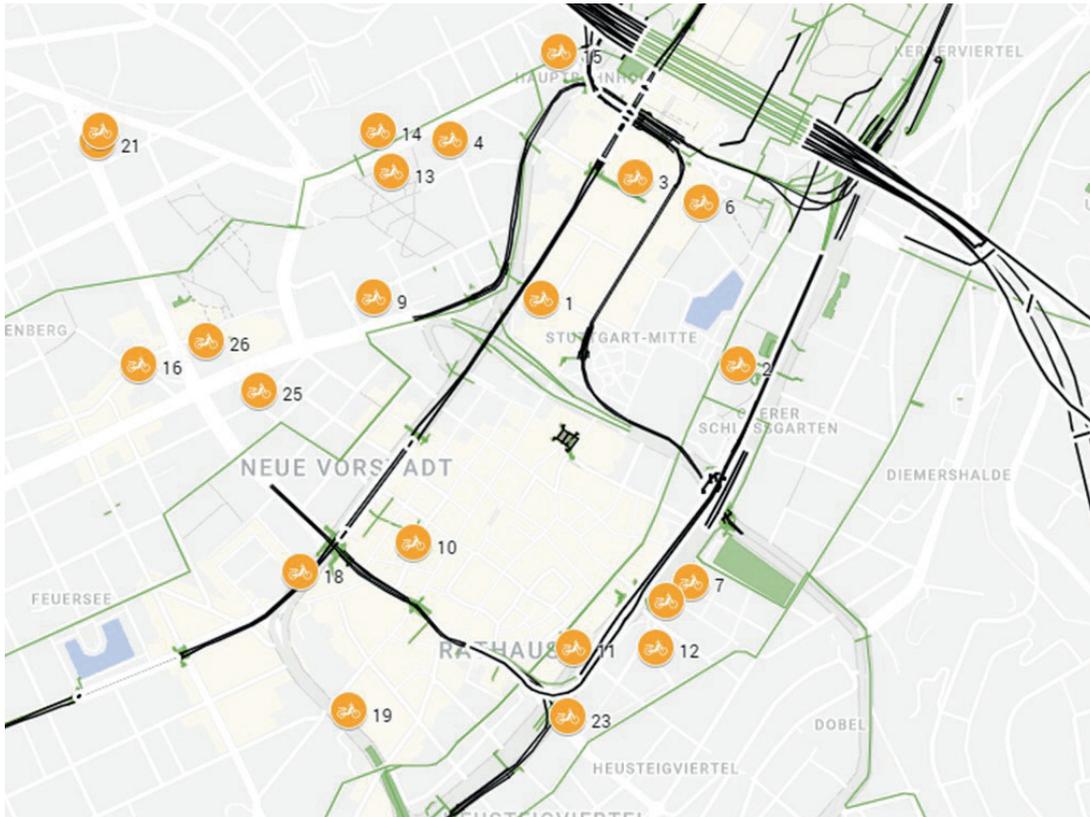


Abbildung 3.17: Übersicht über die Untergrundinfrastruktur

Fundamente und Grundstücke

Es ist davon auszugehen, dass zahlreiche Gebäude der Innenstadt durch Fundamente gegründet sind, die tiefer reichen als die geplante Überdeckung. Hinzu kommen Unterkellerungen und Tiefgaragen. Zur Vereinfachung wird insbesondere im Innenstadtbereich eine Trassenführung unter dem Straßenverlauf geplant.

Dadurch reduziert sich auch die unterfahrene Fläche von Grundstücken in Privatbesitz. Für diese werden Kosten für die Inanspruchnahme von Flächen Privater erwartet, sodass sie bei der Trassenplanung gemieden werden. Die Kostenberechnung für dennoch unterfahrene Privatgrundstücke wird wie in Abschnitt 5.1.4.10 beschrieben.

3.3.3.2 Limitationen der Trassenplanung

Da ein Teil der unterirdischen Bauwerke in Stuttgart zur kritischen Infrastruktur (z.B. Fernwärme-, Gas- und Frischwasserleitungen) zählt, konnten keine flächendeckenden Karten zur Trassenplanung zur Verfügung gestellt werden.¹⁵ Die verwendeten Informationen wurden daher aus OSM extrahiert.

In Rücksprache mit dem Auftraggeber wurde für die Machbarkeitsstudie keine Baugrunduntersuchung durchgeführt. Die Erfahrungswerte des Projektteams aus S21 und dessen Analyse ergaben, dass eine Trassenführung entlang der S21-Trasse (PFA 1.6a) günstig ist. Entlang dieser Strecke liegen Baugrundgutachten und Erfahrungen vor. Aus diesem Grund wurden für die anderen Trassen keine weiteren Baugrundgutachten eingeholt. In möglichen weiteren Untersuchungen zum UWT in der LHS wird dennoch eine detaillierte Prüfung des Baugrunds empfohlen.

¹⁵
In Abstimmung mit
dem Tiefbauamt
am 11.05.2021.

3.3.4 Ergebnisse der Trassenplanung

Die zu planende Trasse wird, wie in Abschnitt 3.3.3.1 beschrieben, in zwei Segmenten betrachtet: zum einen vom Urban-Hub in die Innenstadt und zum anderen der Routenverlauf in der Innenstadt.

Die Nutzung der bestehenden Stadtbahntrassen kann aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen werden: Zum einen kann in den eingesetzten Zugkompositionen keine Fläche zum Transport von Gütern abgegeben werden. Diese wird komplett für den Passagierverkehr benötigt. Zum anderen könnte zwar ein zusätzlicher Waggon für den Transport von Gütern angehängt werden, findet aber an den bestehenden Haltestellen keine Fläche zum Entladen. Die im Innenstadtbereich meist unterirdisch liegenden Haltestellen können nicht um eine Fläche für den Gütertransport verlängert werden. Zudem müsste ein angehängter Güterwaggon an den Endhaltestellen der Stadtbahnlinien umgehängt werden. Das Rangieren des Waggons benötigt Fläche und Zeit. Beides ist aktuell im Fahrplan und im Streckenlayout nicht vorhanden. Aufgrund der Taktzeit der Züge auf der Stammstrecke im Innenstadtbereich ist ein zusätzlicher Halt zum Entladen eines Zugs mit angehängtem Güterwaggon oder eines eigens verwendeten Güterzugs nicht möglich. Außerhalb der Betriebszeiten der Stadtbahn finden die Instandhaltungsarbeiten des Streckennetzes und der Bahnhöfe statt. Hier wäre es möglich, vereinzelt Züge fahren zu lassen. Darüber hinaus haben grundsätzlich Passagiere bei der Stadtbahn die höchste Priorität, da das System für den Personentransport gebaut wurde. Sobald eine Störung im System auftritt, würde der Güterverkehr nicht mehr bedient werden. Der für das UWT-System notwendige kontinuierliche Güterfluss kann so nicht gewährleistet werden.

3.3.4.1 Segment 1: Trasse Urban-Hub bis Innenstadt

Für den ersten Abschnitt werden verschiedene Routenoptionen verglichen, die den Urban-Hub am SVG-Autohof (vgl. 3.1.3) mit der Innenstadt (hier: Breuninger Parkhaus) verbinden. Hierbei wurden im Allgemeinen die vier folgenden Routenoptionen identifiziert:

1. Luftlinie (euklidische Distanz)
2. Verlauf parallel zur Trasse des Bahnprojekts S21 nach Unter- und Obertürkheim (PFA 1.6a)
3. Verlauf nördlich der S21-Trasse
4. Verlauf südlich der S21-Trasse

Abbildung 3.18 zeigt die verglichenen Routenoptionen mit nördlichem Verlauf, parallelem Verlauf zu S21, Luftlinie und südlichem Verlauf.

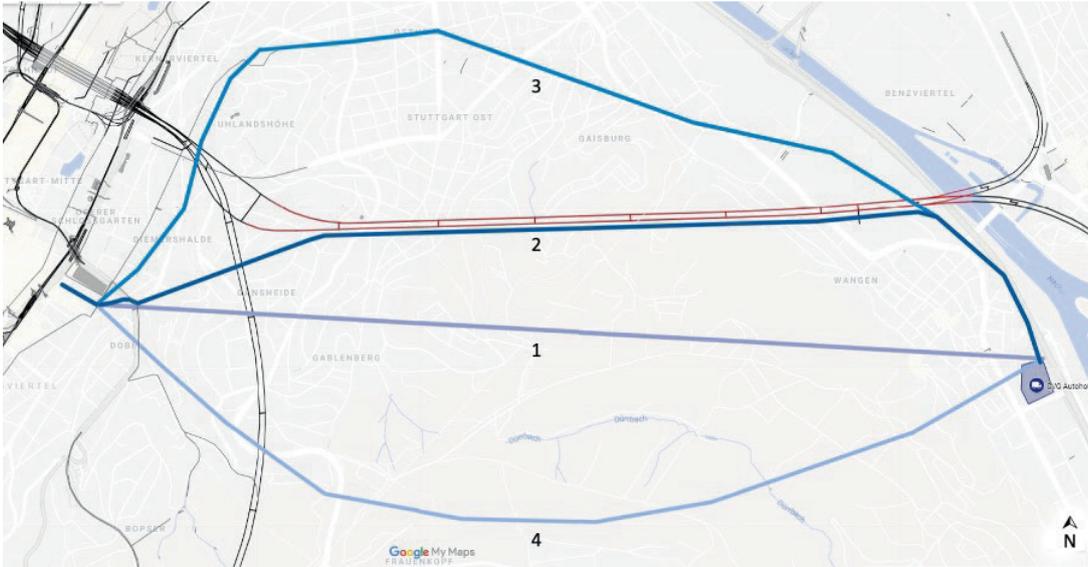


Abbildung 3.18: Routenoptionen der vier Trassen zwischen Urban-Hub und Innenstadt

Die Varianten werden im Folgenden anhand von Bewertungskriterien überprüft (vgl. Tabelle 3-7). Die Bewertung erfolgt für jedes Kriterium nach den Bewertungsstufen ‚ungünstig‘ (-), ‚bedingt‘ (o) und ‚günstig‘ (+). Je nach Abstufung werden ein bis drei Punkte vergeben, wobei für ‚ungünstig‘ ein Punkt, für ‚bedingt‘ zwei Punkte und für ‚günstig‘ drei Punkte je Kriterium vorgesehen sind. Neben der Streckenlänge (vom SVG-Autohof bis zum Breuninger Parkhaus) wird berücksichtigt, ob und wie viele Anbindungsmöglichkeiten für City-Hubs auf der Strecke vorhanden sind, noch bevor die Innenstadt erreicht ist. Das Vorliegen geologischer Untersuchungen für die Route geht ebenso wie das zu erwartende Baugrundrisiko in die Bewertung ein. In Abschnitt 5.1.4 wird weiter auf die geologische Situation eingegangen.

Bewertungskriterien	Trassenalternativen								Bewertungsstufen
	1. Luftlinie		2. Entlang S21		3. Nördlich		4. Südlich		
Länge [km] (UH bis Breuninger-Parkhaus)	4,8 (+0%)	+	5,1 (+6%)	+	6,3 (+31%)	-	5,6 (+17%)	o	+ 0 - 10% größer als Luftlinie o 11 - 20% größer als Luftlinie - > 21% größer als Luftlinie
City-Hub-Anbindungen	0	-	0	-	2	+	0	-	+ Hub-Standorte auf Route vorhanden - keine Hubs
Vorhandene geologische Untersuchungen	nicht vorhanden	-	bereits vorhanden	+	nicht vorhanden	-	nicht vorhanden	-	+ Untersuchungen vorhanden o Untersuchungen teilweise vorhanden - Keine Untersuchungen
Summe Bewertungspunkte			5		7		5		4

Tabelle 3-7: Bewertung der Trassenalternativen

Die Bewertung der Trassenalternativen zeigt, dass die Trasse entlang S21 nur ca. 6 % länger als die Luftlinie ist und damit die zweitkürzeste Strecke zwischen Urban-Hub und Innenstadt darstellt. Auf der Route nördlich der S21-Trasse besteht die Möglichkeit, zwei weitere City-Hubs (Neckartor und Rewe-Parkplatz Ostendstr.) anzuschließen. Aufgrund

der vorliegenden geologischen Situation ist im gesamten Suchraum von einem hohen Baugrundrisiko auszugehen, wie in Kapitel 5.1.4.6 näher beschrieben wird. Im Rahmen des Tunnelbaus der S21-Trasse nach Unter- und Obertürkheim (rot) wurden umfangreiche Baugrundgutachten erstellt, sodass entlang dieser Trasse bereits nachgewiesen wurde, dass die Realisierung eines Tunnels auf der Strecke umsetzbar ist. Für einen Großteil des Trassenverlaufs kann somit auf bereits existierende geologische Untersuchungen der S21-Trasse Bahntunnel Ober-/Untertürkheim zurückgegriffen werden. Deshalb wird ein Routenverlauf parallel zum gebauten S21-Tunnel gewählt. Neben der Machbarkeit besteht zusätzlich Potential der Kostensparung durch die Wiederverwendung von Baugrunduntersuchungen.

3.3.4.2 Segment 2: Trasse Innenstadt

Die Tunnelroute in der Innenstadt verbindet die Standorte der City-Hubs, die aus der Standortwahl hervorgehen (vgl. Abschnitt 3.2.3).

Ausschluss von Standorten

Die hydrogeologischen Rahmenbedingungen schränken die Erreichbarkeit der identifizierten City-Hub-Standorte ein (vgl. Abbildung 3.16). Hubs, die in Kernzonen für Mineralwasserschutz liegen, werden ausgeschlossen. Da die Route in der Innenstadt unter Straßen geplant wird, können – in Kombination mit den Kernzonen – Standorte im Innern des City-Rings nicht angebunden werden. Durch den Verlauf der U- und S-Bahn wird die Anbindung ebenso erschwert. So werden auch die Hubs im Europaviertel ausgeschlossen, die eine Unterführung der S21-Trasse sowie der U-Bahn nordwestlich des Hauptbahnhofs erfordern würden. In der Konzeptalternative zum Rosensteinquartier wird zusätzlich ein Anschluss des Milaneo unter Berücksichtigung der notwendigen Querung der S21-Trasse am Bahnhof zum Erreichen des Rosensteinquartiers untersucht (vgl. Abschnitt 7.4.1). Zusätzlich zum Trassenverlauf im Innenstadtbereich werden weiter außerhalb liegende City-Hubs durch einen alternativen Verlauf angebunden (Hub ID 27-32).

Tabelle 3-8 zeigt einen Überblick über die ausgeschlossenen und die in Abschnitt 3.2.3.3 ausgewählten City-Hubs.

ID	Name	Grund für Ausschluss	Ausgewählt ¹⁶
1	APCOA PARKING Deutschland GmbH Königsbau-Passagen	innerhalb City-Ring	
2	PBW Parkraumgesellschaft BaWü mbH Landtag (Parkplatz)	innerhalb City-Ring	
3	Q-Park Operations Germany GmbH & Co. KG Galeria Kaufhof	Kernzone Heilquelle	
5	PBW Parkraumgesellschaft BaWü mbH Theodor-Heuss-Straße	Kernzone Heilquelle	
8	E. Breuninger GmbH & Co. Breuninger		✓
10	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Kronprinzstraße	innerhalb City-Ring	
11	Stuttgarter Heimschutz Otto Müller GmbH & Co. KG Schwabenzentrum	Kernzone Heilquelle	
12	PARK SERVICE HÜFNER GmbH + Co. KG Züblin	Kernzone Heilquelle	
15	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Hauptbahnhof		✓
17	Contipark Parkgaragensellschaft mbH LBBW	Europaviertel	
19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Gerber		✓
20	APCOA PARKING Deutschland GmbH Parkhaus Milaneo	Europaviertel	
21/24	Parkplatz Seidenstraße / Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdÖR		✓
22	Pariser Platz	Europaviertel	
27	Parkhaus am Marienplatz APCOA	Alternativroute	
28	Tiefgarage Südtor APCOA	Alternativroute	
29	Tiefgarage Südwestbank APCOA	Alternativroute	
30	Tiefgarage Moltke-Areal	Alternativroute	
31	Rewe-Markt Parkplatz	Alternativroute	
32	Neckartor	Alternativroute	

Tabelle 3-8: Überblick über ausgeschlossene und ausgewählte City-Hubs

3.3.4.3 Planung der Route

Aus den verbleibenden Hubs wurden durch die diskrete Standortplanung, wie in Abschnitt 3.2.3.3 beschrieben, die Standorte 8, 15, 19 und 21 ausgewählt¹⁷ (violett in Abbildung 3.19). Eine Verbindung dieser vier Standorte untereinander und mit dem Urban-Hub wird auf Basis der beschriebenen Einschränkungen vorgenommen. Dabei ergibt sich der in Abbildung 3.19 gezeigte Routenverlauf. Die Gesamtlänge der Tunneltrasse beträgt ca. 9400 m, was u. a. zur Berechnung der Tunnelbaukosten relevant ist.

Auf dem Grundstück des SVG-Autohofs beginnt die Trasse in Richtung Norden unter der Bahnlinie parallel zur B10. Auf Höhe des Großmarktes führt der Verlauf nach Westen parallel zur S21-Trasse (PfA 1.6a). Auf Höhe Straußweg erfolgt eine leichte Kurve nach Südwesten in Richtung der Innenstadt. Dabei werden die beiden Röhren des Fildertunnels (S21 PfA 1.2) unterquert.

¹⁶
Vgl. Abschnitt
3.2.3.3.

¹⁷
Stand der Untersuchungen ist 2021. Die genannten City-Hub Standorte sind kontinuierlich mit den aktuellen und zukünftigen Planungen der Stadtentwicklung abzustimmen und ggf. in ihrer räumlichen Lage etwas zu variieren.



Abbildung 3.19: Gewählter Routenverlauf Gesamtstrecke

Damit im Innenstadtbereich wenige private Grundstücke unterfahren werden müssen, ist der Routenverlauf ab der Kreuzung Alexanderstraße/Charlottenstraße am Straßenverlauf orientiert (vgl. Abbildung 3.20). Hier wird außerdem die unterirdisch geführte Doppelklinge unterquert. Nach der Blumenstraße zweigt ein Stich in Richtung des ersten City-Hubs Parkhaus Breuninger (8) ab. Aufgrund der Mineralwasserschutz-Kernzone kann dieser City-Hub nur auf diese Weise erreicht werden.

Die Hauptroute verläuft unter Olga-, Mozart- und Weißenburgstraße zum Österreichischen Platz. Dort werden die B14, die U-Bahn und der Fangelsbach unterquert. Am Rupert-Mayer-Platz kreuzt der Nesenbach-Hauptsammler, der in ausreichender Tiefe unterfahren wird. Der zweite City-Hub, das Parkhaus Gerberviertel (19), wird von der Paulinenstraße aus angebunden. Die S-Bahn wird an der Kreuzung von Paulinen- und Rotebühlstraße gekreuzt. Um den Untergrundbahnhof Stadtmitte am Rotbühlplatz zu umgehen, verläuft die Route unter dem Finanzamt auf die Fritz-Elsas-Straße. Der Seidenstraße folgend wird ein City-Hub am Parkplatz Seidenstraße (21) angeschlossen. Über Hegel- und Kriegsbergstraße erreicht die Trasse den letzten City-Hub im Parkhaus Hauptbahnhof (15). Unter der Kriegsbergstraße verläuft ebenfalls der Hauptsammler West. Tiefer liegende Bauwerke, wie U- und S-Bahn, sowie der Hauptsammler West/Friedrichstraße und der Nesenbach Düker werden durch parallelen Verlauf oder Querung in ausreichender Tiefe berücksichtigt. Die Tiefenlage der Tunneltrasse wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht ganzheitlich untersucht. Eine Detailanalyse zur innerstädtischen Tiefenlage bei kleineren Bauwerken muss in anschließenden Untersuchungen genauer durchgeführt werden. Die Wahl der City-Hubs bezieht sich im Wesentlichen auf die räumliche Lage. Sollten einzelne Bauwerke aufgrund der Stadtentwicklung zukünftig nicht mehr zur Verfügung stehen ist in der räumlichen Nähe nach geeigneten Alternativen zu suchen.

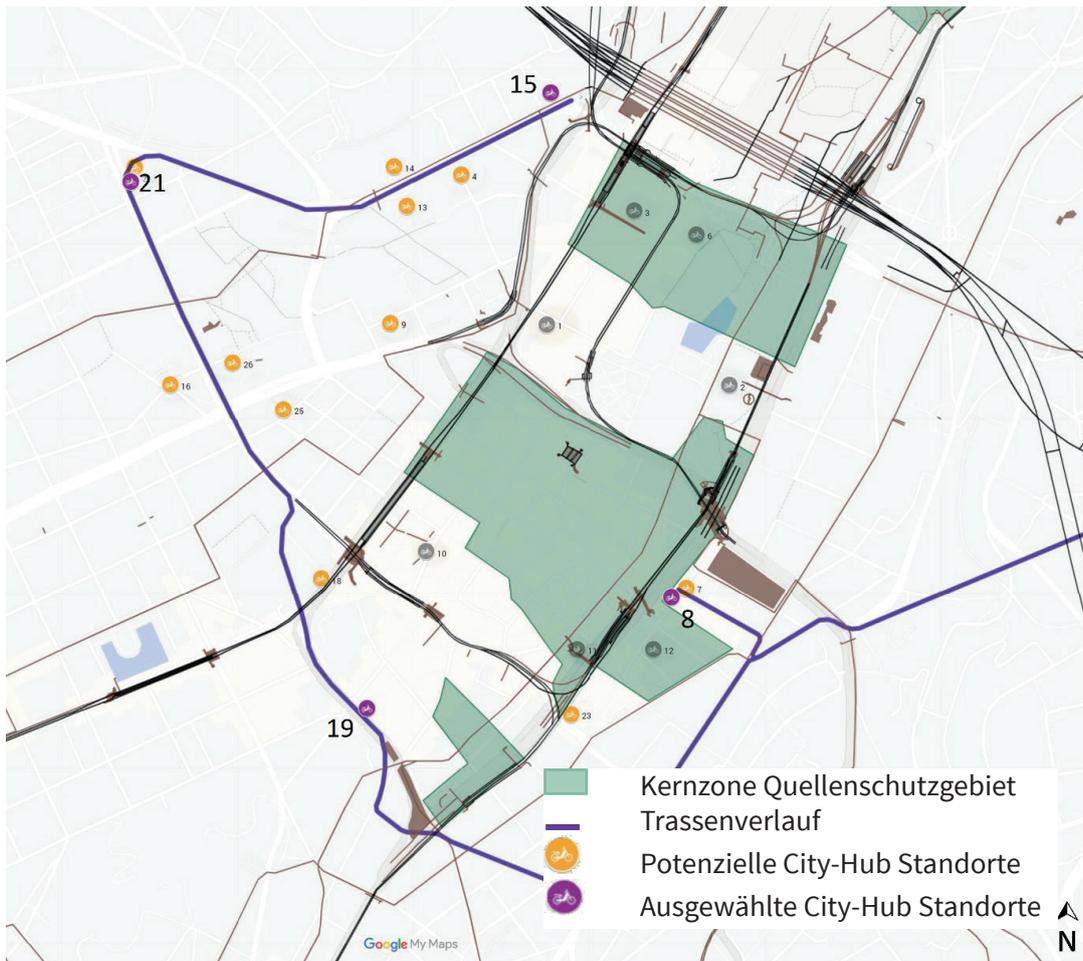


Abbildung 3.20: Modellierter Routenverlauf Innenstadt

3.4 Fazit der Standort- und Trassenplanung

3.4.1 Urban-Hub

Auf Basis der Ist-Daten wurden für die Standortwahl des Urban-Hub Gewerbegebiete am nördlichen und östlichen Rand der LHS untersucht. Für die weitere Vorauswahl wurde unter Einbeziehung der Lkw-Empfehlungsrouten die Betrachtung auf jene Gebiete eingegrenzt, die am schnellsten von außerhalb des Stadtgebiets mit Lkw zu erreichen sind. Insgesamt ließen sich so neun potenzielle Urban-Hub-Standorte identifizieren. Mittels einer Beurteilung von Luftbildern konnte diese Auswahl nochmals auf sechs Gebiete beschränkt werden, da die anderen Gewerbegebiete bereits vollständig belegt sind. Die verbliebenen sechs Gebiete wurden mittels eines Kriterienkatalogs auf ihre Eignung für das UWT-System bewertet. Die drei am besten bewerteten Gebiete befinden sich im Osten der LHS (SVG-Süd-Autohof, HKW Gaisburg, Hafen Stuttgart). Im weiteren Verlauf der Machbarkeitsstudie wurde das Gelände des SVG-Süd-Autohofs als Standort des Urban-Hubs festgelegt, da dieses in der Standortplanung Urban-Hub als am geeignetsten bewertet wurde (vgl. Abschnitt 3.1.3) und das Grundstück nach Gesprächen mit den Eigentümern für eine UWT-System-Nutzung zur Verfügung stehen würde.

3.4.2 City-Hub

Auf Basis einer Bewertung möglicher City-Hub-Standorttypen wurden 32 potenzielle City-Hub-Standorte im Einzugsbereich identifiziert. Diese sind entweder Parkhäuser bzw. Tiefgaragen oder mögliche Freiflächen. Die endgültige Standortwahl ist stark von den Ergebnissen der Trassenplanung abhängig, da dadurch erst definiert wird, welche der

potenziellen City-Hub-Standorte überhaupt angefahren werden können. Durch die Ergebnisse der Trassenplanung ergibt sich als Basislösung ein City-Hub-Netzwerk, das aus vier City-Hubs in City-Ring-Nähe besteht. Im Vergleich dazu würden zehn City-Hubs errichtet, falls die Reduktion potenzieller City-Hub-Standorte durch die Ergebnisse der Trassenplanung nicht vorgenommen wird. Diese Lösung ist jedoch nicht zu empfehlen, da die Standorte – selbst wenn die Trasse aus baulicher Sicht möglich wäre – nur mit hohem Aufwand verbunden werden können. Abschließend kann anhand der Ergebnisse der Parametervariation gezeigt werden, dass die Standortplanung stark von den Transportkosten und den in diesem Zusammenhang getroffenen Annahmen abhängt. Höhere Kosten für die Transporte zwischen City-Hub und Abnehmer sprechen für geringere Distanzen zu den Abnehmern und damit für eine höhere Anzahl an Standorten. Bei der Variation der Transport- und Investitionskosten wird die minimale Anzahl von vier City-Hubs, die als Ergebnis der Trassenplanung als Basislösung ermittelt wurde, jedoch nie erreicht. Dies verdeutlicht die restriktiven Rahmenbedingungen, die durch die Trassenplanung auf die Standortplanung einwirken. Den erhöhten Standortkosten stehen jedoch die geringeren Tunnelkosten durch die deutlich kürzere Trasse von 9,4 km gegenüber.

3.4.3 Trassenplanung

Die Trassenplanung des UWT-Systems erfolgte unter Beachtung von Hydrogeologie, Untergrundinfrastruktur und Fundamenten bzw. Grundstücken. Für die Trasse vom Urban-Hub (SVG Süd) bis zur Innenstadt wird ein Verlauf empfohlen, der größtenteils entlang des Bahnprojekts S21 nach Unter- und Obertürkheim (Planfeststellungsabschnitt 1.6a) verläuft. Dies hat u. a. den Vorteil, dass hierbei auf bereits vorhandene geologische Untersuchungen und Erfahrungen zurückgegriffen werden kann. In der Innenstadt werden unter Berücksichtigung der Wasserschutzgebiete vier City-Hubs angebunden. Diese sind das Parkhaus Breuninger, das Parkhaus Gerberviertel, der Parkplatz Seidenstraße und das Parkhaus Hauptbahnhof. Diese genannten City-Hub Standorte sind kontinuierlich mit den aktuellen und zukünftigen Planungen der Stadtentwicklung abzustimmen und ggf. in ihrer räumlichen Lage etwas zu variieren. Die empfohlene UWT-Trasse mit einer Länge von insgesamt ca. 9400 m wird als technisch machbar eingeschätzt. Diese Einschätzung ist in möglichen anschließenden Untersuchungen durch ein Baugrundgutachten zu bestätigen.

4. Materialfluss- und Fördertechnik

4.1 Förderhilfsmittel

Für den Transport von Stückgut werden in der Logistik Förderhilfsmittel (auch Ladungsträger, Ladehilfsmittel) eingesetzt, auf denen die Waren zu Gebinden zusammengepackt werden. Folgende Förderhilfsmittel sind hierbei gemäß (Arnold et al. 2008) für den deutschen Handel relevant (vgl. Tabelle 4-1):

Bezeichnung	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Ladehöhe [mm]
Europoolpalette	1.200	800	144	1.800
Europool-Halbpalette	800	600	144	1.800
Europool-Viertelpalette	600	400	144	1.800
Industriepalette	1.200	1.000	144	1.800
Rollbehälter	810	720	200	1.350
Rollpalette	800	600	200	-

Tabelle 4-1: Relevante Förderhilfsmittel im deutschen Handel¹⁸

Wie in Abschnitt 2.3.1 dargestellt, befasst sich diese Untersuchung mit dem Transport palettierbarer Waren. Demzufolge bezieht sich die weitere Betrachtung der Materialfluss- und Fördertechnik auf die Verwendung der Europoolpalette als Förderhilfsmittel.

Entscheidend für die Abmessungen der Tunnelröhre wie auch für die vor- und nachgelagerte Logistik ist die Ladehöhe des Förderhilfsmittels. Hier existieren unterschiedliche Empfehlungen für die Palettenladehöhe. Zum einen gibt es die Empfehlung der CCG (Centrale für Coorganisation, mittlerweile ist die Gesellschaft in GS1 Germany umbenannt) und zum anderen den EUL-Standard (Efficient Unit Load) der ECR Europe. Folgende Ladehöhen, zuzüglich einer Palettenhöhe von ca. 150 mm, werden jeweils empfohlen:

CCG I: 1050 mm
 CCG II: 1650–1950 mm
 EUL 1: 1200 mm
 EUL 2: 2400 mm

Im weiteren Verlauf der Studie wird von einer maximalen Palettenhöhe von 2,4 m ausgegangen. Dies entspricht der Empfehlung nach EUL 2. Damit kann das Maximum an Ladehöhe eines Lkw optimal ausgenutzt werden.

4.2 Vorauswahl der Fördertechnik

Von wesentlicher Bedeutung hinsichtlich der technischen Machbarkeit des UWT-Systems ist die Betrachtung der Materialfluss- und Fördertechnik. Hierbei bedarf es unterschiedlicher Fördertechnik, die die Waren vom Urban-Hub zum City-Hub transportiert. Für ein solches System werden sowohl Horizontalförderer wie auch Vertikalförderer benötigt. Im folgenden Abschnitt wird untersucht, welche Komponenten für die jeweilige Aufgabe am geeignetsten sind. Die einzelnen benötigten Fördertechniken sind bereits vorhanden und für sich in der Praxis erprobt.

4.2.1 Problemstellung der Fördertechnikvorauswahl

Im Folgenden gilt es herauszufinden, welche technischen Lösungen für das System in Frage kommen. Derzeit existieren unterschiedliche Konzepte zum automatisierten Transport in Röhren (vgl. Tabelle 4-2). Ein Großteil der Konzepte fokussiert sich hierbei auf den Hauptlauf. Für diese Machbarkeitsstudie ist insbesondere die sogenannte ‚vorletzte Meile‘ von Bedeutung. Hiermit wird der Transport zwischen einem Güterverteilzentrum (hier: Urban-Hub) außerhalb der Stadt und einem Hub im Stadtzentrum (hier: City-Hub) bezeichnet, von dem aus die Feinverteilung zum Kunden (‚letzte Meile‘) geschieht.

Konzept	Förderhilfsmittel	System	Geschwindigkeit	Transport
Smart City Loop	Europoolpalette	autonomer Schleppzug	ca. 10 km/h	vorletzte Meile
Cargo Sous Terrain	Europoolpalette	fahrerloses Transportsystem	ca. 30 km/h	Hauptlauf, vorletzte Meile
CargoCap	Europoolpalette	Caps (schienengebunden)	ca. 36 km/h	vorletzte Meile
Mole Solutions	Europoolpalette	Caps (schienengebunden)	k. A.	Hauptlauf
The Boring Company	ISO-Container	Caps (schienengebunden)	k. A.	Hauptlauf
Virgin Hyperloop One	Europoolpalette	Caps (schienengebunden)	ca. 1000 km/h	Hauptlauf
Nutzung vorhandener Infrastruktur städtischer Verkehrsbetriebe	Europoolpalette/ Transportboxen	Stadtbahn/ U-Bahn	ca. 50 - 80 km/h	vorletzte Meile

Tabelle 4-2: Übersicht relevanter Anbieter zum Warentransport in Röhren¹⁹

Konzept Smart City Loop

Das Konzept der Smart City Loop GmbH setzt auf eine Röhre mit 4 m Innendurchmesser, in der autonome Transportsysteme zweispurig fahren. Hierin erfolgt der Warentransport nach derzeitigem Kenntnisstand mit autonomen Unstetigförderern, bspw. Elektroschleppzügen (Smart City Loop 2021). Das System ist dafür konzipiert, palettierte Waren in die Stadt hinein und Retouren, Mehrwegbehälter sowie Abfälle aus der Stadt heraus zu befördern (Kühnhold 2021). In Hamburg wurde hierzu im Jahr 2020 eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, die laut dem Planungsteam zu dem Ergebnis kam, dass das System wirtschaftlich betreibbar ist. Eine Realisierung für einen ersten Streckenabschnitt zwischen Hafen und Messe wird derzeit geplant und soll in den kommenden Jahren umgesetzt werden.

Konzept Cargo Sous Terrain

Die Cargo Sous Terrain AG (CST) ist eine privatwirtschaftliche Initiative zahlreicher Schweizer Firmen. Bei diesem Modell werden als Fördertechnik selbstfahrende, schienenfreie Transportfahrzeuge eingesetzt, die über einen elektrischen Antrieb mit Induktionsschiene verfügen. In einer dreispurigen Röhre mit einem Durchmesser von ca. 6 m fahren die Fahrzeuge mit einer konstanten Geschwindigkeit von rund 30 km/h. Zusätzlich kommt für kleine Güter eine Paket-Hängebahn an der Decke des Tunnels zum Einsatz (Cargo sous terrain AG 2021). Ein erster Streckenabschnitt soll ab dem Jahr 2031 die Schweizer Orte Härkingen-Niederbipp und Zürich unterirdisch miteinander verbinden.

Konzept CargoCap

Das System CargoCap, das von 1998 bis 2002 an der Ruhr-Universität Bochum entwickelt wurde, setzt auf schienengebundene, vollautomatische Transportfahrzeuge, die sogenannten Caps. Diese fahren einspurig in Fahrrohrleitungen von 2,8 m Innendurchmesser und sind in der Lage, Standardladungsträger, bspw. zwei Europoolpaletten, seitlich aufzunehmen (CargoCap GmbH 2021). Durch seitliche Führungsrollen werden die Caps geführt und das Ausschleusen an Weggabelungen wird ermöglicht. Zum Bau der Röhre wird ein sogenanntes Rohrvortriebsverfahren verwendet, das bspw. auch im Kanalbau zum Einsatz kommt. Hierdurch sind Baugeschwindigkeiten von bis zu 20 Meter pro Tag möglich.

Konzept Mole Solutions

Das unterirdische Logistiksystem (Underground Logistics System, ULS) von Mole Solutions aus Großbritannien transportiert Frachtgüter in autonomen, schienengebundenen Transportkapseln. Die Transportkapseln werden individuell auf die Anwendung angepasst (Container, Paletten, Behälter) und lassen sich auch in bestehende Infrastrukturen integrieren. Der Antrieb der Transportkapseln erfolgt magnetisch durch auf Schienen montierte Line-arinduktionsmotoren (Mole Solutions Ltd. 2020).

Konzept The Boring Company

The Boring Company ist ein US-amerikanisches Tunnelbau- und Infrastrukturunternehmen, das hauptsächlich durch seinen Gründer Elon Musk und das innovative Hyperloop-Konzept für den Personentransport bekannt ist. Auch für den unterirdischen Warentransport hat das Unternehmen Konzepte vorgestellt. Diese sehen vor, in einer ca. 3,6 m großen Röhre ISO-Container auf einer einspurigen Schiene zu transportieren (The Boring Company 2021).

Konzept Virgin Hyperloop One

Das US-amerikanische Unternehmen Virgin Hyperloop arbeitet in Hinblick auf Gütertransport mit dem Unternehmen DP World Cargospeed aus Dubai zusammen. Das System basiert auf dem Hyperloop-Konzept, bei dem Kapseln in einer fast luftleeren Röhre durch Magnettechnologie beschleunigt werden. Somit sind in der Theorie Geschwindigkeiten von bis zu 1000 km/h möglich (DP World 2021). Das System von Virgin Hyperloop One ist in oberirdischen Röhren konzipiert und unterscheidet sich hiermit von allen anderen besprochenen Konzepten.

Konzept (Mit-)Nutzung der vorhandenen Infrastruktur der städtischen Verkehrsbetriebe

Ein weiterer möglicher Ansatz für den unterirdischen Warentransport besteht darin, die bestehende Infrastruktur oder freie Nebenflächen der städtischen Verkehrsbetriebe zu nutzen. Die Stadtbahnstrecke der Stuttgarter Straßenbahn AG (SSB) hat eine Linienlänge von 237 km wovon sich ca. 29 % im Tunnel befinden. Hierbei wäre zunächst zu prüfen, ob und zu welchen – möglichst verkehrsarmen – Zeiten die vorhandenen Tunnelsysteme und Trassen nutzbar wären, ohne den Personenverkehr zu behindern. Als Fördertechnik kämen bspw. eigene vollautomatische Züge in Frage, wie sie bereits seit Jahren in großen Städten wie Nürnberg oder Singapur für den öffentlichen Nahverkehr erfolgreich eingesetzt werden. In Städten wie Frankfurt oder Karlsruhe laufen derzeit bereits tiefergehende Untersuchungen zur Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs für Gütertransporte, in deren Zusammenhang erste Praxistests durchgeführt werden (Schocke et al. 2020).

Wie sich zeigt, existieren derzeit bereits verschiedene Konzepte mit jeweils unterschiedlichen Lösungsansätzen. Die in den jeweiligen Konzepten eingesetzten Fördertechniken sind vorhanden und bereits im industriellen Einsatz bewährt. Jedoch beschränken sich die Gesamtsysteme zum UWT der jüngsten Zeit lediglich auf Konzepte und Versuche. Es fehlt eine umfassende Bewertung, welches Konzept bzw. welche Fördertechnik für spezifische Anforderungen geeignet ist und wie viel Fördertechnik jeweils benötigt wird. Dem-

zufolge ist zu klären, welches Konzept zu den speziellen Anforderungen der LHS passt.

4.2.2 Zielsetzung der Fördertechnikvorauswahl

Die Zielsetzung der Fördertechnikvorauswahl ist es, aus allen technisch möglichen Lösungen für das UWT-System diejenigen Fördertechniken vorauszuwählen, die für den Anwendungsfall in Stuttgart am geeignetsten scheinen. Auswahl und Bewertung der Materialfluss- und Fördertechnik erfolgten neben technischen auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Dementsprechend ist eine Kostenabschätzung für die Einzelkomponenten vorzunehmen. Hierbei gilt es insbesondere zu identifizieren, welche Kombination aus den einzelnen Fördertechnikkomponenten der Horizontalförderung, Vertikalförderung und Lastübergabe in Hinblick auf technische und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit am geeignetsten ist.

Als Ergebnis des Arbeitspakets Materialfluss- und Fördertechnik wird Folgendes bestimmt:

- Art und Anzahl der Horizontalförderer
- Art und Anzahl der Vertikalförderer
- Art der Lastübergabe
- Art und Anzahl der Feinverteilung

In Abgleich mit den technischen und wirtschaftlichen Parametern der einzelnen Fördertechniken erfolgt eine Bewertung der Machbarkeit.

4.2.3 Vorgehensweise der Fördertechnikvorauswahl

Die Erkenntnisse aus Abschnitt 4.2.1 zu den unterschiedlichen Konzepten gilt es mit den standortspezifischen Ergebnissen der anderen Arbeitspakete dieser Studie, insbesondere der Bautechnik und der Ist-Analyse, abzustimmen. Die Bautechnik gibt die maximal zur Verfügung stehenden Flächen für die Fördertechnik im Tunnel sowie an den Hubs vor. Ausgehend von der Ist-Analyse wird der Mindestdurchsatz des UWT-Systems festgelegt. Zudem ist zu ermitteln, welcher Durchsatz maximal mit dem System erreicht werden kann, um zukünftige Wachstumsmöglichkeiten einzubeziehen. Ebenso müssen die Engpässe im UWT-System identifiziert werden, die den Durchsatz des Systems limitieren.

Zum Erreichen der Ziele wurde ein mehrstufiges Vorgehen gewählt (vgl. Abbildung 4.1).

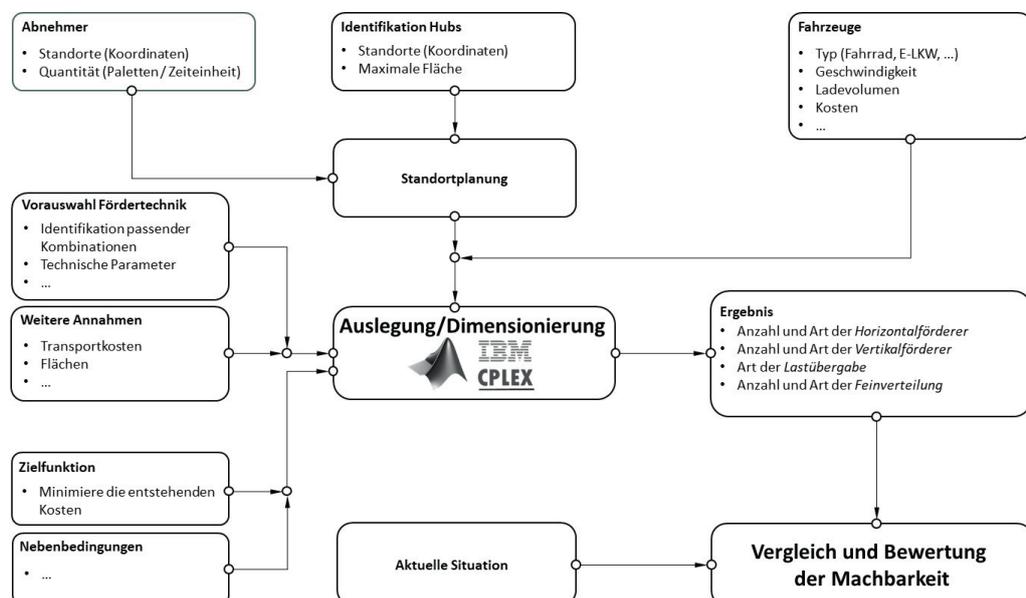


Abbildung 4.1: Vorgehensweise im Arbeitspaket Materialfluss- und Fördertechnik

Die Fördertechnik wird hierbei nicht in Einzelkomponenten, sondern als Gesamtsystem betrachtet. Die Systemauswahl erfolgt mittels eines Normmodells, das den fördertechnischen Prozess zwischen Urban-Hub und City-Hub schematisch abbildet. Anhand dieses Normmodells werden passende Kombinationen für die Horizontalförderer, die Vertikalförderer und die Lastübergabe identifiziert (vgl. Abbildung 4.2). Um diese Kombinationsmöglichkeiten einzugrenzen, erfolgt eine Vorauswahl der Fördertechnik auf Systeme, die sich für das UWT-System besonders eignen. Für jede dieser Fördertechniken werden die technischen Parameter ermittelt, die für die Machbarkeitsuntersuchung ausschlaggebend sind.

Verknüpft mit weiteren Annahmen, wie den Investitions- und Betriebskosten sowie dem Flächenbedarf, werden diese Ergebnisse in ein Optimierungsproblem überführt. In diesem wird anhand von Zielfunktionen eine optimale Lösung für das UWT-System hinsichtlich der Materialfluss- und Fördertechnik gesucht (vgl. Abschnitt 4.3).

4.2.4 Methode und Limitationen der Fördertechnikvorauswahl

Zunächst wurde der Prozess mittels des Normmodells abgebildet (vgl. Abbildung 4.2). Mit dem Normmodell wird der UWT-Prozess zunächst zwischen einem Urban-Hub und einem City-Hub beschrieben. Das Modell wird in Kapitel 4.3.3.1 für mehrere City-Hubs erweitert.

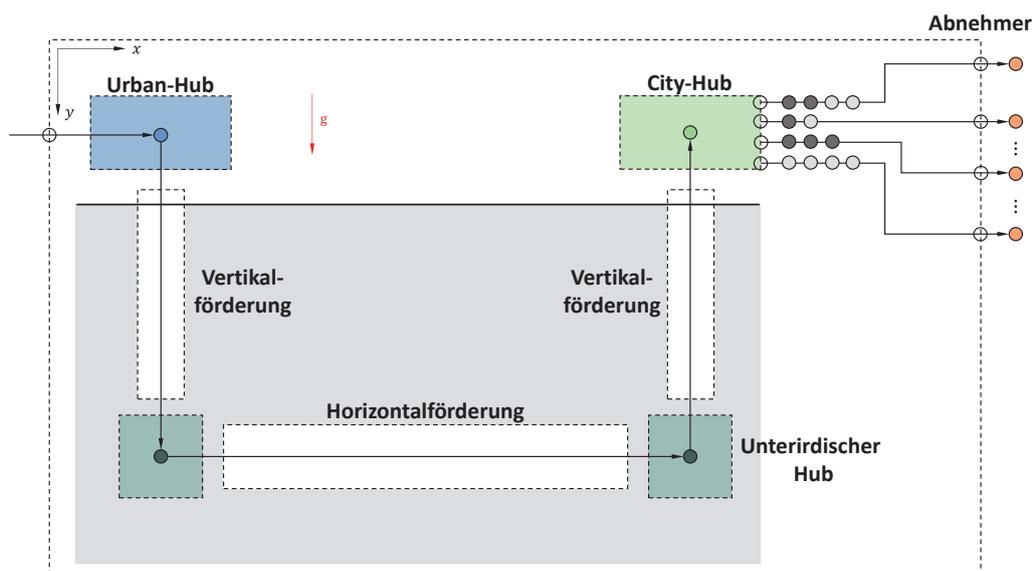


Abbildung 4.2: Normmodell des UWT

Die Waren werden von Lkw an der Quelle (Urban-Hub) angeliefert und dort mittels einer ersten Lastübergabe in das automatisierte System eingeschleust. Über einen Vertikalförderer gelangen die Waren vom oberirdischen Urban-Hub zu einem unterirdischen Hub, an welchem eine Lastübergabe von Vertikalförderern auf Horizontalförderer erfolgt. Die Horizontalförderer stellen das Kernstück des UWT-Systems dar. Hierbei werden die Waren in der unterirdischen Röhre zum nächsten Hub transportiert. Am unterirdischen Hub angekommen findet eine erneute Lastübergabe an die Vertikalförderer statt. Von dort werden die Waren über die vertikale Strecke auf das Niveau der Senke (City-Hub) gefördert. Im City-Hub erfolgt schließlich eine letzte Lastübergabe an die Feinverteilung, von der die Waren an die Abnehmer transportiert werden.

4.2.4.1 Methodik zur Vorauswahl der Fördertechnik

Die Vorauswahl der Fördertechnik wird in zwei Stufen durchgeführt. Anhand von K.-o.-

Kriterien werden zunächst diejenigen Fördertechniken ausgeschlossen, die sich nicht für einen UWT eignen. Daraufhin werden die verbleibenden Fördertechniken anhand einer Nutzwertanalyse bewertet und die geeignetste Fördertechnik wird in das Optimierungsmodell übernommen.

Anschließend erfolgt eine Bewertung der Fördertechnik anhand einer Nutzwertanalyse nach relevanten Bestimmungskriterien aus der Literatur (Hompel et al. 2018) sowie nach speziellen Kriterien für den unterirdischen Einsatz. Bei den Entscheidungskriterien wird zwischen ‚ungünstig‘ (-), ‚bedingt‘ (o) und ‚günstig‘ (+) unterschieden. Diese Abstufungen wurden im Vorhinein für jedes Kriterium individuell festgelegt. Je nach Abstufung werden ein bis drei Punkte vergeben, wobei für ‚ungünstig‘ ein Punkt, für ‚bedingt‘ zwei Punkte und für ‚günstig‘ drei Punkte je Kriterium vorgesehen sind. Die Entscheidungskriterien sind unterschiedlich stark gewichtet. Entscheidungskriterien, die für das UWT-System als besonders relevant erachtet werden, gehen mit Faktor 2 in die Bewertung ein. Entscheidungskriterien von nachgelagerter Relevanz für das UWT-System sind mit Faktor 0,5 bewertet.

4.2.4.2 Limitationen in der Fördertechnikvorauswahl

Eine Limitation bei der Förderauswahl ist die Festlegung des Förderhilfsmittels auf eine Standard-Europoolpalette. Insbesondere im LEH und bei Paketdiensten werden die Waren häufig neben Europoolpaletten auch in Rollbehältern mit Seitengittern transportiert. Diese eignen sich jedoch nur bedingt für den automatisierten Warentransport, da sie für einen Großteil der Fördertechnik ungeeignet sind.

Des Weiteren unterliegen die Kosten für Fördertechnik – aufgrund der angespannten Marktlage und der weltweiten Rohstoffknappheit u. a. für Stahl, Kunststoffe und Mikrochips – aktuell starken Schwankungen. Bedingt durch den Zeithorizont der Maßnahme von ca. 5 bis 15 Jahren kann es hierbei zu nicht vorhersehbaren Preissteigerungen kommen (vgl. Abschnitt 3.1).

4.2.5 Ergebnisse der Fördertechnikvorauswahl

Die Ergebnisse der Vorauswahl werden aufgeteilt nach Fördertechniken für die Horizontalförderer, die Vertikalförderer und die Lastübergabe dargestellt.

4.2.5.1 Ergebnis der Vorauswahl der Horizontalförderer

Für die Horizontalförderer wurden insgesamt neun verschiedene Fördertechniken in Betracht gezogen, die sich generell für einen Warentransport von Paletten eignen:

- Unterflurschleppkettenförderer (USF)
- Rollenbahn, angetrieben (RB)
- Tragkettenförderer (TKF)
- Band- und Gurtförderer (BGF)
- Autonomer Routenzug (ARZ)
- Elektrotragbahn (ETB)
- Fahrerloses Transportsystem (FTS)
- Elektrohängebahn (EHB)
- Schienengebundene Fördertechnik (SGF, ähnlich CargoCap oder Mole Solutions²⁰)

In einem ersten Schritt wurden mittels K.-o.-Kriterien diejenigen Fördertechniken identifiziert, die sich nicht für einen unterirdischen Transport in einer Tunnelröhre eignen. Hierfür wurde eine Liste mit Kriterien erstellt (vgl. Tabelle 4-3). Erfüllt eine Fördertechnik mindestens eines der K.-o.-Kriterien nicht, wird sie von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

K.-o.-Kriterien	USF	RB	TKF	BGF	ARZ	ETB	FTS	EHB	SGF
Geeignet für Paletten-transport	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Steigungen realisierbar	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 4-3: Liste der K.-o.-Kriterien für die Horizontalförderer

Mittels dieser K.-o.-Kriterien ließ sich die Auswahl vorab auf die folgenden Fördertechniken (Arnold et al. 2008) eingrenzen, die im nächsten Schritt mittels Nutzwertanalyse bewertet werden:

- Unterflurschleppkettenförderer (USF)
- Tragkettenförderer (TKF)
- Autonomer Routenzug (ARZ)
- Elektrotragbahn (ETB)
- Fahrerloses Transportsystem (FTS)
- Schienengebundene Fördertechnik (SGF)²¹

Insgesamt zehn weitere Entscheidungskriterien wurden für die Nutzwertanalyse identifiziert, um damit die verbleibenden Fördertechniken zu bewerten (vgl. Tabelle 4-4). Diese Kriterien wurden, je nach Bedeutung für das UWT-System, unterschiedlich stark gewichtet. Bei den Entscheidungskriterien wird zwischen ‚ungünstig‘ (-), ‚bedingt‘ (o) und ‚günstig‘ (+) unterschieden. Diese Abstufungen wurden im Vorhinein für jedes Kriterium individuell festgelegt. Je nach Abstufung werden ein bis drei Punkte vergeben, wobei für ‚ungünstig‘ ein Punkt, für ‚bedingt‘ zwei Punkte und für ‚günstig‘ drei Punkte je Kriterium vergeben werden. Eine detaillierte Auflistung der Nutzwertanalyse inkl. aller Entscheidungskriterien findet sich im Anhang (vgl. Tabelle 10-5).

	USF	TKF	ARZ	ETB	FTS	SGF
Summe Nutzwert	2,08	2,08	2,60	1,92	2,44	2,24
Platzierung	5	4	1	5	2	3

Tabelle 4-4: Ergebnis der Nutzwertanalyse für Horizontalförderer

Die Nutzwertanalyse ergab, dass die drei am besten geeigneten Fördertechniken für das UWT-System folgende Systeme in absteigender Rangfolge sind:

- Autonomer Routenzug
- Fahrerloses Transportsystem
- Schienengebundenes Transportsystem

Bei den drei bestimmten Fördertechniken für den Horizontaltransport handelt es sich ebenfalls um die zentralen Fördertechniken der UWT-Konzepte Smart City Loop (Autonomer Routenzug), Cargo Sous Terrain (fahrerloses Transportsystem) und CargoCap (schienengebundene Transportkapseln) (vgl. Abschnitt 4.2.1). Die drei Fördertechniken für den Horizontaltransport werden daher in der weiteren Materialflussplanung berücksichtigt.

21
Vgl. Abschnitt
4.2.1.

Folgende technische Daten werden für die weitere Berechnung zugrunde gelegt:

	Einheit	Autonomer Routenzug ²²	Fahrerloses Transportsystem ²³	Schienegebundene Fördertechnik ²⁴
Anzahl transportierte Paletten pro Fahrzeug	St.	4	2	2
Max. Fahrgeschwindigkeit	m/s	3,0	1,7	10,0

²²
STILL GmbH 2019

²³
Dematic GmbH 2021

²⁴
Deckert et al. 2020

Tabelle 4-5: Grundlegende technische Daten der Horizontalförderer

Die Investitionskosten werden für die drei Fördertechniken überschlägig geschätzt. Hierbei sind neben den marktüblichen Anschaffungskosten für ein Fahrzeug auch anteilige Kosten für die Entwicklung sowie für die notwendige Infrastruktur auf der gesamten Strecke (Streckenlänge: ca. 9400 m, vgl. Abschnitt 3.3) enthalten (vgl. Tabelle 4-6). Die Kostenschätzungen wurden mit vergleichbaren Projekten des Projektteams und ähnlichen Machbarkeitsstudien zum UWT abgeglichen (u. a. Deckert et al. 2020; Precht und Wilde 2021).

	Einheit	Autonomer Routenzug	Fahrerloses Transportsystem	Schienegebundene Fördertechnik ²⁵
Kosten Entwicklung	€	500.000	500.000	5.000.000
Kosten Infrastruktur	€	5.800.000	5.800.000	25.000.000
Kosten Fahrzeug	€	100.000	120.000	39.000

²⁵
Deckert et al. 2020

Tabelle 4-6: Investitionskosten der Horizontalförderer

Die Investitionskosten sind proportional abhängig von der Anzahl der jeweiligen Fahrzeuge. Wie in Abbildung 4.3 dargestellt wird, ist der autonome Routenzug bis zu einer Anzahl von ca. 390 Fahrzeugen am günstigsten. Ab diesem Punkt ist die schienegebundene Fördertechnik als Gesamtinvestition günstiger.

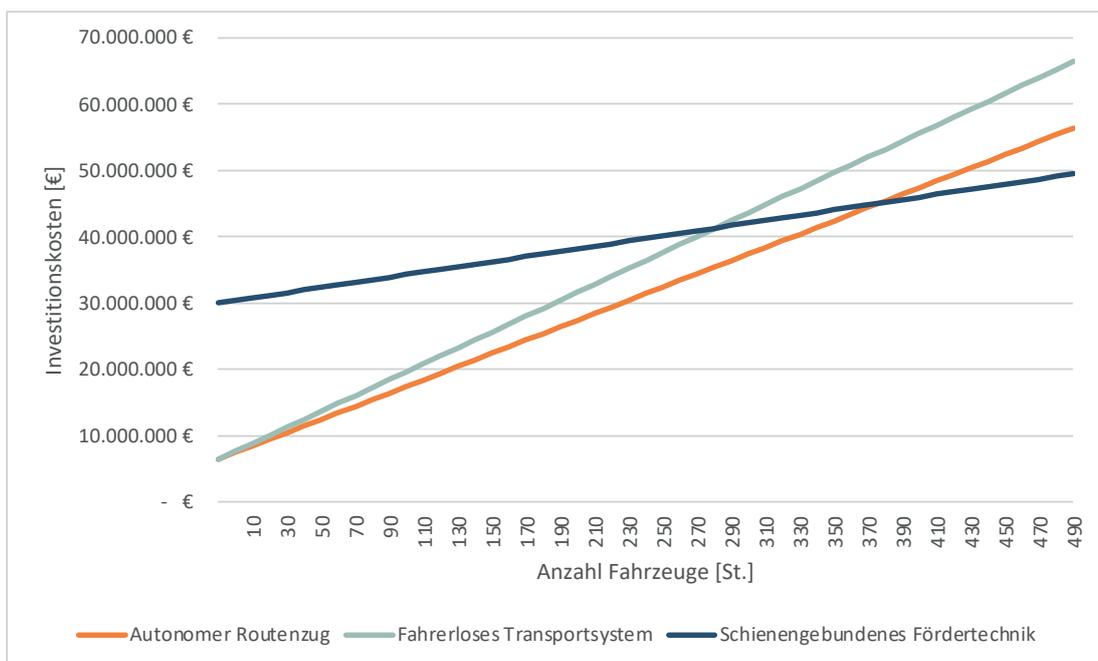


Abbildung 4.3: Entwicklung der Investitionskosten für Horizontalförderer in Abhängigkeit der Fahrzeuge

Um für das Optimierungsmodell der Materialflussplanung eine Vergleichbarkeit der drei Horizontalförderer hinsichtlich der Betriebskosten zu gewährleisten, werden die Kosten pro Fahrzeug und pro zurückgelegten Kilometer ermittelt. In den Kosten sind folgende Ein-

flussgrößen berücksichtigt:

- Instandhaltung Infrastruktur²⁶
- Instandhaltung Fahrzeug²⁶
- IT und Software
- Energiekosten²⁷
- Personal

Das Ergebnis der Kostenaufstellung ist in Tabelle 4-7 dargestellt. Eine detailliertere Betrachtung der Kosten findet sich im Anhang (vgl. Tabelle 10-6).

	Einheit	Autonomer Routenzug	Fahrerloses Transportsystem	Schienegebundene Fördertechnik
Operative Kosten pro km	€	0,141	0,082	0,102
Operative Kosten pro Palette und km	€	0,035	0,041	0,051

Tabelle 4-7: Operative Kosten der Horizontalförderer

Hierbei zeigt sich, dass der autonome Routenzug der Berechnung zufolge zunächst die höchsten Betriebskosten pro gefahrenen Kilometer aufweist. Dies lässt sich u. a. damit erklären, dass entgegen den beiden anderen Fördertechniken beim autonomen Routenzug vier statt zwei Paletten transportiert werden können und damit höhere Energiekosten für den Betrieb eines einzelnen Fahrzeugs notwendig sind. Betrachtet man die operativen Kosten pro Palette stellt sich der autonome Routenzug hingegen als am günstigsten dar. Ein wesentlicher Anteil an den vergleichsweise hohen operativen Kosten für die schienegebundene Fördertechnik ist auf die Instandhaltungskosten der fest verbauten Infrastruktur in der Tunnelröhre zurückzuführen.

4.2.5.2 Ergebnis der Vorauswahl der Vertikalförderer

Die Vertikalförderer zwischen oberirdischem und unterirdischem Hub haben Höhenunterschiede von ca. 7 m zu überwinden (vgl. Abschnitt 5.1.4.9). Hierzu können unterschiedliche Heber in Betracht gezogen werden. Nach (Arnold et al. 2008) lassen sich folgende drei Arten der Vertikalförderer unterscheiden:

- Etagenförderer
- Umlaufförderer
- Hubtische und Hebebühnen

Hubtische und Hebebühnen eignen sich u. a. aufgrund der Förderhöhe von ca. 7 m und den hohen Durchsatzanforderungen von ca. 5000 Paletten pro Tag nicht für einen Einsatz im UWT-System (Arnold et al. 2008). Demzufolge wurden für die weitere Betrachtung die Etagenförderer und der Umlaufförderer auf ihre Eignung untersucht. Für die weitere Materialflussplanung wurden in Bezug auf die Vertikalförderer folgende technische Werte festgelegt:

	Einheit	Etagenförderer ²⁸	Umlaufförderer ²⁸
Förderart	-	unstetig	stetig
Max. Fördergeschwindigkeit	m/s	1,6	1,0

Tabelle 4-8: Grundlegende technische Daten der Vertikalförderer

Die Investitionskosten pro Anlage belaufen sich bei den Vertikalförderern der Erfahrung des Projektteams nach bei den zugrunde liegenden Anforderungen auf folgende Werte (siehe Tabelle 4-9):

²⁶
Annahme: 3 % der Investition

²⁷
Meißner und Massalski 2020; Habenicht et al. 2013

²⁸
Arnold et al. 2008

	Einheit	Etagenförderer	Umlaufförderer
Gesamtkosten pro Anlage	€	150.000	200.000

Tabelle 4-9: Investitionskosten der Vertikalförderer²⁹

Die Betriebskosten der Vertikalförderer setzen sich aus Instandhaltungskosten, Kosten für wiederkehrende Prüfungen der Anlagen und Energiekosten zusammen ((Richtlinie VDI 4707-1), (Habenicht et al. 2013)). Das Ergebnis der Betriebskostenberechnung ist in Tabelle 4-10 aufgeführt. Eine detailliertere Betrachtung der Kosten findet sich im Anhang (vgl. Tabelle 10-7).

	Einheit	Etagenförderer	Umlaufförderer
Operative Kosten pro km	€	0,475	0,556

Tabelle 4-10: Betriebskosten der Vertikalförderer

4.2.5.3 Ergebnis der Vorauswahl der Lastübergabe

Die Lastübergabe stellt im UWT-Konzept das Bindeglied zwischen Vertikal- und Horizontalförderer sowie den Anschluss an die vor- und nachgelagerte Logistik dar. Hierbei können unterschiedliche Fördersysteme zum Einsatz kommen. Grundlegende Voraussetzung für die Lastübergabe ist, wie auch für alle anderen Fördertechniken, eine Eignung für den Transport von Europoolpaletten.

Für den Einsatz zur Lastübergabe für Stückgut bieten sich in der Theorie die folgenden Stetigförderer an (Arnold et al. 2008):

- Bandförderer
- Rollenbahn
- Tragkettenförderer
- Kreisförderer
- Power & Free
- Plattenbandförderer
- Grid Sorter

Da die Lastübergabe nur einen vergleichbar kleinen Anteil in der Fördertechnik des UWT-Systems ausmacht, wurde entschieden, im weiteren nur Rollenbahn und Tragkettenförderer als Fördertechniken in Betracht zu ziehen, um die Kombinationsmöglichkeiten für die weitere Materialflussplanung nicht zusätzlich zu vervielfachen. Diese beiden Fördertechniken sind in der Industrie verbreitet und haben sich für den Einsatz bei palettierten Waren bewährt.

Für die Investitionskosten der Lastübergabe bzw. für sonstige komplementäre Fördertechnik wird, entsprechend der Erfahrung des Projektteams, ein pauschaler Wert von 80.000 € pro Segment geschätzt. Die Betriebskosten für die Lastübergabe belaufen sich nach ersten Berechnungen (Habenicht et al. 2013); (SEW-Eurodrive GmbH & Co KG 2019) auf wenige Euro pro Tag und wurden daher in der weiteren Betrachtung vernachlässigt. Eine detailliertere Betrachtung der Kosten findet sich im Anhang (vgl. Tabelle 10-8).

4.3 Materialflussplanung

Nach der Vorauswahl der geeigneten Fördertechnik folgt die Materialflussplanung, wobei das gesamte UWT-System als intralogistisches System verstanden wird. Ziel der Materialflussplanung ist hierbei eine Dimensionierung der Anlage unter Berücksichtigung definierter Randbedingungen. Dazu zählt u. a. der geforderte Durchsatz an Paletten pro Stunde.

4.3.1 Problemstellung der Materialflussplanung

Vor dem Hintergrund der vorangegangenen Kapitel sind die wesentlichen Elemente des Materialflusssystems bekannt. Im darauffolgenden Schritt gilt es nun, diese aufeinander abzustimmen und dadurch Kenntnis über die Anzahl an Fördertechniken und die benötigten Flächen zu erhalten, wie in Abbildung 4.4 beschrieben. Dies bildet wiederum die Grundlage für eine anschließende Abschätzung der zu erwartenden Kosten.

4.3.2 Zielsetzung der Materialflussplanung

Um Wirkzusammenhänge zwischen den beteiligten Komponenten und relevante Parameter identifizieren zu können, ist es zielführend, ein zunächst abstraktes Systemverständnis zu entwickeln (vgl. Abschnitt 4.3.3). Hierzu dient eine schematische Darstellung des Systems, wobei sich mithilfe geeigneter Symbole sowohl die einzelnen Systemelemente als auch deren Eigenschaften und Flussrichtungen wiedergeben lassen. Im Anschluss daran kann das parametrisierte Modell mit Zahlenwerten belegt werden.

4.3.3 Vorgehensweise und Methodik der Materialflussplanung

4.3.3.1 Vorgehensweise der Materialflussplanung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die materialflusstechnische Darstellungsform des UWT-Systems, die Bedeutungen der jeweiligen Symbole sind der Legende zu entnehmen und werden im Folgenden erläutert.

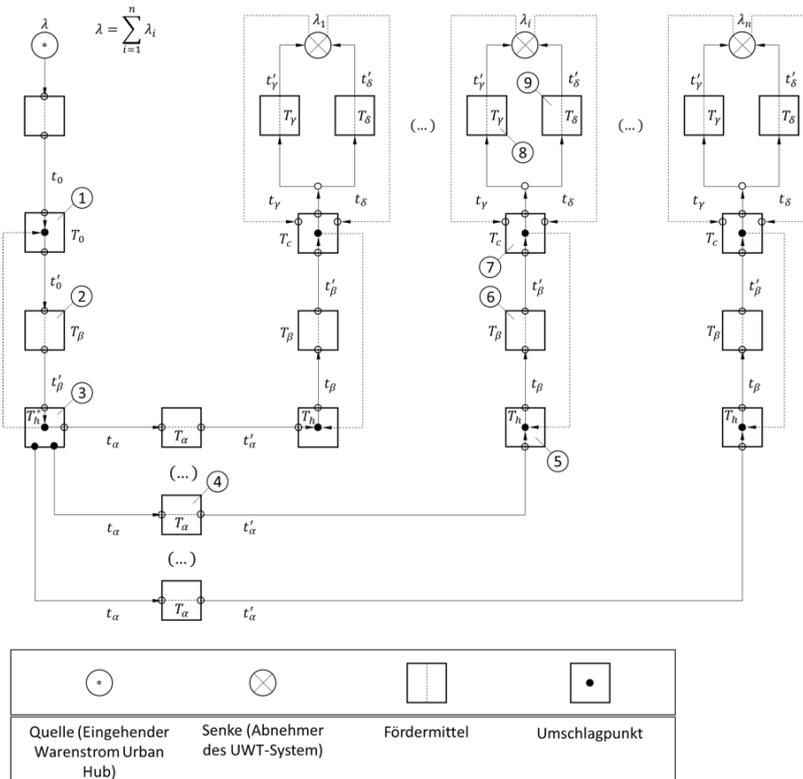


Abbildung 4.4: Abstrakte Materialflussdarstellung des UWT-Systems

Im Sinne eines allgemein formulierten Modells wird angenommen, dass das UWT-System über insgesamt n City-Hubs und einen Urban-Hub verfügt. Ein beliebiger City-Hub aus der Gesamtmenge an City-Hubs wird mit dem Index i versehen, wobei $i \in \{1, \dots, n\}$ mit $n \geq 1$ gilt. Nachfolgend wird der Prozess in seinen einzelnen Sequenzen für einen City-Hub an der Stelle i beschrieben, wobei die einzelnen Schritte für jeden City-Hub identisch ablaufen. Im Folgenden besitzen alle auftretenden Zeiten die Einheit [h] und alle Flächen die Einheit [m²]. Alle übrigen Faktoren, Anzahlen und Kapazitäten sind hingegen dimensionslos.

Der Gesamtdurchsatz an Paletten, der den Urban-Hub (1)³⁰ über unterschiedliche eingehende Warenströme erreicht, ist durch λ [Paletten/h] beschrieben. Dieser Durchsatz verteilt sich gerade auf die einzelnen Senken, die den City-Hubs zugeordnet sind. Es gilt daher, dass die Summe der einzelnen Durchsätze dem Gesamtdurchsatz entsprechen muss.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Die Anlieferung erfolgt hierbei über Lkw, wo die benötigte Entladezeit einer Palette mit t_0 bezeichnet wird. Im Urban-Hub selbst durchläuft die Palette unterschiedliche Stationen, bspw. Identifikation, Zwischenpuffern oder Sortierung. Die Gesamtzeit der anfallenden Prozesse wird mit T_0 erfasst. Im Urban-Hub muss die Palette wiederum an den Vertikalförderer übergeben werden, um über einen Ebenenwechsel in das unterirdische Tunnelsystem zu gelangen. Die Übergabezeit an den Vertikalförderer (2)³⁰ wird mit t_0' bezeichnet. Dieser verfährt in vertikaler Richtung und benötigt dazu die Prozesszeit T_{fs} . An der Übergabestation, dem unterirdischen Hub, wird die t_{β}' Palette in einer Zeit T_h^* übergeben und durchläuft die Station in einer Zeit t_{α} . Nachfolgend kann die Palette im Tunnelsystem dem Horizontalförderer (4)³⁰ übergeben werden. Dazu wird eine Zeit t_{α} zur Lastübergabe angenommen. Der Horizontalförderer durchfährt im Anschluss den Tunnel in einer Zeit T_{α} und erreicht den i -ten unterirdischen Hub (5)³⁰. Die Zeit der Lastabgabe der Palette vom Horizontalförderer an den unterirdischen Hub wird mit t_{α}' bezeichnet. Von dort aus gelangt die Palette in den Vertikalförderer (6)³⁰, wobei die Zeit der Lastaufnahme durch t_{β} beschrieben wird. Der Vertikalförderer transportiert die Palette in vertikale Richtung zum darüberliegenden City-Hub (7)³⁰. Für die Strecke benötigt er die Zeit T_{β} und für die Lastabgabe an den City-Hub die Zeit t_{β}' . Hier wird eine Verweilzeit t_{β}' angenommen. Im City-Hub teilt sich der Warenstrom wiederum auf die Fördermöglichkeiten für die Feinverteilung auf, wobei E-LR (8)³⁰ und E-Lfw (9)³⁰ zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang wird nach Russo et al. (2021) zusätzlich vorausgesetzt, dass 20 % des Durchsatzes den E-LR und 80 % des Durchsatzes den E-Lfw zugewiesen wird. Im Hinblick auf eine Differenzierbarkeit zwischen den Fördertechniken der Feinverteilung wird für die Lastübergabe einer Palette an ein E-LR die Zeit t_{γ} und für einen E-Lfw die Zeit t_{δ} angenommen. Das E-LR benötigt zur Senke (d. h. zum Abnehmer) eine Zeit T_{γ} und der E-Lfw eine Zeit T_{δ} . Die Lastabgabe an die Senke wird durch die Zeiten t_{γ}' bzw. t_{δ}' erfasst. Die Prozesszeiten der Fördertechnik lassen sich mithilfe der zu überbrückenden Distanzen und Geschwindigkeiten ermitteln (vgl. Tabelle 4-11). Für die verbleibenden Größen werden jeweils konstante Werte angenommen.

30

In Abbildung 4.4.

Größe	Einheit	Bezeichnung
δ_x	[m]	Gesamte Tunnellänge
$\dot{\delta}_x$	[km/h]	Geschwindigkeit des Horizontalförderers
δ_y	[km]	Länge der Vertikalförderstrecke
$\dot{\delta}_y$	[km/h]	Geschwindigkeit des Vertikalförderers
d	[km]	Mittlere Distanz von einem City-Hub zur Senke
\dot{d}_L	[km/h]	Geschwindigkeit des E-LR
\dot{d}_T	[km/h]	Geschwindigkeit des E-Lfw

Tabelle 4-11: Größen zur Bestimmung der Prozesszeiten der Fördertechnik

Unter Vernachlässigung der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge ergeben sich die nachfolgenden Beziehungen:

$$T_\alpha = \frac{2\delta_x}{\dot{\delta}_x} \qquad T_\gamma = \frac{2d}{\dot{d}_L}$$

$$T_\beta = \frac{2\delta_y}{\dot{\delta}_y} \qquad T_\delta = \frac{2d}{\dot{d}_T}$$

Die Multiplikation mit dem Faktor 2 impliziert, dass die Rückfahrt der Fördertechnik zum Ausgangspunkt bei der Berechnung mit einbezogen wird.

Es ist ersichtlich, dass die dargestellten Zeiten einen wesentlichen Einfluss auf den Durchsatz nehmen. Da die Fördertechniken hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten und ihrer Aufnahmekapazitäten an Paletten begrenzt sind, besteht die wesentliche Aufgabe nun darin, die benötigte Anzahl an Fördertechniken zu ermitteln, um den geforderten Durchsatz erreichen zu können. Dazu wird von der Senke an der Stelle i aus der Materialfluss in rückwärts gerichteter Reihenfolge betrachtet.

Der Durchsatz (für Stückgüter) beschreibt prinzipiell, wie viele Stückgüter in einem bestimmten Zeitintervall eine definierte Systemgrenze passieren. Die Senke an der Stelle i verlangt nun einen Teildurchsatz λ_i . Da sie durch die beiden unterschiedlichen Fahrzeugtypen der Feinverteilung beliefert wird, teilt sich der Durchsatz folglich auf die beiden Durchsätze $\lambda_{\gamma,i}$ (E-LR) und $\lambda_{\delta,i}$ (E-Lfw) der Fahrzeuge auf. Es folgt hierfür die Beziehung:

$$\lambda_i = \lambda_{\gamma,i} + \lambda_{\delta,i}$$

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, wird eine gleichmäßige Aufteilung des Beitrags der Fahrzeuge zum Durchsatz λ_i gefordert, was mit κ bezeichnet wird. Es gilt dabei $\kappa \in (0,1)$ und man erhält die nachfolgenden Ausdrücke für die Durchsatzanteile der Fahrzeuge.

$$\lambda_{\gamma,i} = \kappa \cdot \lambda_i \qquad \lambda_{\delta,i} = (1 - \kappa) \cdot \lambda_i$$

Den Fahrzeugen wird jeweils eine Palettenkapazität von p_γ bzw. p_δ zugewiesen. Damit folgen die Beziehungen für die zu erreichenden Durchsätze:

$$\kappa \cdot \lambda_i = N_{\gamma,i} \cdot \left(\frac{p_\gamma}{p_\gamma \cdot t_\gamma + T_\gamma + p_\gamma \cdot t'_\gamma} \right) \qquad (1 - \kappa) \cdot \lambda_i = N_{\delta,i} \cdot \left(\frac{p_\delta}{p_\delta \cdot t_\delta + T_\delta + p_\delta \cdot t'_\delta} \right)$$

Es lässt sich erkennen, dass der Durchsatz nur über die Anzahlen $N_{\gamma,i}$ und $N_{\delta,i}$ der eingesetz-

ten Fahrzeuge erreicht werden kann, sofern die anderen Größen als konstant angenommen werden. Eine Umformung der Gleichungen führt dann zu den gesuchten Anzahlen zur Festlegung der Fahrzeugflotte für die Belieferung der Senke, die dem City-Hub an der Stelle i zugeordnet ist.

$$N_{\gamma,i} \geq \left\lceil \kappa \cdot \lambda_i \cdot \left(\frac{p_{\gamma} \cdot t_{\gamma} + T_{\gamma} + p_{\gamma} \cdot t'_{\gamma}}{p_{\gamma}} \right) \right\rceil \quad N_{\delta,i} \geq \left\lceil (1 - \kappa) \cdot \lambda_i \cdot \left(\frac{p_{\delta} \cdot t_{\delta} + T_{\delta} + p_{\delta} \cdot t'_{\delta}}{p_{\delta}} \right) \right\rceil$$

Das Vorgehen bzgl. des City-Hubs erfolgt analog und man erhält für die Anzahl an Paletten $N_{c,i}$, die durchschnittlich im City-Hub verweilen:

$$N_{c,i} = \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t'_{\beta} + T_c + \kappa \cdot p_{\gamma} \cdot t_{\gamma} + (1 - \kappa) \cdot p_{\delta} \cdot t_{\delta}}{p_c} \right) \right\rceil$$

Dieser Zusammenhang kann im weiteren Verlauf zur Abschätzung der benötigten Fläche herangezogen werden. Die Palettenkapazitäten an allen Umschlagspunkten sind jeweils. Für die Anzahl $N_{\beta,i}$ an Vertikalförderern mit der Kapazität p_{β} zum City-Hub folgt:

$$N_{\beta,i} \geq \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t_{\beta} + T_{\beta} + t'_{\beta}}{p_{\beta}} \right) \right\rceil$$

Für die Anzahl an Paletten, die im Durchschnitt am unterirdischen Hub verweilen, ergibt sich wiederum:

$$N_{h,i} = \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t'_{\alpha} + T_h + t_{\beta}}{p_h} \right) \right\rceil$$

Zur Belieferung des unterirdischen Hubs folgt für die Anzahl an benötigten Horizontalförderern $N_{\alpha,i}$:

$$N_{\alpha,i} \geq \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t_{\alpha} + T_{\alpha} + t'_{\alpha}}{p_{\alpha}} \right) \right\rceil$$

Für die Anzahl an Paletten, die durchschnittlich am unterirdischen Hub unter dem Urban-Hub verweilen, ergibt sich:

$$N_{h,i}^* = \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t'_{\beta} + T_h^* + t_{\alpha}}{p_h} \right) \right\rceil$$

Diese Palettenanzahl bezieht sich gerade auf den Anteil, der dem City-Hub an der Stelle i zugeordnet ist. Für die Anzahl an Vertikalförderern am Urban-Hub folgt:

$$N_{\beta,i}^* \geq \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t'_0 + T_{\beta} + t'_{\beta}}{p_{\beta}} \right) \right\rceil$$

Im Urban-Hub ergibt sich für die Anzahl an Paletten, die durchschnittlich in ihm verweilen:

$$N_{0,i} = \left\lceil \lambda_i \cdot \left(\frac{t_0 + T_0 + t'_0}{p_0} \right) \right\rceil$$

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass für die Anzahlen nur ganzzahlige Werte infrage kommen. Im mathematischen Sinne nutzt man hierfür die Gaußklammer $\lceil (\dots) \rceil$ zur Aufrundung von Dezimalzahlen zur nächstgelegenen ganzzahligen Zahl (bspw. $\lceil 2,47 \rceil = 3$). Die Ungleichungszeichen verdeutlichen zudem, dass die Anzahlen mindestens vorhanden sein müssen, um den Durchsatz zu erreichen.

Die auftretenden Anzahlen an Fördertechniken bzw. Paletten lassen sich als vektorielle Größe \mathbf{n}_i mit Bezug auf den City-Hub an der Stelle i interpretieren.

$$\mathbf{n}_i = \begin{bmatrix} N_{\gamma,i} \\ N_{\delta,i} \\ N_{c,i} \\ N_{\beta,i} \\ N_{h,i} \\ N_{\alpha,i} \\ N_{\beta,i}^* \\ N_{0,i} \end{bmatrix}$$

Betrachtet man nun alle n City-Hubs, so können die Vektoren zu einer Matrix \mathbf{N} zusammengefasst werden. Für diese ergibt sich:

$$\mathbf{N} = [\mathbf{n}_1 \quad \dots \quad \mathbf{n}_i \quad \dots \quad \mathbf{n}_n] = \begin{bmatrix} N_{\gamma,1} & N_{\gamma,i} & N_{\gamma,n} \\ N_{\delta,1} & N_{\delta,i} & N_{\delta,n} \\ N_{c,1} & N_{c,i} & N_{c,n} \\ N_{\beta,1} & N_{\beta,i} & N_{\beta,n} \\ N_{h,1} & \dots & N_{h,i} & \dots & N_{h,n} \\ N_{\alpha,1} & N_{\alpha,i} & N_{\alpha,n} \\ N_{\beta,1}^* & N_{\beta,i}^* & N_{\beta,n}^* \\ N_{0,1} & N_{0,i} & N_{0,n} \end{bmatrix}$$

Auf dieser Basis können die Gesamtanzahl N_{α} an benötigten Horizontalförderern im Tunnelsystem, die Anzahl N_{β}^* an Vertikalförderern am Urban-Hub und die Gesamtanzahl N_0 an verweilenden Paletten im Urban-Hub berechnet werden.

$$N_{\alpha} = \sum_{i=1}^n N_{\alpha,i} \qquad N_{\beta}^* = \sum_{i=1}^n N_{\beta,i}^* \qquad N_0 = \sum_{i=1}^n N_{0,i}$$

Die hergeleiteten Berechnungsvorschriften bilden somit die Grundlage zur Auslegung des Materialflusssystems.

Für die weitere Dimensionierung des UWT-Systems sind Kenntnisse der zu erwartenden Flächenanforderungen notwendig. In einer ersten Abschätzung können Aussagen dahingehend getroffen werden, inwiefern die aktuell zur Verfügung stehenden Flächen ausreichen oder ob zusätzliche bauliche Maßnahmen erforderlich sind. Hierbei sind insbesondere die Flächen der City-Hubs und des Urban-Hubs von Interesse. Der Flächenbedarf der City-Hubs wird dabei vorwiegend durch die geforderten Gütermengen der Abnehmer bestimmt und setzt sich maßgeblich aus den folgenden Anteilen zusammen:

- Fördertechnik,
- Pufferfläche für die Paletten sowie
- Stellplätze zum Beladen der E-Lfw und E-LR.

Die Fläche $A_{c,i}$ eines City-Hubs an der Stelle i wird über die Flächenbeanspruchung der Feinverteilung $A_{F,i}$, die im Durchschnitt verweilenden Paletten (Grundfläche A_p) und die Fläche der Vertikalförderer $A_{V,i}$ abgeschätzt. Mit der Grundfläche eines E-LR A_L , der Grundfläche eines E-Lfw A_T und der Grundfläche eines Vertikalförderers A_{β} folgen die Zusammenhänge

$$A_{F,i} = N_{\gamma,i} \cdot A_L + N_{\delta,i} \cdot A_T$$

$$A_{V,i} = N_{\beta,i} \cdot A_{\beta}$$

und führen zur Fläche eines City-Hubs:

$$A_{c,i} = \phi \cdot (A_{F,i} + A_{V,i} + N_{c,i} \cdot A_P)$$

Beim Faktor $\phi > 1$ handelt es sich in diesem Zusammenhang um einen Sicherheitsfaktor, der mit der Summe multipliziert wird, um zusätzliche Flächenbeanspruchungen wie Büroflächen oder Brandschutzmaßnahmen ebenfalls zu berücksichtigen.

Die Fläche eines unterirdischen Hubs $A_{h,i}$ an der Stelle i wird in gleicher Weise berechnet.

$$A_{h,i} = \phi \cdot (A_{V,i} + N_{h,i} \cdot A_P)$$

Die Gesamtfläche des unterirdischen Hubs am Urban-Hub ergibt sich aus der Summe der einzelnen Vertikalförderer und der anteilig verweilenden Paletten.

$$A_h^* = \phi \cdot \sum_{i=1}^n (N_{\beta,i}^* \cdot A_{\beta} + N_{h,i}^* \cdot A_P)$$

Die Gesamtfläche des Urban-Hubs wird über die nachfolgenden Anteile abgeschätzt:

- Fläche der Lkw-Ladezone bzw. des Wareneingangs $A_{0,LKW}$
- Gesamtfläche der Vertikalförderer $A_{V,0}$
- Lagerfläche $A_{P,0}$, näherungsweise bestimmt durch die Fläche der im Durchschnitt verweilenden Paletten
- Sortierfläche $A_{S,0}$
- Bürofläche $A_{B,0}$

Damit folgen die Zusammenhänge:

$$A_{LKW,0} = n_{LKW} \cdot A_{LKW} \qquad A_{V,0} = N_{\beta}^* \cdot A_{\beta} \qquad A_{P,0} = N_0 \cdot A_P$$

Hierbei kann die Anzahl an Lkw- Stellplätzen mithilfe der Gleichung:

$$n_{LKW} = t_0 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

bestimmt werden. Die bekannten Flächendaten werden weiterhin genutzt, um die Bürofläche $A_{B,0}$ und die Sortierfläche $A_{S,0}$ abzuschätzen.

$$A_{B,0} = (\phi - 1) \cdot [\phi \cdot A_{0,LKW} + A_{V,0}]$$

$$A_{S,0} = \phi \cdot A_{P,0}$$

Dies erfolgt über die Lkw-Stellfläche $A_{0,LKW}$ und die Fläche der Vertikalförderer $A_{V,0}$. Zur Berücksichtigung der Ausdehnung der Lkw-Anhänger wird die Stellfläche zusätzlich mit dem Faktor ϕ multipliziert. Die gesamte Summe wird anschließend mit $\phi - 1$ multipliziert, da die Bürofläche als prozentualer Anteil der bekannten Flächen angenommen wird.

Somit ergibt sich der Term

$$A_0 = \phi \cdot (A_{LKW,0} + 2 \cdot A_{V,0} + A_{B,0} + A_{P,0} + A_{S,0})$$

für die Schätzung der Gesamtfläche des Urban-Hubs. Der gesamte Term wird erneut mit dem Faktor ϕ multipliziert. Die benötigte Fläche der Vertikalförderer wird mit dem Faktor 2 multipliziert, um hierdurch den Rangierbereich in die Berechnung mit einfließen zu lassen.

4.3.3.2 Methodik der Materialflussplanung

Das formal aufgestellte Modell lässt sich in eine kommerziell erhältliche Softwareumgebung implementieren, damit eine automatische Auswertung durchgeführt werden kann. Im Rahmen des Projekts kommt hierfür das Programm Matlab zum Einsatz. Den Parametern werden in Form von Exceltabellen konkrete Zahlenwerte zugewiesen, die wiederum dem Matlab-Skript als Inputdaten dienen.

Als einer der zentralen Parameter ist hierbei der zu erwartende Palettendurchsatz λ zu nennen, der sich auf die jeweiligen City-Hubs aufteilt. Aus diesem Grund ist es notwendig, einen sogenannten Designpunkt zu definieren, auf den das UWT-System ausgelegt werden soll und der durch λ beschrieben wird. Es ist demnach Aufgabe zu ermitteln, wie viele Paletten durchschnittlich pro Stunde angeliefert werden.

Die Basis dafür bilden die zusammengefassten Daten aller vier berücksichtigten BAST-Zählstellen für das Jahr 2018. Dazu werden sowohl die prozentuale Verteilung des Güterverkehrs bzgl. der Kalenderwochen als auch die prozentuale Verteilung des Güterverkehrs im Hinblick auf einen Tag, d. h. stündlich, herangezogen. Die Auslegung erfolgt auf ein 95%-Service-Level, das über die Annahme eines normalverteilten Güterverkehrsaufkommens ermittelt wird. Dazu wird zunächst errechnet, zu wie viel Prozent das 95%-Quantil über dem Mittelwert liegt. Im Anschluss kann die durchschnittliche Palettenanzahl pro Tag ermittelt werden. Bei der wöchentlichen Verteilung wird ebenfalls eine Normalverteilung des Güterverkehrs innerhalb eines Jahres pro Woche von Kalenderwoche 1 bis Kalenderwoche 52 vorausgesetzt. Vor dem Hintergrund der stündlichen Verteilung wird eine Betriebszeit des UWT-Systems von 8 bis 18 Uhr betrachtet, die ebenfalls normalverteilt ist. Dies ist eine Annahme, die auf den Ergebnissen der Verkehrsanalyse aufbaut. Das resultierende Arbeitszeitfenster für das UWT-System kann bei dessen Umsetzung auch anders liegen.

Auslegung der Materialflusselemente

Für andere Materialflusselemente wird der Grenzdurchsatz vernachlässigt und angenommen, dass dieser durch eine Kapazitätserhöhung stetig gesteigert werden kann. Jedoch stellt die Horizontalfördertechnik in der Röhre ein kritisches Element dar und soll dementsprechend unter Berücksichtigung der Lastübergabe an den Horizontalförderer genauer untersucht werden.

Zur Ermittlung des Grenzdurchsatzes in der Röhre wird angenommen, dass die Fördermittel die gesamte Tunnelstrecke zurücklegen und dass am Urban-Hub nur acht Paletten gleichzeitig beladen werden können. Dies entspricht der Kapazität von zwei autonomen Routenzügen, die gleichzeitig hintereinander beladen werden können. Um den Grenzdurchsatz zu bestimmen, sind zusätzlich die Dauer der Lastübergabe der Paletten sowie die Dauer der Ein- und Ausfahrt des Förderers relevant. Weiterhin würde eine parallele Anordnung der Lastübergabeplätze am Urban-Hub zu einer Erhöhung des Grenzdurchsatzes führen.

4.3.3.3 Limitationen der Materialflussplanung

Bei der Gestaltung des Materialflusses werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Brems- und Beschleunigungsvorgänge der Fördermittel werden vernachlässigt.
- Jeder Abnehmer wird einem bestimmten City-Hub zugeordnet.
- Alle einem City-Hub zugeordneten Abnehmer werden zu einem stellvertretenden Abnehmer zusammengefasst.
- Die zurückgelegten Touren bei der Feinverteilung werden als eine Strecke vom City-Hub zum Abnehmer angenommen.

- Die Strecke vom City-Hub zum Abnehmer ist stets konstant.
- Der Durchsatz teilt sich an jedem City-Hub zu 20 % auf die E-LR und zu 80 % auf die E-Lfw auf.
- Der Durchsatz eines E-LR bzw. eines E-Lfw ist an jedem City-Hub gleich.
- Der prozentuale Güterverkehr ist normalverteilt.

4.3.4 Ergebnis der Materialflussplanung

4.3.4.1 Betriebspunkt des Materialflusssystems

Die untenstehende Abbildung zeigt die Verteilung des wöchentlichen Güteraufkommens, wobei die prozentuale Verteilung des Güterverkehrs über den Kalenderwochen aufgetragen ist.

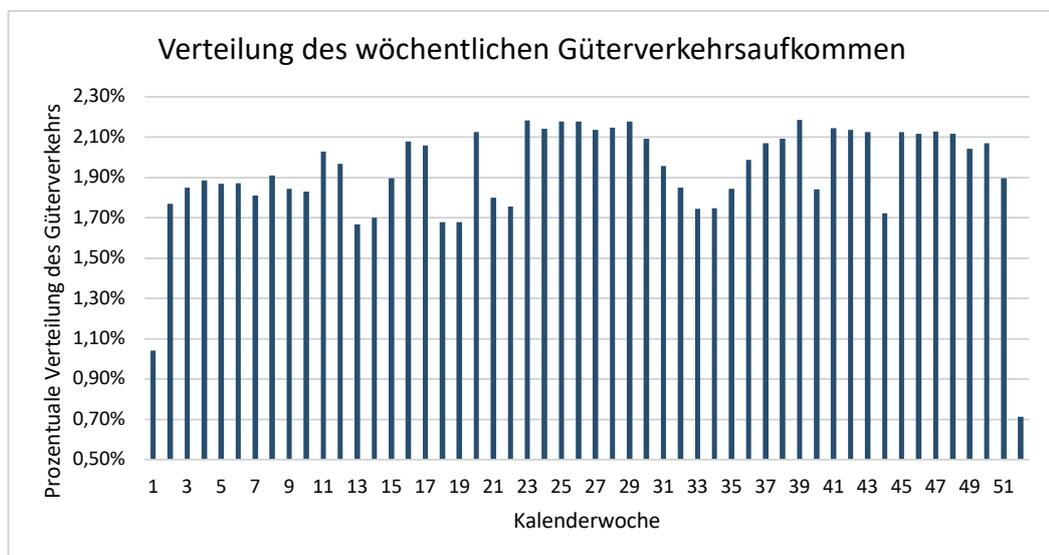


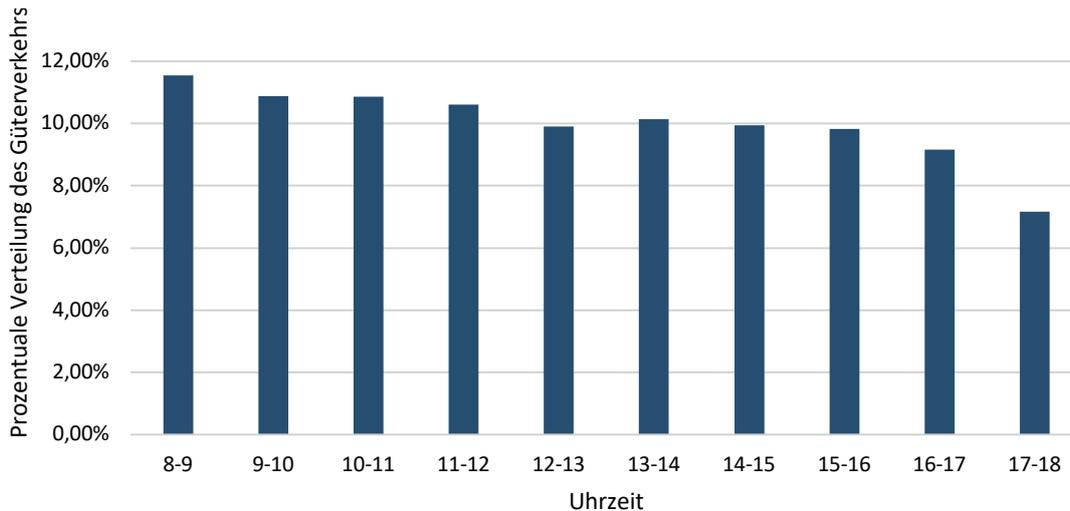
Abbildung 4.5: Verteilung des wöchentlichen Güterverkehrsaufkommens

Auf dieser Basis können die wesentlichen Größen zur Ermittlung des Palettenaufkommens bestimmt werden. Diese sind Tabelle 4-12 zu entnehmen.

Mittelwert	95%-Quantil (Norm.V.)	Steigerung ggü. Mittelwert	Resultierende tägliche Palettenanzahl
1,92%	2,36%	22,80%	6.332

Tabelle 4-12: Ergebnisse des Palettenaufkommens

Für die durchschnittliche tägliche Palettenanzahl bedeutet dies eine Steigerung um 22,80 %, sodass das 95%-Quantil erreicht werden kann. Damit ergeben sich 6332 Paletten pro Tag.



Die Verteilung des täglichen Güterverkehrsaufkommens ist in Abbildung 4.6 dargestellt. Das 95%-Quantil der Normalverteilung des stündlichen Güterverkehrsaufkommens liegt bei 11,88 %. Für die durchschnittliche tägliche bzw. stündliche Palettenanzahl bedeutet dies eine Steigerung um 18,79 % vom Mittelwert von 10 %, sodass das 95%-Quantil erreicht wird. Damit ergeben sich 612,5 Paletten pro Stunde bzw. 6125 Paletten pro Tag.

Um das 95%-Quantil zu erreichen, müssen die beiden Verteilungen (stündlich, wöchentlich) kombiniert werden, was in einer Steigerung der täglichen Palettenanzahl um 45,88 % vom Mittelwert resultiert. Somit folgt eine tägliche Palettenanzahl von insgesamt 7522 Paletten. Dieser Wert ist die wesentliche Eingangsgröße für die Auslegung des Materialflusssystems.

4.3.4.2 Auslegung des Materialflusssystems

Nach Anwendung der in Abschnitt 4.3.3 beschriebenen Formeln zeigt die nachstehende Tabelle 4-13 die Ergebnisse der Materialflussplanung. Hierbei sind die einzelnen Parameter über die betrachteten City-Hub-Standorte aufgetragen.

³¹
City-Hub-ID
(vgl. Abschnitt
3.2.3.3)

Bezeichnung		Breuninger (8) ³¹	Hauptbahn- hof (15) ³¹	Gerber (19) ³¹	Seidenstraße (21/24) ³¹
Anzahl E-LR	[-]	34	38	53	23
Anzahl E-Lfw	[-]	61	68	95	41
Anzahl Vertikalförderer	[-]	2	2	3	2
Anzahl Horizontalförderer	[-]	333			
Anzahl Vertikalförderer am Urban-Hub	[-]	8			
Solldurchsatz	[P/h]	171,72	193,96	269,99	116,49
Durchsatz E-LR	[P/h]	34,88	38,98	54,37	23,59
Durchsatz E-Lfw	[P/h]	139,21	155,18	216,80	93,57
Durchsatz Vertikalförderer	[P/h]	211,76	211,76	317,65	211,76
Durchsatz Horizontalförderer	[P/h]	757,93			
Durchsatz Vertikalförderer am Urban-Hub	[P/h]	847,06			
Maximal zur Verfügung stehende Fläche am City-Hub (Abschätzung)	[m ²]	13.520,00	5.865,60	11.648,00	3.000,00
Fläche City-Hub	[m ²]	2116,03	2348,88	3291,62	1463,78
Fläche Vertikalförderer	[m ²]	98,00	98,00	147,00	98,00
Fläche unterirdischer Hub	[m ²]	131,42	132,58	138,34	68,02
Fläche unterirdischer Hub am Urban-Hub	[m ²]	614,45			
Fläche Vertikalförderer am Urban-Hub	[m ²]	392,00			
Gesamtfläche Urban-Hub	[m ²]	12.938,82			
Gesamtanzahl Lkw-Stellplätze im Urban-Hub	[-]	23			

Tabelle 4.13: Ergebnisse der Auslegung des Materialflusssystemes

Es lässt sich erkennen, dass an allen City-Hubs die angenommenen Flächen nicht überschritten werden. Zur Diskussion steht allerdings, ob im Falle einer Umsetzung tatsächlich die gesamte verfügbare Fläche in den jeweiligen Parkhäusern für einen City-Hub zur Verfügung gestellt werden würde. Wahrscheinlicher wäre eine anteilige Überlassung. Im Falle einer Überlassung von 50 % der verfügbaren Fläche am potenziellen City-Hub-Standort würde die angenommene Fläche in dieser Lösung nicht überschritten. Der Vorschlag einer Substituierung der verfügbaren Parkfläche – insbesondere der Parkhäuser – in der Innenstadt der LHS steht dabei im Einklang mit den Vorhaben des Bündnisses „Stuttgart laud nai“ (2017). Außerdem sollte die Anbindung des City-Hubs an die unterirdische Röhre in zukünftigen Arbeiten genauer untersucht werden. Für den Fall, dass das City-Hub in eine Tiefgarage integriert wird, ist eine direkte Anbindung der Röhre ohne zusätzliche Vertikalförderer denkbar. Im weiteren Verlauf der Studie wird jedoch zunächst eine Anbindung des City-Hubs über einen oder mehrere Vertikalförderer angenommen.

Abschließend wird unter Berücksichtigung der untenstehenden Annahmen der Grenzdurchsatz im Tunnel bestimmt:

- Dauer der Lastübergabe: 30 Sekunden
- Es können acht Paletten parallel verladen werden (dies entspricht zwei autonomen Routenzügen bzw. vier FTS oder vier CargoCaps).
- Länge der Lastübergabestation: 20 m
- Betriebszeit: 10 Stunden

	Einheit	FTS	Autonomer Routenzug	Cargo Caps
Dauer der Ein- und Ausfahrt	[s]	11,76	6,67	2,00
Grenzdurchsatz	[P/d]	6.896	7.855	9.000

Tabelle 4-14: Grenzdurchsatzberechnung für die Horizontalförderer

Aus Tabelle 4-14 geht hervor, dass der zu erreichende Betriebspunkt von 7522 Paletten pro Tag bei den getroffenen Annahmen lediglich von autonomen Routenzügen und CargoCaps erreicht werden kann. Jedoch lässt sich der Grenzdurchsatz durch die Einführung von parallelisierbaren Lastübergabestationen erhöhen. Bei einer baugleichen Übergabestation würde sich der Grenzdurchsatz verdoppeln.

Diese Erkenntnisse führen zu dem Schluss, dass das kritische Element im Materialfluss die Lastübergabestation an den Horizontalförderer am Urban-Hub ist. Eine detaillierte Betrachtung und Auslegung sollte hierbei Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein.

4.4 Fazit der Fördertechnik- und Materialflussplanung

Aus Sicht der **Fördertechnik** lässt sich das System des UWT auf drei Aufgabenstellungen herunterbrechen, die jeweils in Kombination miteinander funktionieren müssen. Diese sind die Horizontalförderer, die Vertikalförderer und die Lastübergabe (vgl. Abschnitt 4.2.3). Für jede dieser Aufgaben gibt es bereits bewährte Fördertechniken, die auch für das UWT-System geeignet sind (vgl. Abschnitt 4.2.5). Speziell für die Horizontalförderer als Kern des UWT-Systems erscheint das System ‚autonomer Routenzug‘ als am geeignetsten (vgl. Abschnitt 4.3.4.2)

Grundlage der **Materialflussplanung** sind u. a. Kenntnisse über die zu erzielenden Durchsätze sowie zur Anzahl und Lage der City-Hubs bzw. des Urban-Hubs. Ein Ziel dabei ist die Dimensionierung des UWT-Systems hinsichtlich der eingesetzten Fördertechnik und der benötigten Flächen auf Basis getroffener Annahmen. Die Ergebnisse dieser Dimensionierung sind in Tabelle 4-13 zusammengefasst. Es kann gezeigt werden, dass die überschlägig berechneten Flächen die maximal zulässigen Flächen an den Standorten nicht überschreiten, weshalb eine Integration der Systemkomponenten in die bestehenden Infrastrukturen denkbar ist. Vor dem Hintergrund des Grenzdurchsatzes der Anlage lässt sich feststellen, dass die Lastübergabestation an den Horizontalförderer am Urban-Hub als kritisches Element zu betrachten ist und dieses den Grenzdurchsatz maßgeblich festlegt.

5. Bautechnik

In diesem Kapitel werden die Maßnahmen der Bautechnik erläutert. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf der Bewertung der technischen Machbarkeit, um das UWT-System baulich umzusetzen. Zudem werden diese Maßnahmen finanziell bewertet.

Abschnitt 5.1 thematisiert zuerst die notwendige Bautechnik für den Tiefbau, die für die unterirdische Röhre zu beachten ist. In Abschnitt 5.2 wird die Bautechnik für den Urban-Hub behandelt. Abschnitt 5.3 betrachtet die notwendigen (Um-)Baumaßnahmen für die City-Hubs. Abschließend erfolgt in Abschnitt 5.4 ein Ausblick auf eine mögliche Baustellenplanung zur baulichen Umsetzung der Gesamtmaßnahme.

5.1 Tiefbau und Röhre

5.1.1 Problemstellung der Bautechnik

Die Trasse zwischen dem Urban-Hub und den City-Hubs ist eine Grundvoraussetzung für den kontinuierlichen Warentransport. Gemäß dem Titel der Studie wird der unterirdische Trassenverlauf untersucht und bewertet.

5.1.2 Zielsetzung der Bautechnik

Im Rahmen der baulichen Machbarkeit spielen die Untergrundbedingungen eine zentrale Rolle. In diesem Abschnitt werden die möglichen Risiken beim Tiefbau betrachtet. Außerdem wird unter Berücksichtigung des Röhrenquerschnitts und des Untergrunds ein geeignetes Vortriebsverfahren ermittelt.

Zur ökonomischen Bewertung der Machbarkeit wird eine Abschätzung der Baukosten benötigt. Diese soll in Abhängigkeit von der Tunnellänge, den zugehörigen Komponenten und dem Baurisiko aufgestellt werden.

5.1.3 Vorgehensweise und Methodik der Bautechnik

5.1.3.1 Vorgehensweise und Methodik

Zunächst erfolgt eine Festlegung der notwendigen Dimensionierung aufgrund räumlicher Restriktionen der Fördertechnik und der Durchsatzanforderung aus Abschnitt 4, Materialfluss- und Fördertechnik.

In den nachfolgenden Abschnitten werden zusätzliche Anforderungen an den UWT-Tunnel und mögliche Restriktionen untersucht. Dies umfasst u. a. die folgenden Punkte:

- Geologie
- Wasserhaltung/Abdichtung
- Geeignete Vortriebsart
- Querschnittsgestaltung
- Tunnel (Rohbau)
- Baugrundrisiko
- Rettungskonzept
- Sparten-/Trassenverlegung
- Anschluss Hubs

Ausgehend von den oben genannten Punkten erfolgt eine Kostenschätzung mit Ober- und Untergrenze aufgrund von Baurisiko, Sparten und Rettungskonzept. Abschließend werden Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, die im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie

nicht tiefergehend untersucht werden konnten.

5.1.3.2 Limitationen der Bautechnik

Die wesentlichen geologische Informationen für die LHS, die in dieser Studie Verwendung fanden, stammen aus dem Referenzprojekt Stuttgart 21, da ein Großteil der Trasse entlang der S21-Trasse führt (vgl. Abschnitt 3.3.4.1). Beim Bau in der Nähe von Eisenbahnbetriebsanlagen sind entsprechende Sicherheitsabstände einzuhalten. Wie bereits in Abschnitt 3.3.3.2 erläutert, wurden für die Machbarkeitsstudie keine eigenen Baugrunduntersuchungen durchgeführt. Für Planungssicherheit hinsichtlich der geologischen Bedingungen wird eine detaillierte Prüfung des Baugrunds empfohlen.

Die Kostenabschätzungen erfolgten auf Basis von Erfahrung aus vergleichbaren Projekten, z. B. Stuttgart 21, und von Annahmen des Projektteams.

5.1.4 Ergebnisse der Bautechnik

Die folgenden Parameter bilden die Grundlage der bautechnischen Betrachtung.

Vorausgesetzt wird eine zweispurige Nutzung mit 120 x 240 cm Lichtraum pro Fahrzeug. Daraus ergibt sich ein lichter Tunneldurchmesser von ca. 4,5 m. Für die Fahrzeuge wird eine Fahrbahnplatte benötigt. Die technische Ausstattung soll auf das Nötigste reduziert werden und es werden keine besonderen Anforderungen an Nutzräume für technische Ausstattung gestellt. Außerdem ist kein Wartungsgang erforderlich, da die Wartung nur durch geschultes Personal durchgeführt werden soll. Als Rettungskonzept werden Querschnittsaufweitungen der Röhre als Standorte für Flucht- und Rettungskammern vorgesehen. Aus den Eigenschaften der horizontalen Fördertechnik ergibt sich eine maximale Steigung von ca. 7 % (STILL GmbH 2019).

5.1.4.1 Geologie

In der frühen Planungsphase der Machbarkeitsstudie ist die detaillierte Aufschlüsselung zur Geologie der geplanten Trasse noch nicht vorhanden. Aufgrund der ähnlichen Trassierung zwischen dem Neckar und dem Stuttgarter Stadtzentrum können jedoch die geologischen Aufschlüsse des Tunnels Ober-/Untertürkheim (Projekt Stuttgart 21, PFA 1.6A) herangezogen werden. Auf der ca. 5,3 km langen Trasse vom Urban-Hub bis zum ersten City-Hub sind ca. 3,6 km identisch mit der S21-Trasse Bahntunnel Ober-/Untertürkheim. Somit konnte für 68 % dieses Streckenanteils auf bereits existierende geologische Untersuchungen zurückgegriffen werden. Über die gesamte Länge der Tunneltrasse ist eine ausreichende Überdeckung mit mindestens einem Tunneldurchmesser gewährleistet. Die Tiefenlage der Tunneltrasse wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht ganzheitlich untersucht. Eine Detailanalyse zur innerstädtischen Tiefenlage bei kleineren Bauwerken muss in anschließenden Untersuchungen genauer durchgeführt werden.

Nach der Auswertung der vorhandenen geologischen Unterlagen, insbesondere des tunnelbautechnischen Längsschnitts des Tunnels zwischen Ober- und Untertürkheim, ergeben sich die folgenden Randbedingungen:

- ca. 50 % der Gesamtstrecke: Gipskeuper unausgelaugt (anhydritführend)
- ca. 45 % der Gesamtstrecke: Gipskeuper unausgelaugt (anhydritfrei oder weitgehend anhydritfrei)
- ca. 5 % der Gesamtstrecke: Gipskeuper ausgelaugt

An dieser Stelle wird auf das Problem des anhydritführenden quellfähigen Gipskeupers hingewiesen, der bei Wasserzutritt quillt. Erfahrungsgemäß sind bei Wasserzutritten große Quelldrücke und zugehörige Setzungen bzw. Hebungen zu erwarten, die ein schwer kalkulierbares Risiko bergen (DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH 2009).

5.1.4.2 Wasserhaltung und Abdichtung

Die Grundwasserverhältnisse im Trassenbereich sind durch die Wechselfolge von Schichten geprägt, die zur Bildung mehrschichtiger Grundwassersysteme führt. Im unausgelaugten Gipskeuper sind keine bzw. nur geringe Wasserzutritte zu erwarten. Im ausgelaugten Gipskeuper, insbesondere in der Auslaugungsfront, können größere Wasserzutritte erwartet werden.

Für den Vortrieb wird eine offene Wasserhaltung berücksichtigt. Örtlich können voraus-eilende Entwässerungsmaßnahmen abhängig von den angetroffenen Gegebenheiten erforderlich werden. Des Weiteren werden Abdichtungsinjektionen im Bereich der oben genannten größeren zu erwartenden Wasserzutritte notwendig.

Der Vortrieb soll durchgehend unter atmosphärischen Bedingungen stattfinden. Die Abdichtung des Tunnelbauwerks soll durch eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) sowie die Ausbildung der Innenschale als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK) garantiert werden.

5.1.4.3 Geeignete Vortriebsart

Zum Bau des Tunnels werden zwei Verfahren betrachtet: der konventionelle bergmännische Vortrieb und der maschinelle Vortrieb. Der konventionelle Vortrieb ist eine anpassungsfähige Baumethode. Der auszubrechende Querschnitt, die Ausbruchtappen und die eingesetzten Sicherungsmittel, wie Spritzbeton, Anker, Stahleinbau oder Netzarmierung, können jederzeit den Verhältnissen angepasst werden. Das Gebirge wird mechanisch oder mittels Sprengungen gelöst.

In Zusammenarbeit mit sachkundigem ortsansässigem Fachpersonal (Schüssler Plan), das langjährige Erfahrung im Projekt S21 hat, wurden die beiden oben genannten Vortriebsarten bewertet. Der konventionelle bergmännische Vortrieb mit gebirgsschonendem Teilausbruch (Kalottenvortrieb) stellt die geeignetste Art dar. Begründet ist dies u. a. in:

- der flexiblen Querschnittsgestaltung, bei der Durchmesserwechsel möglich sind (notwendig für Notfallbuchten und Fahrbahnerweiterungen für City-Hub-Anschlüsse),
- der flexibleren Vortriebstechnik (Bauverfahren kann auf Geologie und Hydrogeologie abgestimmt werden) sowie
- der besseren Reaktionsmöglichkeit bei Durchfahren anhydritführender Geologie.

Im Zuge dieser Machbarkeitsstudie wird daher die Option eines maschinellen Vortriebs nicht weiter untersucht. Es wird ein Vortrieb ausgehend vom Gelände des Urban-Hubs vorgeschlagen, sodass im Innenstadtbereich keine umfangreichen Baustellen für den Tunnelbau entstehen.

5.1.4.4 Querschnittsgestaltung

Auf Grundlage des Vortriebsverfahrens wurde der Regelquerschnitt entwickelt, der um die Innen- und Außenschale erweitert wurde.

Die Querschnittsabmessungen der tragenden Bauteile wurden überschlägig ermittelt. Dabei ist zu beachten, dass die angegebene Stärke der Innenschale für den Regelquer-

schnitt gilt. Bereichsweise – explizit werden hier die Auslaugungsfronten genannt – kann die statisch erforderliche Stärke der Innenschale um bis zu 20 cm größer werden als im Regelquerschnitt angegeben. Folglich würde sich der Ausbruchsquerschnitt vergrößern.

Die Geometrie des Tunnels wurde in Anlehnung an die des Tunnels zwischen Ober- und Untertürkheim kreisrund gewählt.

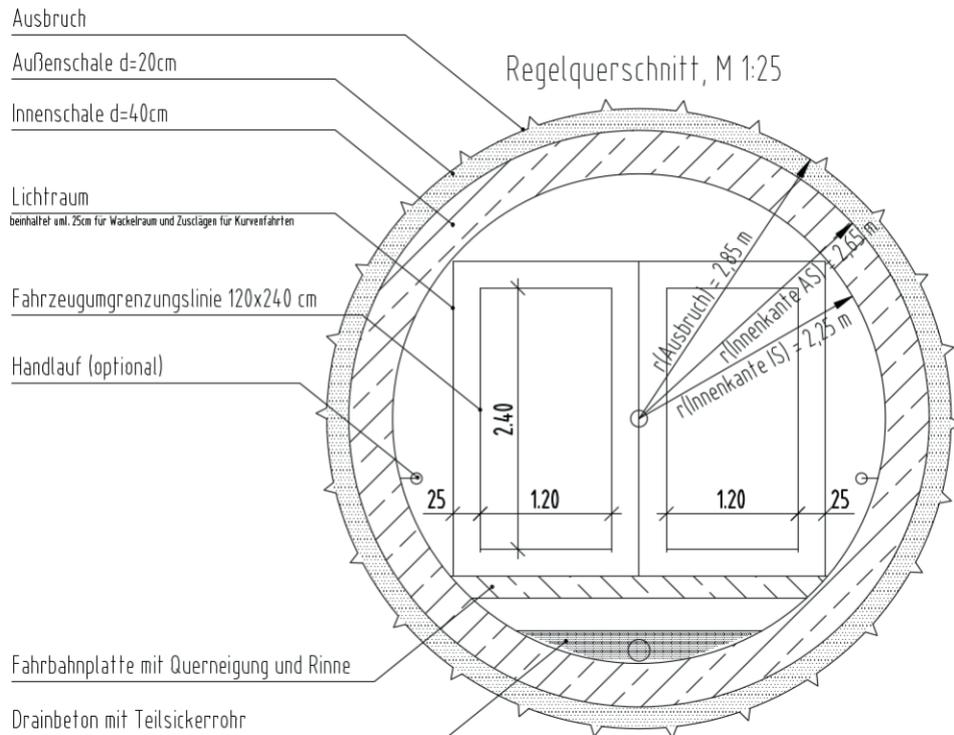


Abbildung 5.1: Beschreibung des Tunnelquerschnitts (eigene Darstellung)

Neben dem zweispurigen Regelquerschnitt wird außerdem ein dreispuriger Regelquerschnitt untersucht (siehe Abbildung 5.2). Er wird als Röhrenerweiterung für Pannenbuchten und die Anbindung von City-Hubs angewendet. Im Weiteren wird der zweispurige Querschnitt als ‚Variante 1‘ (V1) und der dreispurige Querschnitt als ‚Variante 2‘ (V2) bezeichnet.

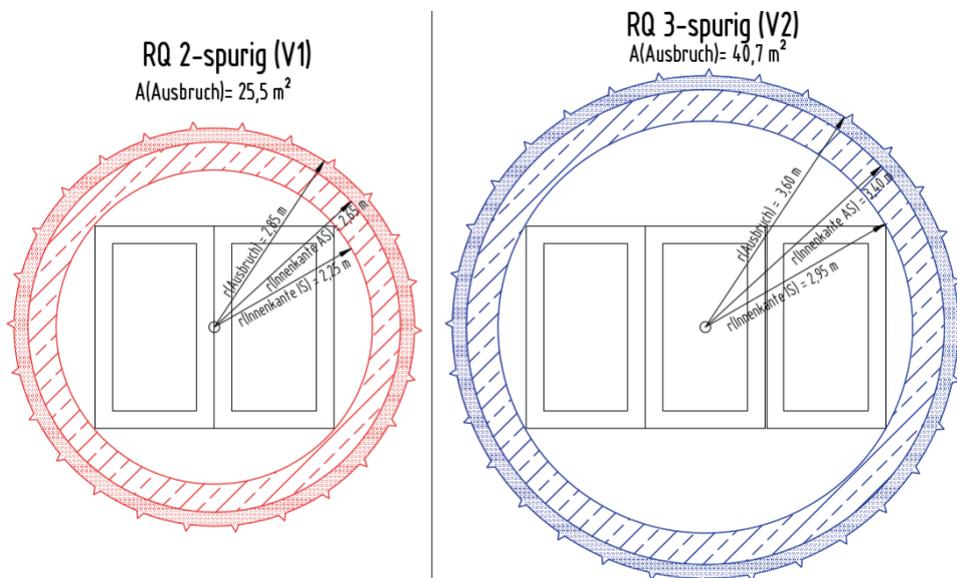


Abbildung 5.2: Vergleich des zwei- und des dreispurigen Querschnitts (eigene Darstellung)

5.1.4.5 Tunnel (Rohbau)

Zur Kostenschätzungen von Tunnelbauprojekten wurde auf eine Datenbank zurückgegriffen, die auf der Grundlage von Referenzprojekten des Projektteams erstellt wurde. Da die Inhalte der Datenbank mehrheitlich aus Straßentunnelprojekten stammen, wurden die Parameter der vorliegenden Studie auf die im vorherigen Kapitel beschriebenen Randbedingungen angepasst.

Neben der Tunnellänge wurden insbesondere folgende Parameter berücksichtigt:

- Baustelleneinrichtung
- Querschnitt
- Innenschale einschließlich Schalwagen
- Ausbruchsklasse und sonstige Vortriebsleistungen
- Sicherungsmaßnahmen
- Abdichtung und Bauwerksfugen
- Fahrbahn
- Sonstiges

Neben den oben genannten Planungsparametern wurden Modellgrenzen (unten/oben) errechnet; hierbei werden die ermittelten Rohbaukosten mit Risikowerten multipliziert. Die Risikowerte auf Basis des Datenbankmodells liegen zwischen 1,17 und 1,42. Diese werden bei der Kostenschätzung als unterer bzw. oberer Grenzwert betrachtet (vgl. Abschnitt 5.1.4.10).

5.1.4.6 Baugrundrisiko

Der tunnelbautechnische Längsschnitt des Tunnels zwischen Unter- und Obertürkheim, der als Referenz dient, weist stark risikobehaftete Planungsgegebenheiten auf. Die Hälfte der unterirdischen Trasse durchquert den unausgelaugten anhydritführenden Gipskeuperhorizont.

Für zusätzlich erhöhte Planungsanforderungen hydrogeologischer Art sorgen die Heilquellen und der Mineralwasserhorizont im Stuttgarter Raum. Die Gradienten des Tunnels ist auf die Höhenlage des Mineralwasserhorizonts abzustimmen.

Aufgrund der unsicheren Gegebenheiten wird für die geschätzten Rohbaukosten ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von 15 % angenommen (vgl. Kapitel 5.1.4.10).

5.1.4.7 Rettungskonzept

Ein Rettungskonzept entsprechend den üblichen Richtlinien im Tunnelbau, z. B. Richtlinie 853 der Deutschen Bahn AG oder Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, wurde nicht vorgesehen. Die Anforderungen aus den Richtlinien mit bspw. maximalen Rettungswegelängen von 300 m wurden für die vorliegende Machbarkeitsstudie als nicht geeignet eingeordnet, da sich in dem Tunnel in der Regel keine Personen befinden.

Analog der Planung bei Straßentunneln könnten Ausbuchtungen des Querschnitts vorgesehen werden. Diese könnten als Pannenbucht für Fahrzeuge dienen. Ebenso wäre die Nutzung dieser Querschnittsaufweitungen als Standort für Flucht- und Rettungskammern denkbar. Es wird angenommen, dass alle 600 m eine solche bauliche Querschnittsaufweitung vorgesehen wird. Auf der Strecke mit 9400 m Länge werden demnach 16 Aufweitungen erforderlich. Diese Annahme entspricht ebenso den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), aus der ergänzend hervorgeht, dass eine Pannenbucht eine Länge von ca. 45 m hat.

Demnach sind 720 m ($16 \cdot 45$ m) des Querschnitts mit Aufweitungen zu versehen, also ca. 7 % der Gesamtstrecke. Unter der Annahme, dass die Kosten einer solchen Aufweitung auf Grundlage der datenbankorientierten Ergebnisse prozentual mit dem Faktor V2 bzw. V1 berechnet werden könnten, ergäbe sich für eine Preiserhöhung pro Laufmeter Querschnittsaufweitung:

$$16.688 \text{ (€/m)} / 13.176 \text{ (€/m)} = 1,267 \rightarrow \sim 27 \%$$

Der Faktor $7 \% \cdot 27 \% = 1,89 \%$ ist mit den jeweiligen Rohbau-Schätzkosten zu multiplizieren (vgl. Kapitel 5.1.4.10).

5.1.4.8 Sparten- und Trassenverlegung

Mindestens bei der Herstellung der Hubs, insbesondere bei den City-Hubs, wird das Verlegen von Sparten (unterirdisch verlegten Leitungen) erforderlich. Der Aufwand für die Verlegung ist situationsabhängig. Betroffene Sparten auf der Strecke sind zu identifizieren. Im Weiteren wäre der Aufwand der Verlegung einzuordnen; hierbei ist bspw. das Verlegen von Sammlern oder von Gasleitungen und zugehörigen Schächten deutlich komplexer und kostenintensiver als ein Verlegen flexiblerer kleinerer Leitungen.

Im Rahmen der frühen Machbarkeitsuntersuchung wird eine Pauschale von 1,0 Mio. € angenommen. Diese Annahme müsste in weiteren Planungsschritten geprüft und fortgeschrieben werden.

5.1.4.9 Anschluss Hubs

Urban-Hub

Die Überdeckung der Röhre soll an der Grundstücksgrenze einen halben Tunneldurchmesser betragen, also ca. 2,85 m. Zwischen der Oberkante des Fahrbahnbelags im Tunnel und der Oberkante des Fußbodens im Urban-Hub liegen demnach mindestens 7,18 m. Dieser Wert ergibt sich aus den folgenden Werten:

Überdeckung	2,85 m
Durchmesser Tunnel innen	4,50 m
Außenschale	0,20 m
Innenschale	0,40 m
Abzüglich Fahrbahnhöhe	0,77 m

$$2,85 \text{ m} + 4,5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,4 \text{ m} - 0,77 \text{ m} = 7,18 \text{ m}$$

Um diesen Höhenunterschied zu überwinden, können mit Rampe und Vertikalförderer zwei verschiedene Konzepte angewendet werden.

Rampe: Der Horizontalförderer wird ebenerdig beladen und fährt eine kontinuierliche Steigstrecke mit einer Länge von 120 m mit 6 % Steigung in den Untergrund. Davon kann etwa die Hälfte überbaut und als Logistikfläche genutzt werden.

Vertikalförderer: Die Paletten werden durch einen Vertikalförderer auf das Niveau des Tunnels befördert. Dafür sind ein Schachtbauwerk und unterirdische Fläche zur Beladung der Fördertechnik nötig. Im Schacht sind ein oder zwei Vertikalförderer sowie ein Treppenzugang unterzubringen. Für die Kostenschätzung wird von einem kreisrunden Schacht mit einem Durchmesser von 7,0 m und einer Oberkante der Schachtsohle von 10,0 m unter der Geländeoberkante ausgegangen. Es wird ein wasserdichter Verbau in Form einer überschnittenen Bohrpfahlwand angesetzt.

City-Hub

Um eine Anbindung der Röhre an City-Hubs zu ermöglichen, wird je nach Art des Hubs ein anderer Ansatz verfolgt.

Oberirdische Parkplätze und -häuser werden durch ein Schachtbauwerk wie oben beschrieben angeschlossen. Durch eine Erweiterung der Röhre auf drei Spuren (Querschnitt V2) kann die zu entladende Fördertechnik aus dem Hauptstrom ausgeschleust werden. Die Erweiterung wird mit 30 m auf die dreifache Länge des Routenzugs angesetzt.

Tiefgaragen werden unterirdisch angebunden. Anstelle eines Schachts werden Röhre und Parkebene durch eine horizontale Öffnung verbunden (vgl. Abbildung 5.3). Dabei ist die Eignung der Bauwerke zu berücksichtigen. Es sind Abfangkonstruktionen im Bauwerk sowie Abdichtungsmaßnahmen gegen drückendes Grundwasser zu planen. Auch das Problem des stark eingeschränkten Baufelds (Arbeiten aus der Tiefgarage) erschwert eine mögliche Umsetzung. Zusätzlich wäre eine Neuberechnung der Bauwerksstatik mit den komplexen Bauzuständen unerlässlich, um weitere Aussagen zur Machbarkeit treffen zu können. Der Vorteil aus Materialflussperspektive ist ein möglicher Entfallen des unstetigen Vertikalförderers. In der Kostenkalkulation wird für den Tiefgaragenanschluss der gleiche Wert wie für Fahrbahnerweiterung und ein Schachtbauwerk angenommen.

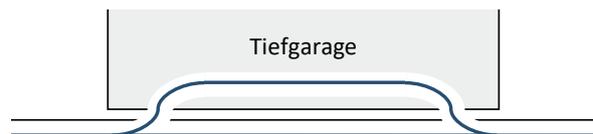


Abbildung 5.3: Skizze zur Anbindung eines City-Hubs über die Tiefgarage (eigene Darstellung)

5.1.4.10 Kostenschätzung für Tiefbau und Röhre

Die Kostenfaktoren der in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Planungskomponenten der unterirdischen Trasse werden hier zusammengefasst. Für die beiden Querschnittsvarianten V1 und V2 sowie für die Risikowerte 1,17 und 1,42 werden die Gesamtkosten berechnet. Zu den Rohbaukosten³² werden die Kosten des Baugrundrisikos (15 % der Rohbaukosten), für das Rettungskonzept (1,89 % der Rohbaukosten) und für Sparten (1 Mio. €, verteilt auf 9400 m) addiert.

Kostenschätzung V1 (Innendurchmesser: 4,5 m):

Unterer Grenzwert Risikofaktor aus Datenmodell: 1,17			
	Kostenschätzung	Menge	Kosten pro Meter
Tunnelrohbau	13.176,55 €/m	1	13.176,55 €/m
Baugrundrisiko	13.176,55 €/m	15 %	1.976,48 €/m
Rettungskonzept	13.176,55 €/m	1,89 %	249,04 €/m
Sparten	1.000.000,00 €	1/9.400 m	106,38 €/m
			15.508,45 €/m
Planungskosten		20%	3.101,69 €/m
			18.610,14 €/m

Tabelle 5-1: Kostenschätzung V1 (Innendurchmesser: 4,5 m), unterer Grenzwert

³² Erfahrungswerte des Projektteams auf Grundlage vergleichbarer Tunnelbauprojekte (vgl. Kapitel 5.1.4.5)

Oberer Grenzwert Risikofaktor aus Datenmodell: 1,42			
	Kostenschätzung	Menge	Kosten pro Meter
Tunnelrohbau	15.976,36 €/m	1	15.976,36 €/m
Baugrundrisiko	15.976,36 €/m	15 %	2.396,45 €/m
Rettungskonzept	15.976,36 €/m	1,89 %	301,95 €/m
Sparten	1.000.000,00 €	1/9.400 m	106,38 €/m
			18.781,15 €/m
Planungskosten		20%	3.756,23 €/m
			22.537,39 €/m

Tabelle 5-2: Kostenschätzung V1 (Innendurchmesser: 4,5 m), oberer Grenzwert

Kostenschätzung V2 (Innendurchmesser: 5,9 m):

Unterer Grenzwert Risikofaktor aus Datenmodell: 1,17			
	Kostenschätzung	Menge	Kosten pro Meter
Tunnelrohbau	16.688,18 €/m	1	16.688,18 €/m
Baugrundrisiko	16.688,18 €/m	15 %	2.503,23 €/m
Rettungskonzept	16.688,18 €/m	1,89 %	315,41 €/m
Sparten	1.000.000,00 €	1/9.400 m	106,38 €/m
			19.613,20 €/m
Planungskosten		20%	3.922,64 €/m
			23.535,84 €/m

Tabelle 5-3: Kostenschätzung V2 (Innendurchmesser: 5,9 m), unterer Grenzwert

Oberer Grenzwert Risikofaktor aus Datenmodell: 1,42			
	Kostenschätzung	Menge	Kosten pro Meter
Tunnelrohbau	20.263,09 €/m	1	20.263,09 €/m
Baugrundrisiko	20.263,09 €/m	15 %	3.039,46 €/m
Rettungskonzept	20.263,09 €/m	1,89 %	382,97 €/m
Sparten	1.000.000,00 €	1/9.400 m	106,38 €/m
			23.791,91 €/m
Planungskosten		20%	4.758,38 €/m
			28.550,29 €/m

Tabelle 5-4: Kostenschätzung V2 (Innendurchmesser: 5,9 m), oberer Grenzwert

Kostenschätzung für die Anbindung eines City-Hubs

Die Kosten für die Anbindung eines City-Hubs setzen sich aus den Kosten zusammen, die durch einen größeren Röhrenquerschnitt (V2) entstehen, sowie aus den Kosten für das zu errichtende Schachtbauwerk. Dafür wurde ein Mittelwert aus den Differenzen der Baukosten pro Meter der Querschnittsvarianten V2 und V1 mit der Länge der Tunnelerweiterung multipliziert. Pro City-Hub entstehen somit Kosten von ca. 1.237.000 € (vgl. Tabelle 5-5).

Erweiterter Querschnitt	136.732,65 €	30 m dreispurige Strecke (Querschnitt V2)
Schachtbauwerk	1.100.000,00 €	
Kostenschätzung	1.236.732,65 €	pro City-Hub

Tabelle 5-5: Kostenschätzung für den Anschluss eines City-Hubs

Kosten für die Unterfahrung von Grundstücken

Wie in Kapitel 3.3.3.1 erwähnt, entstehen durch die Inanspruchnahme Grundstücke Dritter, Kosten. Im Rahmen des Bahnprojekts S21 wurde auf das ‚Münchener Verfahren‘ (Kleiber et al. 2020) zurückgegriffen. Ob dieses für den Unterirdischen Warentransport anwendbar ist, muss geprüft werden. Dennoch wird das Verfahren zur Kostenschätzung herangezogen, um einen ersten Anhaltspunkt zu generieren. Beim ‚Münchener Verfahren‘ werden die Kosten aufgrund der unterfahrenen Fläche berechnet. Je geringer die Überdeckung zwischen Grundstück und Tunneloberkante, desto höher fällt die Vergütung aus. Außerdem wird der Bodenrichtwert der Fläche einbezogen. Eine Unterfahrung findet hauptsächlich im Bereich der Trassenführung parallel zur S21-Trasse statt. Im Anhang ist die Anwendung des Verfahrens auf diesen Bereich dargestellt (vgl. Tabelle 10 9). Insgesamt ergeben sich dadurch einmalige Zusatzkosten von ca. 806.000 €. Im Durchschnitt entstehen pro Meter unterfahrenem Grundstück Kosten in Höhe von 351,50 €.

5.1.4.11 Optimierungsmöglichkeiten und mögliche Untervarianten

Die beschriebene Lösung, insbesondere für die Variant V1 (Innendurchmesser: 4,5 m), sollte in vertiefenden Studien u. a. durch die folgenden Ansätze optimiert werden.

Es ist künftig zu untersuchen, ob durch Anpassung des Untersuchungskorridors der Tunneltrasse ein Durchfahren von quellfähigem Anhydrit vermieden werden kann. Die Geometrie des Tunnelquerschnitts kann von kreisrund zu einer optimierten Form angepasst werden. Dies erfordert vorlaufende statische Berechnungen. Neben dem rein konventionellen Vortrieb kann eine Hybridlösung aus konventionellem und maschinellem Vortrieb geprüft werden, um die Vorteile beider Verfahren einzubringen. Zur Reduzierung der Bauzeit ist ein zusätzlicher Angriffspunkt für den Tunnelbau zu planen, sodass der Vortrieb an zwei Ortsstößen gleichzeitig möglich ist.

5.2 Urban-Hub

Der für das UWT-System notwendige Urban-Hub wird entsprechend den Anforderungen und dem Grundstückszuschnitt neu errichtet. Hierin sind entsprechende Flächen für den Umschlag und eine Sortierung vorzusehen. Der Urban-Hub beinhaltet zusätzlich eine Fläche zur Lagerung von Paletten. Nicht alle Waren können gemäß der Cross-Docking-Logik direkt umgeschlagen werden und müssen für eine begrenzte Zeit zwischengelagert werden. Die notwendigen Büroflächen des UWT-Systems sind ebenfalls im Urban-Hub angesiedelt. In Abhängigkeit von der täglichen Anzahl an umgeschlagenen Paletten wurde eine benötigte Gesamtfläche des Urban-Hubs von 12 939 m² ermittelt.

Die Baukosten des Urban-Hubs wurden anhand des Baupreisindex (BKI) (Kalusche und Herkel 2019) für Lagergebäude mit bis zu 25 % Mischnutzung und Vergleichsprojekten des Projektteams (u. a. Neubau eines Logistikzentrums mit unterirdischer Anbindung für automatischen Warentransport) abgeschätzt. Insgesamt wird ein Kostenfaktor von 1444 €/m² BGF angesetzt. Darin sind alle Baukosten der DIN 276 mit Ausnahme der Kostengruppe 600 für Ausstattung und Kunstwerke enthalten. Für die Lagertechnik werden zusätzlich Investitionskosten in Höhe von 10 Mio. € angenommen. Dieser Wert wird auf Basis der Angaben zu Investitionsvolumen und Lagerplätzen von Referenzprojekten abgeschätzt (En-

dres 2020, 2019; FUNKE Medien NRW GmbH 2020). Für die Sortiertechnik wird vereinfacht ein Investitionsvolumen in Höhe von 5 Mio. € – also der Hälfte der Investitionskosten der Lagertechnik – angenommen.

5.3 City-Hub

Das Ergebnis der Standortplanung in Verbindung mit der Trassenplanung (vgl. Abschnitt 3.3) ergibt als Basislösung ein City-Hub-Netzwerk bestehend aus vier City-Hubs in Nähe des City-Rings. Diese sind das Parkhaus Breuninger, das Parkhaus Gerberviertel, der Parkplatz Seidenstraße und das Parkhaus Hauptbahnhof. Sofern das Parkhaus Hauptbahnhof aufgrund städtebaulicher Entwicklungen im Kriegsbergareal zukünftig zurückgebaut werden sollte, wird ein alternativer City-Hub Standort in diesem Areal empfohlen. Die am jeweiligen Standort bereits vorhandene Fläche wäre baulich aufzubereiten und für die Nutzung als City-Hub zu modifizieren. Die durch den City-Hub genutzte Fläche müsste ebenfalls von der restlichen Tiefgarage räumlich getrennt werden. Dazu müssten entsprechend qualifizierte Wände und Tore eingeplant werden. Der Bodenbelag wäre in diesem Bereich neu zu beschichten und mit den entsprechenden Markierungen zu versehen.

Zu den baulichen Anpassungen wären noch Leistungen der Gebäudetechnik vorzusehen. Für die technische Infrastruktur der City-Hubs wäre die entsprechende elektrische Anschlussleistung vorzuhalten. Zusätzlich würden die notwendige Ladekapazität für die E-Fahrzeug-Flotte zur Verteilung der Güter, eine angepasste Beleuchtung der Fläche und weitere Brandmelder benötigt.

Die Kosten für den Anschluss an den Tunnel sind hier nicht berücksichtigt. Die Kosten für die Verbindung zur Haupttrasse inkl. der notwendigen Eingriffe in die Wand zum Anschluss ist in Kapitel 5.1.4.9 enthalten.

Die Kosten für die City-Hubs wurden anhand von Kostenkennwerten aus vergleichbaren Projekten des Projektteams abgeschätzt. Umbaumaßnahmen sind pauschal je City-Hub mit einmalig 150.000 € für die baulichen Aspekte und 300.000 € für die oben genannten technischen Punkte angesetzt. Eine detaillierte Betrachtung der Maßnahmen je Hub hat in der weiteren Planung zu erfolgen. Kontinuierliche Abstimmungen mit städtebaulichen Planungen und Entwicklungen sind zudem unerlässlich.

5.4 Baustellen- und Grobterminplanung

Der Bau des UWT-Systems erfolgt in mehreren Abschnitten. Die wesentlichen sind nachfolgend aufgeführt:

- Bau Tunnelsegment 1
- Bau Tunnelsegment 2
- Errichtung Urban-Hub
- Umbau City-Hub

Der Bau des Tunnels startet auf dem Grundstück des Urban-Hubs. Auf dieser Fläche erfolgt die komplette Baustelleneinrichtung für diesen Bauabschnitt. Dementsprechend kann mit dem Errichten des Urban-Hubs erst nach Abschluss der baulichen Herstellung des Tunnels begonnen werden. Die Feinmontage und Fertigstellung der Technikinstallation im Tunnel können teilweise parallel zum Bau des Urban-Hubs stattfinden. Der Umbau der City-Hubs soll nach der Fertigstellung der Tunnelanbindung erfolgen. Im City-Hub sind während des Umbaus noch weitere Parkplätze zu sperren. Für diese Zeit steht ein reduziertes Angebot an Parkfläche zur Verfügung.

Von bedeutendem Interesse hinsichtlich der Durchführbarkeit im Vorfeld einer solchen Maßnahme ist eine Abschätzung der Planungs- und Bauzeit. Maßgeblich für die Dauer der Durchführung ist die Bauzeit des Tunnels.

Aus Erfahrungen des Projektteams mit vergleichbaren Tiefbauprojekten, bspw. S21, wird für die Vortriebszeit mit bergmännischem Verfahren eine Abschlaglänge von ca. 5 m pro Tag als realistisch eingeschätzt. Im Extremfall, bspw. aufgrund unvorhergesehener geologischer Verhältnisse, verringert sich die Abschlaglänge auf ca. 2 m pro Tag. Für den Tunnel mit einer Länge von ca. 9400 m bedeutet dies einen zeitlichen Aufwand mit einer Spanne von 62 bis 156 Monaten. Unter Berücksichtigung der zusätzlich notwendigen vor- und nachgelagerten Bauschritte ist somit von einer realistischen Bauzeit für den Tunnel von ca. 7 bis 17 Jahren auszugehen (vgl. Tabelle 5-6).

Maßnahme	Einheit	Minimum	Maximum
Vorbereitende Maßnahmen (Trassenverlegung etc.)	[Monate]	2	12
Baufeldfreimachung	[Monate]	0,5	1
Baustelleneinrichtung	[Monate]	0,5	1
Herstellen Startschacht	[Monate]	2	4
Vortrieb (bis Einbau der Außenschale)	[Monate]	62	156
Nachlaufende Rohbauarbeiten (Fertigstellung der Innenschale und Fahrbahnplatte nach Abschluss des Vortriebs)	[Monate]	2	6
Innenausbau Tunnel	[Monate]	12	24
Gesamt	[Monate]	81	204
	[Jahre]	6,8	17,0

Tabelle 5-6: Grobabschätzung Bauzeit des Tunnels

Durch Ergänzung eines Zwischenangriffes (ZA) kann diese Vortriebszeit stark reduziert werden. Im Maximum könnte sich die Vortriebsdauer um die Hälfte reduzieren. Auch mehrere ZA wären denkbar. Zur Reduzierung der Bauzeit wäre demnach zu empfehlen, den Tunnel in zwei Abschnitten zu bauen, ausgehend vom Urban-Hub mit einem ZA von der Stadtgrenze. Die Kosten für einen oder mehrere ZA sind bisher jedoch nicht erfasst.

Die Herstellung der Zielschächte an den Hubs und die damit zusammenhängenden Arbeiten laufen zeitlich parallel zum Vortrieb. Für den Ausbau und die Inbetriebnahme der City-Hubs werden anhand vergleichbarer Baumaßnahmen ca. zwei Jahre veranschlagt. Der Bau des Urban-Hubs erfolgt nach Abschluss der Vortriebsarbeiten und kann zeitlich parallel zum Innenausbau des Tunnels liegen. Es ist zu berücksichtigen, dass im Innenstadtbereich ein konventioneller Vortrieb auf engem Raum vorgesehen ist. Auch für dieses Verfahren müssen Baustelleneinrichtungsflächen vorgesehen werden.

Unter Berücksichtigung der notwendigen vorgelagerten Planung, Ausschreibung und Vergabe der Maßnahme stellt sich die Grobterminplanung demnach in etwa wie folgt dar:

- Planungsphase: ca. 3 Jahre
- Ausschreibung und Vergabe: ca. 0,5 Jahre
- Realisierung: ca. 7–17 Jahre

Von Planungsbeginn bis zur Inbetriebnahme ist somit ein Zeitraum von ca. 10 bis 20 Jahren

einzuplanen. Hierbei ist zu beachten, dass im Rahmen dieser Machbarkeitsuntersuchung die rechtlichen Voraussetzungen zur Realisierung des Tunnels nicht betrachtet wurden. Die rechtlichen Grundlagen zur Verwirklichung des Projektes sind gesondert zu prüfen. In der weiteren Planung ist auch zu klären, wie sich mögliche Genehmigungsverfahren auf die Maßnahme auswirken und ob möglicherweise Bürgerbefragungen oder -beteiligungsprozesse im Vorfeld notwendig sind.

5.5 Fazit der Bautechnik

Allgemein lässt sich festhalten, dass der Tiefbau der Röhre als technisch machbar bewertet werden kann. Für einen Großteil des Trassenverlaufs (vgl. Abschnitt 3.3.4.3) konnte hierfür auf bereits existierende geologische Untersuchungen der S21-Trasse Bahntunnel Ober-/Untertürkheim zurückgegriffen werden. Hinsichtlich der Vortriebsart wird aufgrund der anhydritführenden Geologie und einer flexiblen Querschnittsgestaltung der konventionelle bergmännische Vortrieb mit gebirgsschonendem Teilausbruch (Kalottenvortrieb) empfohlen. Im Rahmen der Studie wurden zwei Regelquerschnitte untersucht.

Zum einen die Variante mit einem Innendurchmesser von 4,5 m für eine zweispurige Nutzung, zum anderen die Variante mit einem Innendurchmesser von 5,9 m für eine dreispurige Nutzung. Zu beiden Varianten wurden anhand von Erfahrungswerten des Projektteams auf Grundlage vergleichbarer Tunnelbauprojekte jeweils ein unterer und ein oberer Kostengrenzwert abgeschätzt. Aufgrund der unsicheren Gegebenheiten, wie des unausgelaugten anhydritführenden Gipskeuperhorizonts sowie der Heilquellen und des Mineralwasserhorizonts im Stuttgarter Raum, wird ein Sicherheitsfaktor von 15 % angesetzt. Als Rettungskonzept wird alle 600 m eine Querschnittsaufweitung des Tunnels vorgesehen, die als Standort für Flucht- und Rettungskammern dient. Eine dreispurige Nutzung des Tunnels ist aus logistischer Sicht nicht erforderlich, somit wird im Weiteren der obere Kostengrenzwert für die zweispurige Tunnelvariante mit einem Innendurchmesser von 4,5 m in Höhe von 22.537 €/m angesetzt. Für den Bau des Tunnels inkl. der zusätzlich notwendigen vor- und nachgelagerten Bauschritte wird von einer Bauzeit von 7 bis 17 Jahren ausgegangen.

Beim Urban-Hub handelt es sich um ein neu zu errichtendes Gebäude, das für den Umschlag, die Sortierung und die Lagerung von Paletten geeignet ist. In Abhängigkeit von der täglichen Anzahl an umgeschlagenen Paletten wurde eine benötigte Gesamtfläche des Urban-Hubs von 12 939 m² ermittelt. Für die Anbindung des Urban-Hubs an die Röhre sind acht Vertikalförderer vorgesehen. Als Alternative zu Vertikalförderern wäre auch die Nutzung einer Rampe für die Anbindung des Urban-Hubs an die Röhre mit einer kontinuierlichen Steigstrecke von 120 m mit 6 % Steigung denkbar. Die Voraussetzungen für die Umsetzung einer solchen Rampe müssten separat geprüft werden. Anhand vergleichbarer Projekte wurden die Kosten für das Errichten des Urban-Hubs mit einem Kostenfaktor von 1444 €/m² BGF angesetzt. Zusätzlich fallen schätzungsweise ca. 10 Mio. € Kosten für die Lagertechnik, sowie 5 Mio. € Kosten für die Sortiertechnik im Urban-Hub an.

Die vier vorgesehenen City-Hubs in Nähe des City-Rings (Parkhaus Breuninger, Parkhaus Gerberviertel, Parkplatz Seidenstraße und Parkhaus Hauptbahnhof) sind für eine Nutzung des UWT-Systems teilweise umzubauen. Die Kosten für die Umbaumaßnahmen und die baulichen Aspekte innerhalb der City-Hubs wurden anhand von Kostenkennwerten aus vergleichbaren Projekten des Projektteams pauschal je City-Hub mit einmalig 450.000 € angesetzt. Bei der Anbindung der City-Hubs an die Röhre wird zwischen oberirdischen Parkplätzen und -häusern sowie Tiefgaragen unterschieden. Oberirdische Parkplätze und -häuser werden durch ein Schachtbauwerk mit Vertikalförderer angeschlossen. Hierzu wird der Röhrenquerschnitt auf 30 m dreispurig aufgewertet, um die zu entladende Fördertechnik aus dem Hauptstrom auszuschleusen. Tiefgaragen werden unterirdisch durch eine horizontale Öffnung angebunden und die Waren mittels Vertikalförderer auf das

Straßenniveau befördert. Im Einzelfall kann bei Tiefgaragen geprüft werden, ob alternativ auch die Auffahrampen für den vertikalen Transport genutzt werden können, wodurch auf Vertikalförderer verzichtet werden kann. Die Kosten, die für die Anbindung eines City-Hubs entstehen, werden pro City-Hub pauschal auf ca. 1.237.000 € geschätzt.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsuntersuchung wurden die rechtlichen Voraussetzungen zur Realisierung des Tunnels nicht explizit betrachtet. Es wird empfohlen die rechtlichen Grundlagen zur Verwirklichung des Projektes gesondert zu prüfen.

6. Stakeholdermanagement

6.1 Problemstellung

Auf Basis von Erfahrungen aus anderen Stuttgarter Großprojekten, bspw. S21 (DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH 2021), aber auch auf Basis der Erfahrungen aus anderen (Forschungs-)Projekten zu UWT-Systemen (siehe Chen et al. 2017; Egbunike und Potter 2011; Visser et al. 2008) haben sich die Stakeholder als zentraler Einflussfaktor herausgestellt. Das Modell von Visser et al. (2008, Abbildung 6.1) zeigt das Zusammenspiel der vielfältigen Faktoren, die für eine erfolgreiche Implementierung nötig sind. Diese können aktiv neue Lösungen einfordern und damit ein Projekt bzw. eine Technologie vorantreiben. Auf der anderen Seite sind Stakeholder oftmals ein Grund für das Scheitern solcher Vorhaben. Fehlt die Akzeptanz einzelner Gruppen, kann dies zu Verzögerungen, deutlich höheren Kosten und im gravierendsten Fall zu einem Abbruch des Projekts führen bzw. bereits den Projektstart verhindern.

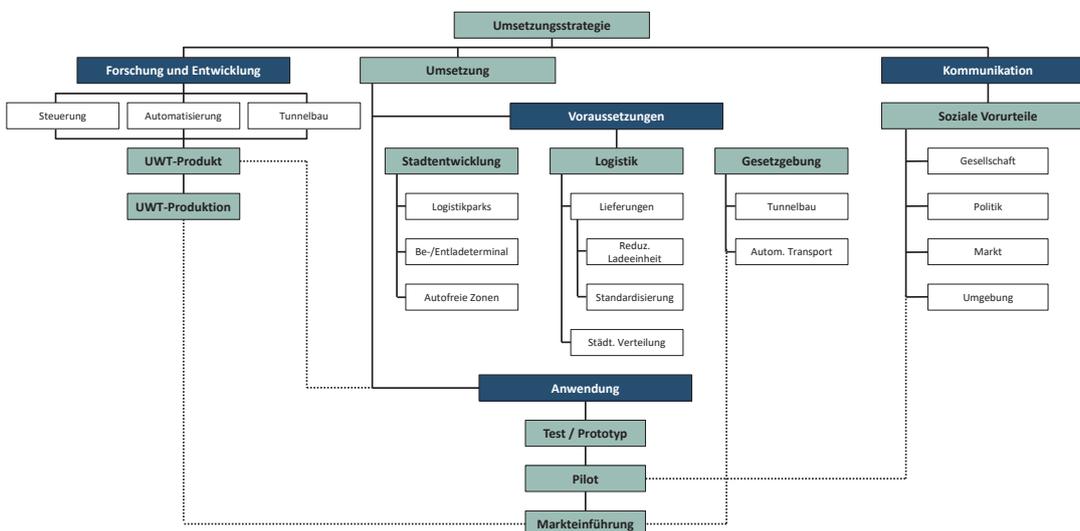


Abbildung 6.1: Erzeugung geeigneter Rahmenbedingungen zur Implementation eines UWT-Systems (Visser et al. 2008, S. 10)

6.2 Zielsetzung

Das Ziel des Stakeholdermanagements besteht darin, die für das Projekt des UWT-Systems relevanten und einflussnehmenden Stakeholdergruppen zu identifizieren und den Grad ihrer jeweiligen Akzeptanz zu erfassen. Dabei wird ein Fokus auf die Stakeholder gesetzt, die entweder einen besonders hohen Einfluss auf die Machbarkeit besitzen oder ein potenziell großes Konfliktrisiko mit sich bringen. Im Zuge dieser Analyse sollen außerdem verschiedene Treiber und Hemmnisse aufgedeckt und untersucht werden. Dies beinhaltet die Identifikation möglicher ‚Stellschrauben‘ und Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Akzeptanz nehmen können.

6.3 Vorgehensweise

Zur Erreichung dieses Ziels wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Ziel der ersten Stufe war die Identifikation aller relevanten Stakeholdergruppen sowie ihre anschließende Selektion nach Einfluss und Konfliktpotenzial bzgl. der Machbarkeit des UWT-Systems. Zusätzlich wurde hierbei betrachtet, ob der Einfluss sich in den drei Phasen Planung, Bau und Betrieb verändert.

In der zweiten Stufe wurden die ausgewählten zentralen Gruppen mit dem größten Einfluss und Konfliktpotenzial fokussiert analysiert. Dabei wurden ihre Akzeptanz – mit Fokus auf wahrgenommenem Nutzen –, die aktuellen Hindernisse sowie relevante Treiber und Hemmnisse ermittelt. So konnte abschließend ein Fazit gezogen werden, ob das UWT-System aus Sicht der relevanten Stakeholdergruppen einen Mehrwert bietet.

Für die Ermittlung der Akzeptanz wurde auf Modelle aus dem Feld der Technologieakzeptanz zurückgegriffen, wie das ‚Technology Acceptance Framework‘ von Huijts et al. (2012) und die ‚Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2‘ (UTAUT2) von Venkatesh et al. (2012), sowie auf wissenschaftliche Erhebungs- und Auswertungsmethoden, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden.

6.4 Methode und Limitationen

Abbildung 6.2: Überblick zu den Erhebungen in den Phasen 1 und 2 gibt einen Überblick über die Methoden und die einzelnen Erhebungen in den Phasen 1 und 2 des Stakeholdermanagements, bevor diese Methoden in ihrer Auswahl und Durchführung erläutert werden. Die Auswahl der Methodik und die Konzeption des Leitfadens³³ wurden geprüft von Prof. Dr. Thomas Bäumer (Studiendekan Wirtschaftspsychologie) von der Hochschule für Technik Stuttgart als wirtschaftspsychologischem Experten der qualitativen und quantitativen Erhebungen und des Themas der Akzeptanz, besonders der Akzeptanz von Innovationen und neuer Technologien. Grundsätzlich wurden auch alle Leitfäden vor Einsatz getestet.

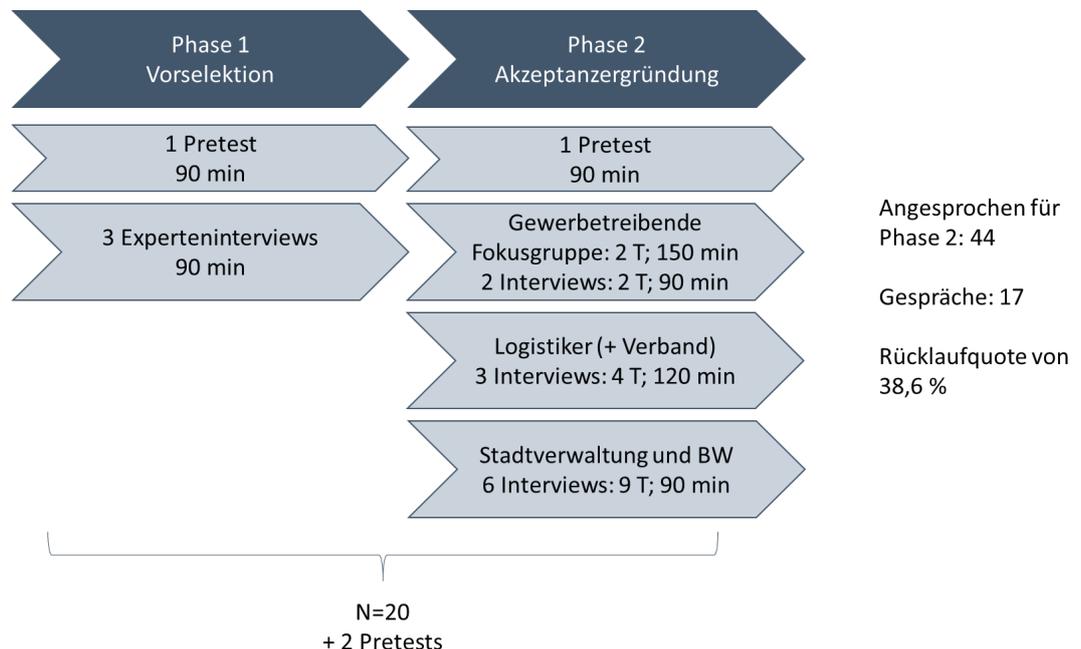


Abbildung 6.2: Überblick zu den Erhebungen in den Phasen 1 und 2

6.4.1 Methodik Phase 1

In Phase 1 wurde zur Vorselektion der Stakeholdergruppen die Methode des Experteninterviews gewählt. Durch ihre fachliche Expertise eignen sich die Experten besonders, um auf Basis ihres Wissens eine problemlösungsbezogene Entscheidung oder Empfehlung auszusprechen (Pfadenhauer 2009) und damit im Anwendungskontext dieser Studie eine Selektion der Stakeholder vorzunehmen. Die Zuschreibung des Expertentitels geschieht dabei auf Basis des unterstellten Wissens, der beruflichen Laufbahn oder der Position innerhalb der Gesellschaft (Dreijack und Niederberger 2018). Methodisch handelt es sich bei Experteninterviews um teilstandardisierte Leitfadeninterviews, in denen die durch die

Forschenden vorformulierten zentralen, offenen Fragestellungen durch die Experten frei beantwortet werden (Dreijack und Niederberger 2018; Liebold und Trinczek 2009; Pöchtrager 2011).

Der Leitfaden dieser Forschung untergliedert sich in die folgenden sechs Bereiche:

- Vorstellung und Einführung in die Thematik
- Spontane Nennung und Einschätzung der relevanten Stakeholder
- Vorstellung der LHS, des Projekts und der Stakeholdervorauswahl des Projektteams
- Vorselektion der Stakeholder für das Gesamtprojekt [anhand einer Liste]
- Anschließende Eingliederung nach Einfluss und Konfliktpotenzial und Bewertung in den Phasen Planung, Bau und Betrieb [anhand einer Matrix]
- Finale Priorisierung durch die Experten und Fazit

Im Rahmen der Vorstellung des dritten Punktes wurde den Experten eine Präsentation zu den Rahmenbedingungen der LHS sowie zu den grundsätzlichen Prämissen des UWT-Systems in Stuttgart gezeigt. Ziel war es, eine gemeinsame Basis und eine bestmögliche Bewertung durch die relevantesten Stakeholdergruppen für Stuttgart sicherzustellen. Auf Basis des Leistungsbilds der AHO (AHO 2018) wurde die Visualisierungs- und Bewertungsform des Stakeholderportfolios gewählt.

Im Rahmen der Interviews wählten die Experten im vierten Schritt aus einer Liste jene Stakeholder aus, die sie für das Gesamtprojekt als besonders relevant einschätzten. Zudem wurden hierbei weitere Stakeholder ergänzt, wenn diese noch nicht in der Liste vorhanden waren. Im fünften Schritt wurden diese Stakeholder in die Matrix des Stakeholderportfolios eingeordnet. Dabei befindet sich auf der x-Achse von Abbildung 6.3 das Konfliktpotenzial (auf dem Weg zur Umsetzung des Projekts) und auf der y-Achse der Einfluss (auf die Machbarkeit und Umsetzung des Projekts). Diese Einordnung wurde sowohl für das Gesamtprojekt als auch für die drei Phasen Planung, Bau und Betrieb vorgenommen. Ziel war es, durch die granulare Darstellung in einzelnen Phasen eventuelle Veränderungen bei der Relevanz einzelner Stakeholdergruppen über die Projektphasen aufzeigen zu können. Die Auswahl aus der Liste der Stakeholder sowie deren Platzierung im Stakeholderportfolio fanden interaktiv in einer geteilten PowerPoint-Präsentation statt. Zusätzlich wurden die Inhalte des Leitfadens und der Ablauf des Interviews mit einem Logistikexperten getestet. Anschließend wurde die Methodik auf Basis des Feedbacks angepasst.

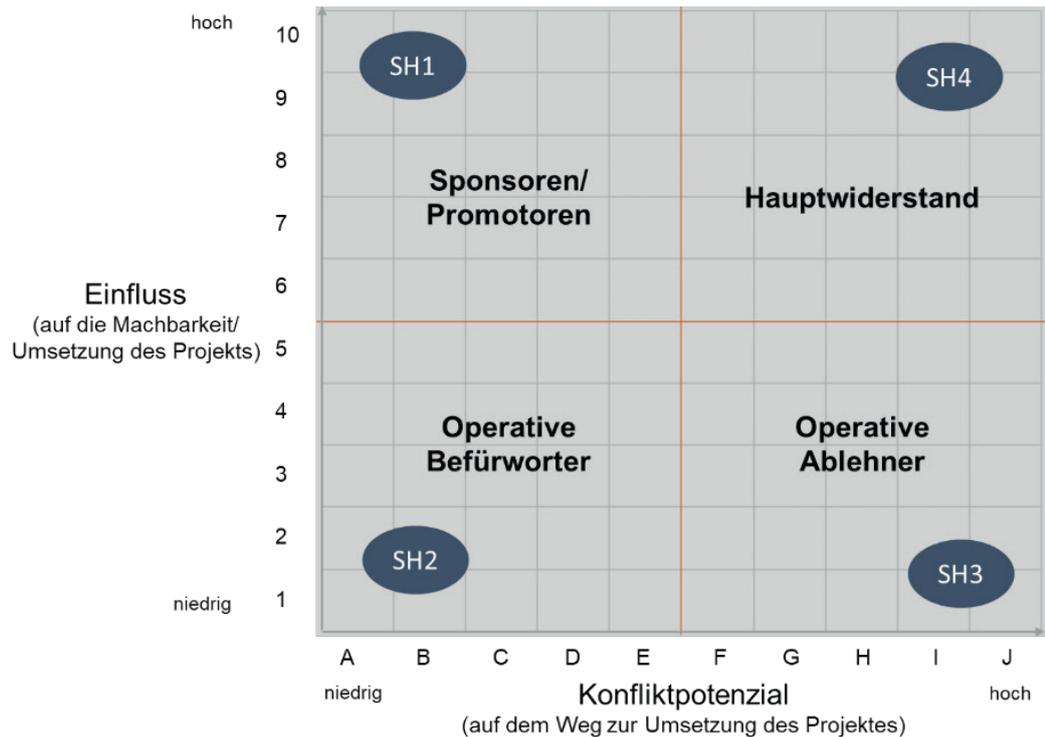


Abbildung 6.3: Konzept des Stakeholderportfolios (eigene Darstellung)

Für die Interviews wurden drei verschiedene Experten ausgewählt, um unterschiedliche Perspektiven abdecken zu können und ein umfassendes Bild zu gewinnen:

- E1: Experte Forschung, Projektplanung und bauliche Umsetzung UWT
- E2: Experte Forschung, Treiber und Hemmnisse und internationale Vernetzung UWT
- E3: Expertin LHS

Rekrutiert wurden die Experten durch die Ansprache per E-Mail. Alle drei Experten zeigten sich an einer Teilnahme interessiert. Die Interviews fanden im Zeitraum zwischen Kalenderwoche 12 und 14 des Jahres 2021 im Rahmen zweistündiger Termine statt. Aufgrund der Coronapandemie und der örtlichen Distanz zu zweien der Experten wurden die Interviews online im Rahmen einer Videokonferenz durchgeführt.

Zur wissenschaftlichen Auswertung der Interviews wurden diese aufgenommen und transkribiert. Im Transkript selbst befinden sich nur die Informationen, die für die Interpretation genutzt werden sollen (Liebold und Trinczek 2009; Meuser und Nagel 1991). Sprechpausen und Füllwörter wurden daher aus den Transkripten entfernt und Satzbau sowie Grammatik geglättet. Nach der Transkription wurden die Interviews mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018b) ausgewertet (siehe Abbildung 6.4).

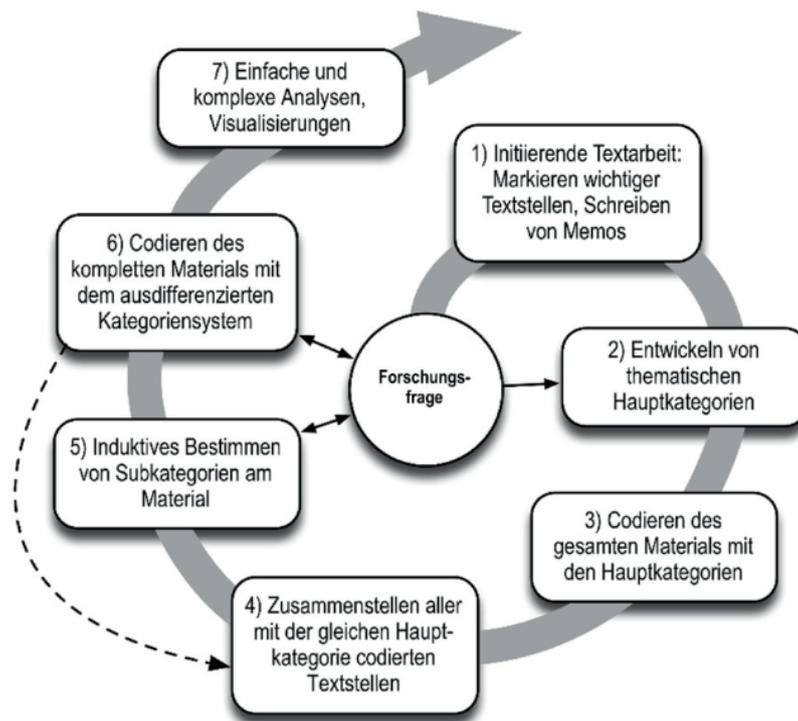


Abbildung 6.4: Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz³⁴

Auf Basis dieser Auswertung wurde eine Selektion der Stakeholder vorgenommen und die drei relevantesten Gruppen mit dem größten Einfluss und Konfliktpotenzial wurden ausgewählt. Diese Auswahl wurde mit Erkenntnissen aus Literatur und Forschung sowie mit Behördenvertretern der Stadt Stuttgart abgeglichen.

6.4.2 Methodik Phase 2

Für die Erhebungen in Phase 2 wurde ebenfalls ein qualitativer Ansatz gewählt, der aus Fokusgruppe und leitfadengestützten Experteninterviews bestand. Der zentrale Aspekt dieser zweiten Phase war die Ergründung des wahrgenommenen Nutzens bzw. des Mehrwerts des UWT und damit der Akzeptanz und zukünftigen Nutzungsabsicht des Systems.

Um Gründe und Ursachen detailliert verstehen zu können, sind Nachfragen der Forschenden zwingend erforderlich. Damit wird es den Forschenden möglich, auch tieferliegende Motivationen aufzudecken und zu analysieren. Nur so kann ein konkretes Verständnis gewonnen werden, auf dessen Basis sich realistische Zukunftsszenarien gestalten lassen. Aus diesem Grund wurden hier die genannten qualitativen Methoden ausgewählt.

Bei der Methode der Fokusgruppe handelt es sich um eine moderierte Gruppendiskussion zu einem Thema, die sich methodisch kreativ und facettenreich gestalten lässt (Bär et al., 2020; Döring & Bortz, 2016). Anwendungsbereich dieser Methode ist u. a. die Überprüfung von Konzepten und ihrer Akzeptanz (Bär et al. 2020). Der Vorteil ist dabei, dass in kurzer Zeit verschiedene Perspektiven erhoben werden können (Bär et al., 2020), da die Gruppenmitglieder direkt auf die Äußerungen anderer reagieren und ihre Zustimmung oder Ablehnung äußern können, wodurch angeregte Diskussionen entstehen (Döring und Bortz 2016). Die Moderation hat eine neutrale Rolle und kann Aussagen zusammenfassen oder das Gespräch durch gezielte Nachfragen und Anregungen lenken (Döring & Bortz, 2016).

Die Dauer einer Fokusgruppe bewegt sich üblicherweise im Bereich zwischen 30 und 120

³⁴ Abbildung aus Kuckartz 2018a, S. 100

Minuten mit einer Teilnehmeranzahl von vier bis acht Personen (Bär et al., 2020; Döring & Bortz, 2016). Daran orientierte sich auch die Fokusgruppe innerhalb dieser Machbarkeitsstudie.

Die Fokusgruppe fand mit den Gewerbetreibenden statt, da diese, anders als die Logistikdienstleister, in einer weniger direkten Konkurrenz stehen und aus diesem Grund vermutet wurde, dass sie bereitwilliger miteinander in den Austausch gehen würden. Für die Fokusgruppe wurden 150 Minuten eingeplant, um allen Teilnehmern ausreichend Zeit für ihre Äußerungen geben zu können. Die Erhebungen mit den anderen Stakeholdergruppen wurden in Form qualitativer Einzelinterviews durchgeführt, weil hier eine größere Offenheit in diesem Setting erwartet wurde. Da diese Methode bereits in Phase 1 zum Einsatz kam, wird auf ihre erneute Darstellung in diesem Kapitel verzichtet. Mit der Stadtverwaltung sollte ebenfalls eine Fokusgruppe im Rahmen eines moderierten Workshops durchgeführt werden. Nach interner Konsultation mit dem Auftraggeber dieser Studie wurden stattdessen jedoch 90-minütige Einzelinterviews mit den relevanten Abteilungen, Ämtern und Referaten eingeplant. Da es sich bei den Logistikdienstleistern um die kritischste Gruppe mit dem mutmaßlich höchsten Konfliktpotenzial handelt, wurden hierfür 120-minütige Einzelinterviews vorgesehen.

Beide Methoden (Fokusgruppe und Interviews) setzen die Erstellung eines Leitfadens³⁵ voraus. Dieser wurde für alle drei Zielgruppen ähnlich gestaltet. Allerdings wurden die individuellen Spezifika für den jeweiligen Anwendungsbereich der Interviewten berücksichtigt. Hierbei wurden die folgenden fünf Bereiche in den Interviews abgedeckt:

Stakeholdergruppe der Gewerbetreibenden und Logistiker:

- Ist-Situation: Zufriedenheit und Probleme
- UWT-System und ihr individuelles Interesse
- Mögliche Rahmenbedingungen
- Ausblick in die Zukunft
- Abschlussfazit

Stakeholdergruppe Politik und Verwaltung der LHS (und des Landes Baden-Württemberg):

- Aktuelle Wahrnehmung zum Thema City-Logistik
- Präsentation UWT-System
- Perspektive eigenes Referat und fachliche Meinung zum UWT
- Verschiedene Rahmenbedingungen sowie weitere Stakeholder
- Abschlussfazit

Die gemeinsame Diskussionsbasis wurde durch das Zeigen einer Präsentation zum UWT-System geschaffen. Je nach Zeitpunkt des Interviews wurden hier unterschiedlich konkrete Abbildungen der möglichen Standorte und Trassenführungen verwendet. Da die Erhebungen mit der Verwaltung zeitlich zuletzt stattfanden, war hier die Abbildung zur Trassenplanung bereits sehr konkret. Die Fokusgruppe wurde zusätzlich visuell durch ein Mural-Board begleitet, um die genannten Aspekte für alle Teilnehmer sichtbar festzuhalten, gleichzeitig eine Orientierung zu bieten und die aktuelle Frage präsent zu halten. Die Akzeptanz wurde mithilfe fünf verschiedener Akzeptanzmodelle betrachtet. Eine daraus abgeleitete Variante war die Basis für die Erstellung der Leitfäden und die Fragestellungen.

Folgende fünf Modelle bildeten die Basis:

- das ‚Technology Acceptance Framework‘ von Huijts et al. (2012)
- die UTAUT2 von Venkatesh et al. (2012)
- das ‚Research Model: Barriers and Enablers ULS‘³⁶ von Wiegmans et al. (2010)
- die ‚five attribute categories‘ von Rogers (1983), die zwischen 49 und 87 % der Varianz der Adaption von Innovation aufklären
- das heuristische Modell von Schlag (1997, zit. nach Geldmacher 2020, 30 f.)

Diese fünf Modelle enthalten überschneidende und divergierende Faktoren, die die Akzeptanz und die Verhaltensabsicht bzw. die Nutzung vorhersagen sollen. In allen Modellen ist einer der zentralen Faktoren für die Akzeptanz der relative (Wiegmans et al. 2010; Rogers 1983) wahrgenommene Vorteil (Huijts et al. 2012) bzw. die wahrgenommene Effektivität (Schlag 1997) oder Leistungserwartung (Venkatesh et al. 2012). Die konkrete Fragestellung für die Erhebungen ist daher, ob das UWT-System als nützlich und zusätzlich als vorteilhafter im Vergleich zu bestehenden Systemen wahrgenommen wird. Dem stehen im Modell die wahrgenommenen Risiken und Kosten gegenüber (Huijts et al. 2012), die im Kosten-Nutzen-Verhältnis (Venkatesh et al. 2012) gegeneinander abgewogen werden. Nur wenn die Vorteile die Nachteile überwiegen, ist von einer zukünftigen Nutzung auszugehen.

Weitere Einflussfaktoren sind die sozialen Normen (Venkatesh et al. 2012; Schlag 1997; Huijts et al. 2012). Um diesen Indikator auf den Unternehmenskontext anzupassen, wurde vorrangig nach beeinflussenden Unternehmenswerten und -normen gefragt. Ein weiterer relevanter Faktor sind die unterstützenden Umstände (Wiegmans et al. 2010; Venkatesh et al. 2012). Wie Visser et al. (2008) beschreiben, müssen für eine erfolgreiche Implementierung geeignete Rahmenbedingungen vorherrschen. Damit zusammenhängend hat der Faktor der Kompatibilität (Wiegmans et al., 2010) ebenfalls einen Einfluss: Lässt sich das UWT-System mit den aktuellen Prozessen des Warentransports verknüpfen? Weitere grundsätzliche Einflussfaktoren sind das Problembewusstsein bzw. die Problemwahrnehmung (Huijts et al., 2012; Schlag, 1997) sowie damit verbunden eine Zuschreibung von Verantwortung und eine Zielvorstellung (Schlag, 1997) bezogen auf das Thema ökologische Nachhaltigkeit. Nicht jeder der Faktoren aus den Akzeptanzmodellen lässt sich jedoch auf dieser frühen Stufe der Machbarkeit anwenden. Besonders die Faktoren ‚Observability‘ und ‚Triability‘ (Wiegmans et al. 2010; Rogers 1983) sind aktuell noch nicht anwendbar, da bisher (mit Ausnahme einiger Pilot- und Teststellungen) noch kein UWT-System weltweit umgesetzt wurde. Daher wurden diese Faktoren im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

Abschließend nehmen die ausgewählten Faktoren gemeinsam auf die Verhaltensabsicht (Venkatesh et al., 2012) und die tatsächliche Nutzung Einfluss. Im Rahmen der vorliegenden Erhebungen wurde entschieden, die Verhaltensabsicht und die potenzielle Nutzung zu erfragen. Insgesamt wurden neun Faktoren, die im Folgenden noch einmal aufgeführt werden, in den Interviews der zweiten Phase mit Gewichtung und Relevanz je nach Zielgruppe in die Leitfäden integriert und abgefragt:

- Relative/wahrgenommene Vorteile
- Wahrgenommene Risiken und Kosten
- Kosten/Nutzen
- Normen (Unternehmenskontext)
- Unterstützende Umstände/Rahmenbedingungen
- Kompatibilität
- Problembewusstsein/-wahrnehmung (Verantwortungsattribution)

- Zielvorstellung
- Verhaltensabsicht

Insgesamt wurden 44 Personen über die LHS, die Hochschulkontakte und durch Internetrecherche angefragt. Von den angefragten Personen konnten 17 für die Erhebungen in Phase 2 gewonnen werden: vier für die Gruppe der Gewerbetreibenden aus den Branchen verarbeitende Industrie, Lebensmitteleinzel- und Großhandel sowie Bau, vier für die Gruppe der Logistiker (KEP, Spedition und ein Unternehmensverband) und neun für die Gruppe der Verwaltung (inkl. fünf Bereichen der Stadtverwaltung Stuttgart: Tiefbauamt, Abteilung Nachhaltige Mobilität, Abteilung Wirtschaftsförderung, Amt für Umweltschutz, Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung sowie einem Referat des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg).

Die ausgewählten Gesprächspartner dienten in den Erhebungen als Repräsentanten für ihre jeweilige Stakeholdergruppe. Auf der einen Seite ist zwar davon auszugehen, dass die einzelnen Stakeholdergruppen interne Heterogenität aufweisen. Auf der anderen Seite sollten aber für einen ersten Überblick über die jeweiligen Ansichten ausreichende Überschneidungen vorhanden sein, was die zukünftige Akzeptanz und Nutzungsabsicht der jeweiligen Stakeholdergruppe betrifft.

Alle Erhebungen fanden im Jahr 2021 zwischen Kalenderwoche 20 und Kalenderwoche 27 statt, wobei die Erhebungen mit der Stadtverwaltung ausschließlich in den Kalenderwochen 26 und 27 lagen. Diese fanden erneut online über Microsoft Teams statt und wurden unter Einverständnis der Teilnehmenden aufgezeichnet. Die Erhebungen wurden transkribiert und paraphrasiert sowie ebenfalls mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018b) ausgewertet.

6.4.3 Limitationen

Aufgrund des gewählten qualitativen Forschungsansatzes wurde nur ein kleiner Ausschnitt der Grundgesamtheit durch die Stichprobe abgedeckt, was jedoch als hinreichend zur Erfassung eines ersten Meinungsbildes der unterschiedlichen Stakeholdergruppen angesehen wurde. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass mit der vorliegenden Stichprobe besonders die Early Adopters (Rogers 1983) angesprochen wurden (siehe Abbildung 6.5), die dem Thema UWT und Innovationen im Allgemeinen bereits offen gegenüberstehen. In der Grundgesamtheit könnte dementsprechend die Akzeptanz vergleichsweise eingeschränkter sein. Da aber davon auszugehen ist, dass genau diese Early Adopters die Ersten sein werden, die eine neue Technologie wie ein UWT-System nutzen, stellen sie zum aktuellen Zeitpunkt die relevanteste Zielgruppe dar.

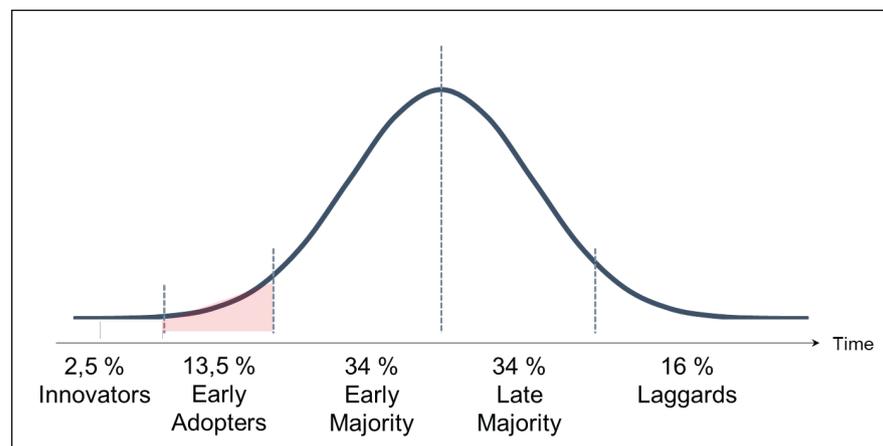


Abbildung 6.5: Die fünf Kundensegmente der Technologieadaption nach Rogers

Darüber hinaus wurde bei den Befragungen zu diesem Zeitpunkt wesentliche Betreiber (z.B.: Amazon) des Onlinehandel noch nicht berücksichtigt. Jedoch wird von der Annahme ausgegangen, dass für dieses Segment die Transportart keine hohe Relevanz hat, solange die Rahmenbedingungen wie der Preis und die Lieferzeit eine Passung zu ihren Prozessen aufweisen. Besonders Großkonzerne mit umfangreichen Sendungsmengen (wie Amazon) könnten jedoch einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Zukunft der Logistik haben und sollten daher zukünftig ebenfalls betrachtet werden.

Die Gruppe der Bürger wurde zwar im Rahmen der Experteninterviews (Phase 1) als relevant identifiziert, jedoch im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie vorerst zurückgestellt, da der Zeitpunkt zur Erhebung der Akzeptanz als zu früh eingestuft wurde. Auf Basis der Erfahrungen aus Projekten wie S21 und der geplanten Seilbahn (siehe Rettet das Rosental 2021) wäre mit einer Bürgerinitiative zu rechnen, die sich gegen das Vorhaben positioniert, noch bevor das Projekt realistisch geplant wird (Soldt 2011). Aus diesem Grund ist es wesentlich, Antworten auf die Fragen zu finden, die antizipiert werden können, und erst dann mit diesen konkreten Punkten auf die Bürger zuzugehen. Gerade bei Themen des Tunnelbaus bewegt sich dieses Projekt in einem kritischen gesellschaftspolitischen Raum. Auf Basis der Erfahrungen aus dem Projekt S21, bei dem mangelnde Demokratie und Bürgerbeteiligung kritisiert wurden, ist deutlich geworden, dass diese Bürgerbeteiligung essenziell für eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts ist.

Aus diesem Grund ist es ratsam, Politik und Bürger zum richtigen Zeitpunkt und dann dauerhaft partizipativ und kooperativ einzubinden (Renner und Küppers 2011; Steininger et al. 2021). Dabei ist es wesentlich, nicht vollendete Tatsachen zu kommunizieren, sondern die Bürgerinnen und Bürger als Teil des Entscheidungsprozesses zu involvieren, damit dieser als gerecht erlebt wird und die Ergebnisse akzeptiert werden (Bretzmann et al. 2017). An dieser Stelle wird zudem auf die „Verwaltungsvorschrift zur Intensivierung der Öffentlichkeitsbeteiligung in Planungs- und Zulassungsverfahren“ (2013) und den „Leitfaden für eine neue Planungskultur“ (2014) verwiesen, die eine direkte Demokratie weiter fördern sollen und dem Prozess der Bürgerbeteiligung eine Struktur geben. Eine weitere Limitation liegt in der politischen und rechtlichen Bewertung der potenziellen Änderung der Rahmenbedingungen für Unternehmen. Diese Bewertung ist jedoch nicht Teil der vorliegenden Studie und sollte im Anschluss an diese Studie vorgenommen werden.

6.5 Ergebnisdarstellung

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der zweistufigen Erhebungen des Arbeitspakets ‚Stakeholdermanagement‘ dargestellt. Anschließend wird ein Fazit zur Machbarkeit aus Sicht der Stakeholdergruppen gezogen und ein Ausblick für die weiteren Schritte gegeben.

6.5.1 Vorauswahl der Stakeholder

Im Rahmen der Vorarbeit zu dieser Studie wurden bereits elf Stakeholdergruppen durch das Projektteam identifiziert. Davon waren vier Gruppen externe (nicht direkt im Projekt involvierte) Stakeholdergruppen und die restlichen sieben Gruppen interne (direkt im Projekt involvierte) Stakeholdergruppen. Sie werden im Folgenden vorgestellt, um einen Überblick über die potenziell relevanten Stakeholdergruppen zu geben.

Das Projektteam sieht als wesentliche externe Stakeholder:

- **Bürgerinnen und Bürger**
Alle Bevölkerungsgruppen der LHS, dazu gehören:
 - Anwohner und Empfänger mit direkter Betroffenheit, aber auch

- Stuttgarterinnen und Stuttgarter die von einem solchen Bauvorhaben Informationen mitbekommen und sich betroffen fühlen
- **Gewerbetreibende**
Empfänger eines Großteiles der Warenflüsse der Stuttgarter Innenstadt; ca. 700 Gewerbetreibende sind im innerstädtischen Raum Stuttgarts tätig (eigene Recherche). Der Handel hat mit 32 % den größten Anteil an der Gruppe der Gewerbetreibenden (darunter fallen Bekleidungsäden, Lebensmittelgeschäfte, Bäcker, Drogerien, Blumengeschäfte und Buchhandlungen).
- **Onlinehandel**
Umfasst sowohl reine online vertreibende Unternehmen wie Zalando und Amazon als auch den verstärkten Onlinehandel lokal ansässiger Unternehmen bzw. des stationären Handels
- **Logistikdienstleister**
Relevant für das UWT-System sind die KEP für die ‚letzte Meile‘ und Spediteure für die Anlieferung an den Hub. Abhängig vom Betreibermodell sind Logistikdienstleister direkt oder indirekt durch das System des UWT betroffen.

Das Projektteam sieht als wesentliche interne Stakeholder:

- **LHS**
Ort der Durchführung und gleichzeitig integriert durch ihre verschiedenen Verwaltungseinheiten. Eine direkte Betroffenheit entsteht durch die geplante Nutzung von Flächen, die die LHS verwaltet (bzw. die sich in öffentlicher Trägerschaft befinden).
- **Land Baden-Württemberg**
Ist betroffen durch finanzielle oder rechtliche Unterstützung des Projekts sowie ggf. durch eine Flächennutzung des Landes. Potenziell wird dieses in das Planfeststellungsverfahren involviert sein.
- **Träger öffentlicher Belange**
Dies sind Verwalter öffentlicher Sachbereiche, insbesondere Behörden. Sie müssen laut Gesetz bei bestimmten (Bau-)Vorhaben angehört und einbezogen werden.
Hierunter fallen:
 - Oberste Bundes- und Landesbehörden, Bundeswehr
 - Allgemeine untere Landesbehörden (Landkreise)
 - Unternehmen wie Energieversorger, Wasserwerke, Entsorgungsfirmen, Betreiber von Telekommunikationsnetzwerken, Post, Bahn
 - Träger von Feuerwehr und Rettungsdienst etc.
- **Universitäten und Hochschulen**
Forschungseinrichtungen, die Machbarkeitsstudien wie diese sowie weitere Forschungen und Erhebungen unterstützen und durchführen
- **Architekten und Ingenieure**
Als Designer und Planer des konkreten Baukonzepts des UWT-Systems
- **Bauunternehmen**

Werden für die bauliche Umsetzung des finalen Tunnels und der Hubs verantwortlich sein

- **Betreiber**

Möglichkeiten verschiedener Betreibermodelle werden betrachtet (wie privat, staatlich oder gemischte Modelle); unabhängig hiervon wird der Betreiber ein relevanter Stakeholder sein.

Mit diesen elf Stakeholdergruppen wurde in die erste Phase der Erhebungen gestartet.

6.5.2 Phase 1: Vorselektion der Stakeholder

In der Selektion durch die Experten wurden alle Stakeholder von mindestens einem der Experten als relevant ausgewählt (vgl. Tabelle 6-1). Eine Ausnahme bildeten die Universitäten und Hochschulen, die von keinem der Experten genannt und aus diesem Grund mit der geringsten Relevanz für die Machbarkeit des UWT-Systems eingeschätzt wurden. Darüber hinaus wurden die Träger öffentlicher Belange ebenfalls nur durch einen Experten ausgewählt. Zudem erfolgte dies ausschließlich für die Phase des Baus, wodurch diese Stakeholder als weniger relevant eingestuft werden können. Zu den verbleibenden neun Stakeholdergruppen wurden durch die Experten zwei Stakeholdergruppen ergänzt, nämlich die der Investoren und die der Entwickler.

Von allen drei Experten ausgewählt und daher bereits als besonders relevant zu betrachten sind die Gewerbetreibenden, die Logistikdienstleister und zusammengeführt die Stakeholdergruppe Stadt und Land/Region bzw. Politik der LHS.

Stakeholder	Anzahl Selektionen
Gewerbetreibende	3
Logistikdienstleister	3
Stadt und Land (und Region)/Politik	3
Bürger	2
Betreiber	2
Bauunternehmer	1
Onlinehandel	1
Architekten und Ingenieure	1
Ergänzt: Investoren, Entwickler	1
Träger öffentlicher Belange	1

Tabelle 6-1: Anzahl der Selektionen durch die Experten pro Stakeholdergruppe

Aus den Aussagen der Experten lassen sich erste Rückschlüsse für jede Gruppe ziehen, die im Folgenden gemäß der Reihenfolge der Stakeholder in Tabelle 6-1 beschrieben werden.

Gewerbetreibende werden aus Sicht der Experten eine der Hauptkundengruppen des UWT-Systems darstellen und daher ist diese Stakeholdergruppe essenziell für den Erfolg des UWT-Systems. Hierbei kann die These aufgestellt werden, dass die Art der Zustellung für die Stakeholdergruppe irrelevant ist, solange sie die Anforderungen an einen pünktlichen, sicheren und günstigen Warentransport erfüllt.

Die Einstellung der **Logistikdienstleister** wird stark davon abhängen, auf welche Art diese in das System eingebunden werden. Sollte das UWT-System in Wettbewerb zu ihnen treten, prognostizieren die Experten ein hohes Konfliktpotenzial. Wenn die Logistikdienstleister jedoch aktiv eingebunden werden und durch entsprechende Anreize ebenfalls vom System profitieren, könnten sie auch einen starken Promotor darstellen.

Die Gruppe **LHS, Region und Land BW** ist besonders aus Sicht von E1 und E2 die beeinflussbarste Stakeholdergruppe, da sie sich stark an den Interessen der anderen Parteien orientieren muss und diese vertritt. Trotzdem ist von einem mittleren bis hohen Einfluss und Konfliktpotenzial auszugehen. Insbesondere wenn diese Stakeholder sich mit einem Veto gegen das Projekt stellen würden, hätte eine Umsetzung des UWT-Systems kaum Chancen.

In der Gruppe der **Bürger** ist nach Meinung der Experten damit zu rechnen, dass sich ein Teil für und ein Teil gegen das UWT-System positionieren wird. Über Proteste und Bürgerinitiativen hat diese Stakeholdergruppe das Potenzial, das Projekt zu verzögern oder gar zu stoppen. Jedoch ist erst in der späten Planungsphase und insbesondere in der Bauphase, wo es zu einer direkten Betroffenheit der Bürger kommt, mit Konflikten zu rechnen.

Hinsichtlich des **Betreibers** herrschte unter den Experten Uneinigkeit, ob dieser einen großen oder einen kleinen Einfluss hat. Es wurde davon ausgegangen, dass nicht mehr mit Problemen zu rechnen ist, sobald ein geeigneter Betreiber gefunden ist. Wahrscheinlicher sind Konflikte zwischen dem Betreiber und den anderen Stakeholdergruppen und nicht mit dem Projekt selbst, auf das durch den Betreiber ein bestärkender Einfluss genommen werden wird.

Es wäre dann zu prüfen, welches Betreibermodell für die Region Stuttgart interessant wäre bzw. welche Unternehmen, Organisationen oder Träger öffentlicher Belange man mit an Bord holen sollte, um das Ganze auf die Beine zu stellen. – E3

Der Einfluss der **Bauunternehmen** wird differieren. Es gibt aus Sicht der Experten wenige große Bauunternehmen, die einen starken Einfluss nehmen können. Jedoch sollte keines ein Konfliktpotenzial darstellen, sondern eher ist zu erwarten, dass die Chance begrüßt wird, ein solches Projekt zu bauen.

Der **Onlinehandel** wird nach Meinung der Experten in Zukunft vermutlich weiter an Bedeutung gewinnen, aber insgesamt wird er noch nicht die Masse der Warentransporte ausmachen. Dadurch stellt er – ähnlich wie die Gewerbetreibenden – einen relevanten Kunden dar, jedoch ohne großen erwarteten Einfluss oder Konfliktpotenzial. Ausnahmen könnten einige wenige große Konzerne mit hohen Sendungsmengen sein, die einen signifikanten Unterschied für die Transportmengen ausmachen.

Architekten und Ingenieure werden für das Projekt benötigt. Sie stellen jedoch weder ein großes Konfliktpotenzial dar, noch haben sie direkt einen wesentlichen Einfluss auf die Machbarkeit.

Investoren und Entwickler sind ähnlich einzuschätzen wie der Betreiber. Die Experten sahen eine potenzielle Herausforderung darin, eine interessierte Person zu finden. Danach sind aber keine Konflikte mehr zu erwarten. Zudem kann ein guter Investor durch seine finanzielle Kraft ein bedeutender Treiber für ein solches Projekt sein.

Es lässt sich zusammenfassen, dass Interessenten solche Parteien sind, die aktuell vor Problemen in der Ist-Situation der Innenstadtlogistik stehen oder durch das UWT-System profitieren können, z. B. durch sicherere, schnellere oder günstigere Transporte. Konflikt-

potenziale entstehen bei solchen Parteien, die das UWT-System als Wettbewerb sehen. Dabei kann es sich auch um die Konkurrenz um Flächen handeln, die ebenfalls für das UWT-System und im Besonderen für die Hubs benötigt werden würden.

Als Zusammenfassung der Platzierungen der selektierten Stakeholdergruppen für das Gesamtprojekt im Stakeholderportfolio aus allen drei Interviews ergibt sich das folgende Bild (siehe Abbildung 6.6).

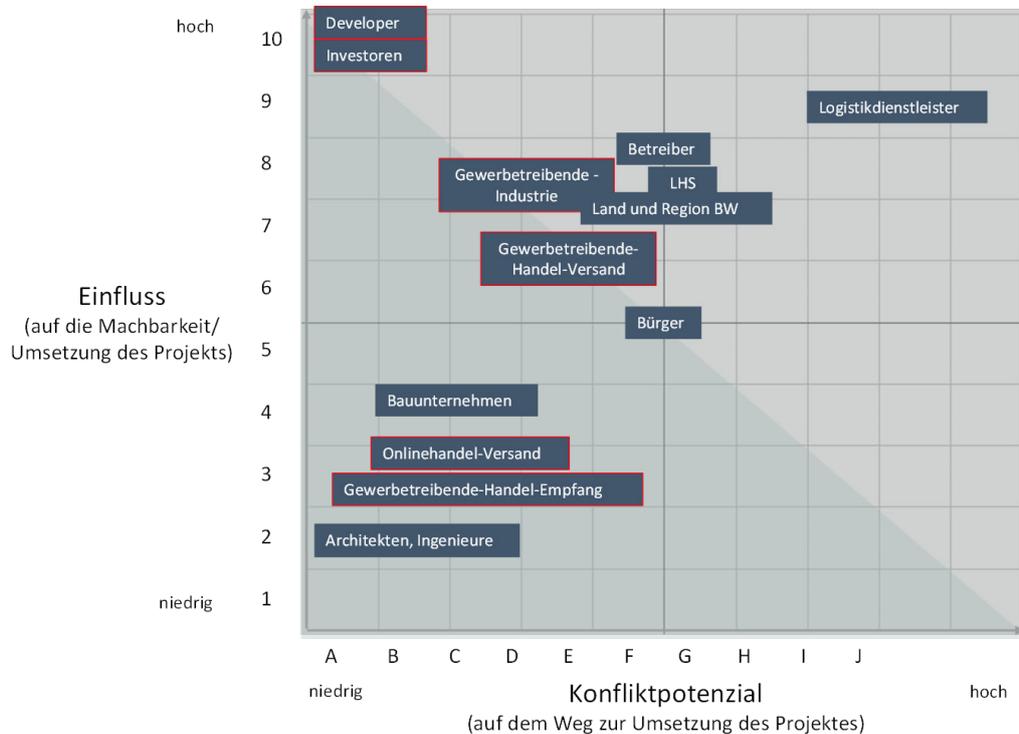


Abbildung 6.6: Zusammengefasstes Stakeholderportfolio aus den Experteninterviews für das Gesamtprojekt

Dabei sind solche Stakeholdergruppen, die neu hinzugekommen sind oder neu aufgeteilt wurden, rot umrandet. Die rechte obere Hälfte, die in der Abbildung hellgrau dargestellt ist, zeigt die zentralen Stakeholdergruppen, die einen hohen Einfluss und/oder ein hohes Konfliktpotenzial auf dem Weg zur Umsetzung des UWT-Systems bergen.

Neben der Darstellung für das Gesamtprojekt ergaben sich vereinzelt Unterschiede in der Positionierung der einzelnen Stakeholdergruppen in den Phasen Planung, Bau und Betrieb. Einen der zentralen Unterschiede stellen die Bürger dar. Sie entfalten besonders in der Planungs- und Bauphase ihr Konfliktpotenzial. Aus diesem Grund muss der Moment der Einbindung sorgfältig gewählt werden, um auf der einen Seite alle Bürger rechtzeitig abzuholen und mitzunehmen und auf der anderen Seite nicht zur vorzeitigen Bildung von Protestbewegungen beizutragen. Für die vertiefende Betrachtung in Phase 2 werden aus diesem Grund die Bürger ausgeklammert und für einen späteren Zeitpunkt zurückgestellt, trotz bzw. gerade wegen ihrer besonderen Relevanz.

Insgesamt werden nach der Planungsphase die meisten Konflikte ausgetragen sein und der Einfluss der einzelnen Parteien wird sinken. Im Betrieb kann es dann potenziell zu Konflikten unter den Stakeholdern kommen, besonders in der Organisation und im Ablauf, aber nicht mit dem System des UWT an sich.

Der Betrieb des Systems stört weder die Umwelt noch die Anwohner. Man sieht es nicht, man riecht es nicht und man spürt es nicht. Die Lieferungen sind witterungsunabhängig und erfolgen zeitgerecht, zu jeder Tages- und Nachtzeit.
- E1

Die Planungsphase ist daher aus Stakeholdersicht die zentrale Phase, um eine gute und sichere Grundlage für das UWT-System zu legen.

Bei der Betrachtung des Stakeholderportfolios für das Gesamtprojekt wird deutlich, dass sich die relevanten Stakeholdergruppen in der rechten oberen Hälfte mit den Stakeholdergruppen decken, die durch alle drei Experten ausgewählt wurden, nämlich Logistikdienstleister, Gewerbetreibende, Stadt, Region und Land bzw. Politik. Mit dieser Vorselektion wird daher in die Phase 2 der Erhebungen übergegangen. Die Gruppen der Betreiber, Entwickler und Investoren sind aktuell noch unbekannt und können daher nicht direkt befragt werden, sondern müssen im weiteren Verlauf des Projektes identifiziert werden. Wenn jedoch keine Interessenten für die Rollen des Investors und des Betreibers gefunden werden können, könnte dies ein ausschlaggebendes Kriterium für das UWT-System darstellen.

Die Auswahl der drei zentralen Gruppen deckt sich ebenfalls mit den als zentral bewerteten Stakeholdergruppen für andere City-Logistikprojekte, die sich in der Literatur finden. Macharis et al. (2014) sprechen von Authoritys/Citizens, Logistics-Service-Provider und Receiver/Shipper. Ballantyne et al. (2013) nennen Shippers, Customers, Freight-Transport-Operators und Authoritys. Russo und Comi (2011, zit. nach Lindholm 2013) nennen „end-consumers, including inhabitants and visitors; 2) logistics and transportation operators, including the shipper, the transportation company and the receiver; and 3) public administration, including both national and local governments“.

Die Heterogenität der Interessen und Bedürfnisse dieser Stakeholdergruppen stellt eine zentrale Herausforderung des Stakeholdermanagements dar (Katsela und Browne 2019). Sie führt dazu, dass verschiedene Stakeholder für die gleiche Aktivität verschiedene Motivationen und Ziele haben. Daher gilt es, diese zu ergründen sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Anforderungen zu identifizieren.

Die drei zentralen Gruppen, mit denen als Ergebnis von Phase 1 zu Phase 2 übergegangen wird und deren Akzeptanz dort weiter ergründet wird, sind folglich:

- Die Logistikdienstleister mit den Unterkategorien
 - KEP
 - Spediteure
 - ggf. interne Logistik der Unternehmen
- Die Gewerbetreibenden mit den Unterkategorien
 - Industrie
 - Handwerk
 - Handel
 - Stationärer Handel
 - Onlinehandel
 - Versender
 - Empfänger
 - Sonstige (z. B. dienstleistende Unternehmen)
- Die Politik und Verwaltung der LHS (und des Landes Baden-Württemberg) mit den verschiedenen Verwaltungseinheiten, Ministerien und Parteien

Diese haben einen hohen Einfluss und ein hohes Konfliktpotenzial und stellen eine potenzielle Hürde und Konfliktpartei für die Machbarkeit dar. Aus diesem Grund ist die Akzeptanz

tanz dieser Stakeholdergruppen essenziell. Die Akzeptanz aller drei Parteien bildet somit einen zentralen Bestandteil für die Machbarkeit des UWT-Systems. In der Phase 2 werden die drei Stakeholder mit Ausnahme der Politik genauer untersucht. Diese Gruppe soll nach Vorgabe des Auftraggebers im Anschluss an diese Studie umfassend informiert und einbezogen werden. Mit den Vertretern der Politik werden die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie in den Gremien der LHS diskutiert und das weitere Vorgehen bzw. die nächsten Planungsschritte abgestimmt.

6.5.3 Phase 2: Akzeptanzergründung der zentralen Gruppen

Im Folgenden werden zuerst die Ergebnisse der Erhebungen der Phase 2 für jede der drei Stakeholdergruppen sowie zentrale Faktoren dargestellt, die in den Erhebungen aufgenommen und für das Zukunftsmodell des UWT-Systems wesentlich sind. Interviewteilnehmende werden im Rahmen der Ergebnisdarstellung mit der Bezeichnung ihrer Branche benannt.

6.5.3.1 Zufriedenheit mit dem Ist-Zustand der City-Logistik

Die Bewertung der Zufriedenheit mit der Ist-Situation der City-Logistik durch die Logistiker und Gewerbetreibenden wurde auf einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (Idealsituation) vorgenommen, was in der folgenden Abbildung 6.7 dargestellt ist. Bedingend für diese Bewertung sind die wahrgenommenen Problembereiche, die in der Ist-Situation vorhanden sind. Sie werden daher im Folgenden für die einzelnen Stakeholdergruppen auf Basis der Äußerungen aus den Erhebungen ausgeführt.

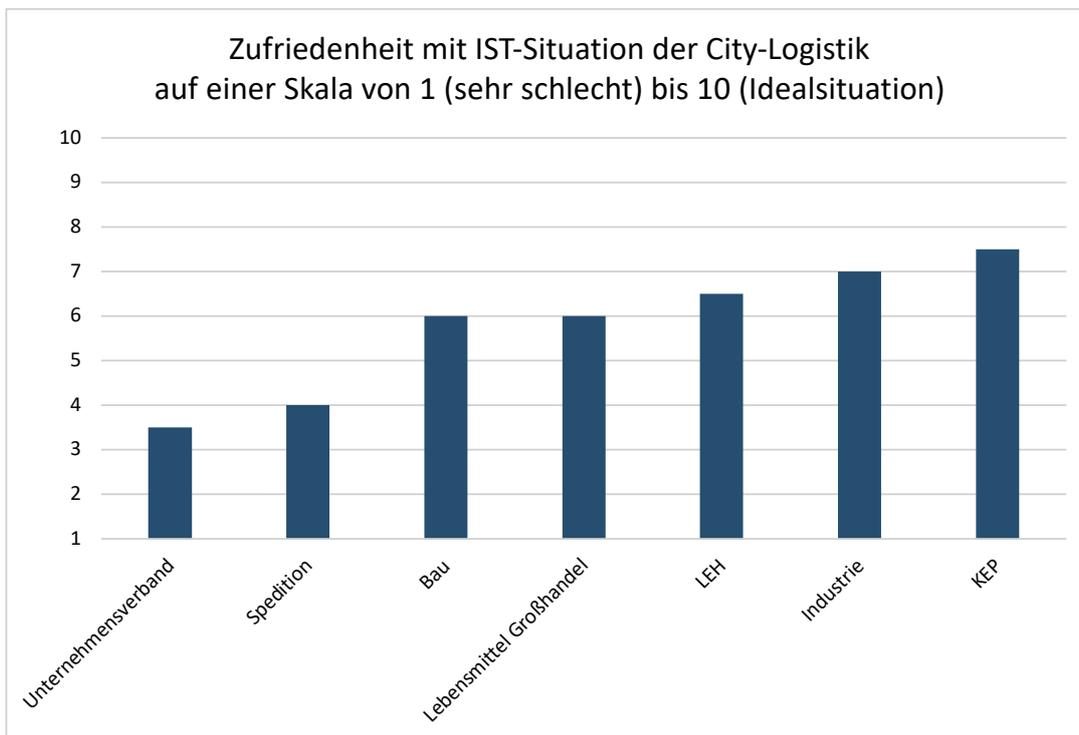


Abbildung 6.7: Bewertung der Zufriedenheit mit der Ist-Situation der City-Logistik

Für die Interviewpartner aus **KEP und Spedition** lagen die größten Probleme in der Verkehrssituation mit den Staus und dem Mangel einer Ringautobahn in Stuttgart sowie in der Platzproblematik, die zu einem Mangel an Anhalte- und Parkmöglichkeiten führt. So werden Just-in-Time-Lieferungen schon auf Strecken ab 25 Kilometern als Herausforderung angesehen. Trotz teilweise existierender Lieferzonen ergeben sich Probleme, da diese häufig fremdbelegt sind. Hinzu kommen die Einfahrtsbeschränkungen in der Innenstadt. Gleichzeitig ist keine konkrete Besserung in Sicht, da zukünftig mit einer Erhöhung

der Anzahl der Fahrzeuge zu rechnen ist. Aus Sicht der KEP-Interviewpartner sind diese Probleme mit der Anpassung der Fahrzeuganzahl und -größe sowie einer Prozessanpassung erfolgreich adressiert und gelöst worden, was dazu führt, dass die Ist-Situation mit dem besten Wert in den Interviews (7 bis 8) bewertet wurde.

Die Spediteure hingegen haben häufig nicht diese Möglichkeiten und sind deutlich stärker von der angespannten Lage der Stuttgarter Verkehrssituation betroffen. Hierdurch sind Lieferungen schwierig zu planen und Fahrzeuge stehen längere Zeit nicht zur Verfügung, weil sie im Stau stehen. Auch die gewünschten Auslastungen der Fahrzeuge sind so nicht mehr möglich, da die Anzahl der Stopps in der Dauer der Zeit nicht mehr erreicht werden kann. Aus diesem Grund wurde die aktuelle Situation auch im Interview mit der Spedition (und durch den Interviewpartner des Unternehmensverbands als Vertreter) am schlechtesten bewertet.

Für die befragten **Gewerbetreibenden** „funktioniert es im Wesentlichen“, jedoch ist auch hier noch „Luft nach oben“. Bei rechtzeitiger und organisierter Planung könnten die meisten Herausforderungen, die die Verkehrslage in Stuttgart mit sich bringt, gemeistert werden. Jedoch seien auch hier die Zeitfenster und die Einhaltung von Lieferzeiten zentrale Probleme, da der Stadtbereich stets ein „unkalkulierbares Risiko“ darstellt. Darüber hinaus würden sich auch hier die Rahmenbedingungen verändern: zum einen in der Infrastruktur, von der die Lieferungen abhängig sind, durch Beschränkungen der Durchfahrt, Tempolimits und Verbotszonen, die sich zu Lasten der Produktivität und der Bestände auswirken und zu längeren Transitzeiten führen; zum anderen in den Anforderungen der Kunden, die immer günstigere Lieferungen fordern. Lebensmittellieferungen sind zum größten Teil bereits ausgeliefert, bevor der Berufsverkehr beginnt. Nur die Nachlieferungen wurden als kritisch bewertet, wenn sie mehrere Stunden im Stau stehen, da hier teilweise die frische der Produkte nicht mehr garantiert werden kann.

Auch die Stakeholdergruppe **der Verwaltung** sah Probleme und Herausforderungen in der aktuellen Situation der City-Logistik, wobei sich diese Punkte je nach Referat, Amt und Abteilung – und damit je nach individueller Betroffenheit – geringfügig unterscheiden. Als zentrale Probleme wurden von dieser Stakeholdergruppe ebenfalls das starke Verkehrsaufkommen und die damit verbundenen Staus in Stuttgart gesehen. Hinzu kommen jedoch das Nichteinhalten von Sperr- und Ladezonen sowie Parken in zweiter Reihe. Gleichzeitig herrscht ebenfalls eine Konkurrenz zwischen den neuen Ideen und Konzepten, da konträre Interessen vereint werden müssen, vor allem aufgrund der fehlenden Trennung und der dadurch entstehenden Nutzungskonflikte zwischen mobilem Individualverkehr, Fuß-, Rad- und Lieferverkehr in der Innenstadt. Auf der anderen Seite steht der Logistik und Mobilität das Konzept der lebenswerten Innenstadt gegenüber, für die ebenfalls der öffentliche Raum zurückgewonnen werden soll, was die Flächenkonkurrenz verschärft. Besonders durch das Amt für Umweltschutz, aber auch durch die anderen Ämter wurden die Probleme der Umwelt-, Luft-, Klima- und Lärmbelastung sowie des Energieverbrauchs durch die Logistik gesehen.

Die größten Herausforderungen würden darin bestehen, mit belastbaren Zahlen die in Zukunft benötigte Infrastruktur zu planen und vorauszusagen, da solche Projekte einen langen Vorlauf erfordern. Außerdem werde eine Lösung für das städtische Gesamtverkehrssystem benötigt und nicht nur für den Teilbereich der Innenstadtlogistik, weshalb auf eine Passung der verschiedenen Lösungen geachtet werden müsse.

Insgesamt wurde von allen Befragten auf Basis der Ist-Situation mit dem Blick in die Zukunft die Notwendigkeit eines neuen Mobilitätskonzepts für die LHS gesehen, da andernfalls das erwartete Wachstum des Verkehrsaufkommens mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr aufgefangen werden kann. Im nächsten Abschnitt wird daher ergründet, ob das UWT-System aus Sicht der Stakeholder ein Teil dieses neuen Mobilitätskonzepts sein

könnte und sollte.

6.5.3.2 Akzeptanzbegründung UWT-System

Orientiert an der Struktur der Leitfäden und der Codierung der Textstellen im Rahmen der Auswertung werden die zentralen Erkenntnisse in der folgenden Reihenfolge pro Stakeholdergruppe dargestellt:

- Erwartete Veränderungen in der Zukunft (nur Logistik und Gewerbetreibende)
- Vorteile des UWT-Systems
- Nachteile und Risiken des UWT-Systems
- Rahmenbedingungen
- Voraussetzungen des UWT-Systems und unüberwindbare Vorbehalte
- Externe Einflussfaktoren (positiv und negativ)
- Hypothetische Kosten (nur Logistik und Gewerbetreibende)
- Potenzielle Betreibermodelle
- Fazit zur voraussichtlichen/beabsichtigten Nutzung des UWT-Systems und Potenzialeinschätzung
- Alternativen zum UWT

6.5.3.3 Stakeholdergruppe Logistikdienstleister

Die Interviewpartner aus Spedition, KEP und dem Unternehmensverband sahen folgende Vorteile: Im Interview mit den KEP wurden vor allem die Entlastung des Verkehrs, die Emissionsfreiheit für die Innenstädte, die Zentralisierung des Warenflusses sowie die gute Planbarkeit des Materialflusses durch das Wegfallen der Verkehrsschwankungen erwähnt. Im Interview mit der Spedition wurden darüber hinaus die Vorteile der Zeitersparnis sowie das Einsparungspotenzial im Handling angesprochen. Durch die Anlieferung an den Hub entfällt bspw. die Notwendigkeit der Parkplatzsuche, der Hubwagen, der Mitnahmestapler, der Rampen etc., die für die Lieferung in die Stadt benötigt werden.

Durch den Interviewpartner des Unternehmensverbands wurde insbesondere der Vorteil der Verkehrsreduktion an der Oberfläche betont. Das UWT-System würde ein bedeutendes Instrument darstellen und es sei sinnvoll, das System der Feinverteilung bereits außerhalb der Innenstadt zu starten und zu organisieren. Da die Feindistribution einer der zentralen Kostentreiber bei den KEP und der Spedition ist, könnte das System einen potenziellen ökonomischen Vorteil für diese darstellen. Diesen Vorteilen wurden jedoch verschiedene Nachteile und Risiken des UWT-Systems gegenübergestellt. Im Interview mit den KEP wurde geäußert, dass sich die Unternehmen mit dem UWT-System in eine starke Abhängigkeit begeben. Sollte es zu Ausfällen kommen, gäbe es keine Alternativen oder Ausweichmöglichkeiten. Ein weiterer Nachteil könnte in der Slot-Vergabe am Urban-Hub gesehen werden. Folgende Fragen wurden hier gestellt:

- Was passiert bei Nichteinhalten der Slots?
- Wer hat in diesem Fall Vorrang?

Darüber hinaus ist die Wirtschaftlichkeit des Systems schwierig einzuschätzen, besonders mit der aktuell noch unklaren Auslastung des Systems. Wenn das UWT-System deutlich teurer ist als das bestehende System, würde niemand freiwillig auf das neue System umsteigen. Auch im Interview mit der Spedition wurde das Thema Wirtschaftlichkeit als möglicher Nachteil eingestuft. Im Gespräch mit dem Vertreter des Unternehmensverbands wurde ebenfalls das Risiko der Störanfälligkeit der technischen Lösung genannt.

Darüber hinaus wurde die Beschränkung der röhrengängigen Güter als zentraler Nachteil angesehen. Derzeit existieren Versorgungsströme und Warenarten, die nicht durch den Tunnel transportiert werden können und hierdurch dem UWT-System ein hohes Beförderungspotenzial entziehen würden. Sich bildende Bürgerinitiativen gegen das Vorhaben während der Bauphase sowie eine mögliche Beeinflussung der Mineralwasserschichten wurden als weitere Nachteile genannt.

Für die KEP-Interviewpartner war eine Kompatibilität des Systems mit den Be- und Entladeprozessen an den Knotenpunkten als Rahmenbedingung essenziell. Weitere Rahmenbedingungen wären die Einhaltung und Garantie von Zeiten und Slots sowie die Möglichkeit zu priorisieren.

Darüber hinaus zeigte sich im Interview mit den KEP, dass eine Abgabe der ‚letzten Meile‘ aktuell aus Sicht des Marketings unter keinen Umständen denkbar wäre. Aus diesem Grund würden die KEP jedoch eine größere Immobilie in der Stadt benötigen und nicht nur einen kleinen City-Hub. Denn durch ein UWT-System müssten Zustellfahrzeuge über Nacht in der Stadt abgestellt werden können. Nur wenn das UWT-System auch mit einer solchen internen Lösung verbunden ist, käme es infrage. Auf der anderen Seite wird aber ebenso die Notwendigkeit gesehen, mit den Wettbewerbern zusammenzuarbeiten. Hintergrund sei die Bewältigung der bis zu 50%igen Steigerungsraten in den Paketmengen.

Für den Interviewpartner aus der Spedition stellte die Abgabe der ‚letzten Meile‘ keine Schwierigkeit dar, da dies bereits durch die Nutzung von Dienstleistern in 70 % der Fälle geschieht. Auch die Sichtbarkeit beim Endkunden sei für die meisten Kunden kein relevantes Thema. Laufzeiten waren ebenfalls im Interview mit der Spedition ein relevantes Thema. Je nach Lieferung wird hier zwischen Termingeschäften und Lieferungen in verschiedenen Fristen – von 24 Stunden bis drei Tage – unterschieden. Außerdem müsse es eine Lösung für Maße, die über eine Europoolpalette hinausgehen, geben.

Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners könnten die folgenden Aspekte die Attraktivität erhöhen und zu einer Nutzung führen: der Preis, die Bequemlichkeit und die Zuverlässigkeit. Zusätzliche Anreize könnten durch Mehrwertdienstleistungen am Urban-Hub geschaffen werden, z. B. durch Lagerung, Sortierung und Bündelung von Lieferungen, sowie auf der Bewusstseinssebene durch Kommunikation, Öffentlichkeitskampagnen und bspw. die Vergabe von Labeln und Zertifikaten für die umweltfreundliche Belieferung. Vom Interviewpartner aus der Spedition hingegen wurden die Toleranzgrenze beim Preis, die Lage des Urban-Hubs sowie die generelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung genannt. Diese Punkte decken sich mit denen, die im Rahmen des Interviews mit dem Vertreter des Unternehmensverbands genannt wurden. Hier wurde ebenfalls der Standort des Urban-Hubs als Vorbehalt angeführt, da nicht „einmal um Stuttgart herumgefahren“ wird, nur um das UWT-System nutzen zu können. Vor allem aber wird der Preis das zentrale Thema darstellen: „90 % der Entscheidungen werden hierüber fallen“. Vollausgeladete 20-Tonner sollten für das System nicht künstlich aufgebrochen werden und auch Transporte, die nur zu 50 % tunnelgängige Güter enthalten, würden weiterhin voll ausgelastet fahren und nicht einen Teil abgeben. Externe Rahmenbedingungen, die aus Sicht der Spedition im Rahmen des Interviews gesehen wurden und die zu einer Nutzung des UWT-Systems führen könnten, sind potenzielle Dieselvebote, da hierfür aktuell keine Flotte zur Verfügung steht und in diesem Fall ohnehin ein Dienstleister beauftragt werden müsste.

Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners könnte es zu einer freiwilligen Nutzung kommen, wenn das System zuverlässiger, schneller und günstiger wäre. Auch dann würde es aber eine ‚träge Masse‘ geben, die sich ohne Zwang nicht bewegen würde. Aus diesem Grund kann es notwendig werden, einen Zwang zur Nutzung des Systems einzuführen, insbesondere um die gewünschte Auslastung und die positiven Effekte für die Reduktion des oberirdischen Verkehrs auf den Zulaufstrecken in die Stadt zu realisieren.

Die hypothetischen Kosten, die am Ende für die Nutzung des UWT-Systems bezahlt werden würden, beschrieben die KEP im Interview als eine politische Entscheidung. Grundsätzlich herrscht Bereitschaft, in Lösungen zur Zukunftssicherung zu investieren. Jedoch müssten diese in die Kalkulation passen und selbstverständlich werde zunehmende Effizienz angestrebt. Aus Sicht des Speditionsinterviewpartners müssten die Mengen stimmen, Einsparungspotenziale tatsächlich gegeben sein und der Urban-Hub müsse strategisch liegen. Erst dann wären Abgaben von der erhobenen Frachtrate in Höhe von 10 bis 15 % möglich.

Die Frage nach dem Betreiber ist aus Sicht der KEP-Interviewpartner ebenfalls eine strategische. Sie selbst, die Stadt oder ein dritter Betreiber wäre vorstellbar. Zudem hätten sie die Hubs ebenfalls lieber in eigener Hand, ähnlich einem Bahnhof mit eigenem Gleis, da auf diese Weise Themen der Haftung und Qualitätssicherung einfacher zu handhaben sind.

Für den Speditionsinterviewpartner hingegen würde der Betreiber keinen Unterschied bedeuten. Aus seiner Perspektive könnte es auch eine andere Spedition übernehmen, da aktuell bereits zusammengearbeitet würde und die Unternehmen in keiner direkten Konkurrenz zueinander stünden. Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners sollten tendenziell die Unternehmen das UWT-System betreiben und nicht die Stadt.

Insgesamt gaben die KEP im Interview an, dass sie sich die Nutzung des UWT-Systems für Transporte bis in die Innenstadt – ohne die ‚letzte Meile‘ – gut vorstellen könnten. Der Spediteur sagte im Interview, dass es für das eigene Unternehmen aufgrund diverser Speziallösungen und zu bewältigender sperriger Güter nicht profitabel sei; für andere Unternehmen, die vorwiegend Waren mit Standardmaßen transportieren, könnte es sich hingegen lohnen. Die Nutzung wäre jedoch auch für diese letztlich vom Preis abhängig. Der Unternehmensverband-Interviewpartner gab im Interview an, dass eine generelle Aufgeschlossenheit im Logistiksektor dem UWT-System gegenüber herrschen würde. Jedoch sehe er ebenfalls das Problem mit der angegebenen Sichtbarkeit beim Endkunden. Je nach Ausgestaltung des logistischen Gesamtsystems ist das Sichtbarwerden des originären Logistikdienstleisters aber nicht ausgeschlossen.

Insgesamt bescheinigten die KEP-Interviewpartner dem UWT ein hohes Potenzial. Dieser könne eine zukunftsfähige Lösung darstellen. Insgesamt eigne er sich für ein hohes Volumen in einem beschränkten Umfeld wie den Innenstädten. Generell sollte die LHS bereit sein, in diesem Bereich Investitionen zu tätigen, um auch *„für das Thema Image etwas in diese Richtung zu tun“*.

Auch aus Sicht der Spedition wurde im Interview ein hohes Potenzial bescheinigt, da es *„schon attraktiv [wäre], eine Ladestation zu haben und nicht kreuz und quer durch Stuttgart fahren zu müssen“*. Stuttgart sei hinsichtlich der geografischen Lage ausgereizt, daher wäre das Potenzial für die Stadt definitiv vorhanden, wenn mehr Platz geschaffen werden könnte. Da das UWT-System erst in den nächsten zehn Jahren eine realistische Option wird, wurden zudem die für diesen Zeitraum erwarteten Veränderungen im Rahmen der Interviews abgefragt.

Die KEP-Interviewpartner rechneten mit einer Zunahme der Lieferungen und einer höheren Liefergeschwindigkeit. Zusätzlich sei mit höheren Kosten durch Umweltauflagen und einer Erhöhung der Serviceanforderungen der Kunden zu rechnen. Auf der anderen Seite könnte es zu einer Konsolidierung der Empfangsstellen sowie einer Bündelung der Lieferungen kommen, sodass bspw. nur noch an einem Tag pro Woche eine Zustellung erfolgt. Darüber hinaus könnten Großkonzerne im Onlinehandelbereich wie Amazon einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Logistik haben. Aus Sicht des Interviewpartners der Spedition wird vor allem das Thema der Digitalisierung eine zentrale Rolle spielen, im Rahmen von selbstfahrenden Fahrzeugen, neuem Transportmanagement,

Datensammlung an den Lkw, automatischer Disposition der Waren und weiteren technischen Lösungen. Zudem würden die Kunden mehr und mehr die Datenhoheit und die Kontrolle zurückfordern und den Logistiker nicht mehr als Experten sehen. Daher würden die Themen der Datenanbindung und -erfassung ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners werden vor allem die Themen der Bequemlichkeit und der lebenswerten Innenstadt die zentralen Treiber in den Entwicklungen sein.

Alternativen

Als Alternativen zum UWT wurden die alternativen Antriebe, eine Mischung der Verkehrsmittel bei den Logistikern und das autonome Fahren angesehen. Darüber hinaus formulierten beide Gruppen den Vorschlag, bestehende Netze und Synergien zu nutzen, bspw. das Straßenbahnnetz und die Anbindung an die Schiene.

Vom Interviewpartner des Unternehmensverbands wurde die Lösung der engeren Verknüpfung des Güter- und des Personenverkehrs angesprochen, um die Logistik mehr in den privaten Raum zu verlagern. Wenn jedoch effektiv Flächen für Lebensraum und Radverkehr zurückgewonnen werden sollen, scheint es alternativlos, ein solches Thema zu denken. Die Flächen seien das zentrale Thema in der Stadt und dies könnten auch große Investitionen nicht ändern. Die einzigen Optionen seien daher, Bestehendes abzureißen oder in die Luft oder unter die Erdoberfläche auszuweichen.

6.5.3.4 Stakeholdergruppe Gewerbetreibende

Die befragten Gewerbetreibenden (Industrie, Handel, Handwerk und Sonstige) beschrieben im Rahmen der Erhebungen ähnliche Vorteile des UWT-Systems, wie auch die Logistiker diese sahen: die Reduktion des oberflächlichen Verkehrs, weniger Staus, das Sparen von Kapazitäten, den Nachhaltigkeitsvorteil durch eine Luftverbesserung und eine bessere CO₂-Bilanz, einen potenziellen Geschwindigkeitsvorteil, einen zuverlässigeren Warentransport durch eine bessere Kalkulierbarkeit und weniger Störgrößen. Besonders für den Bau und die Baustellen könnte die Bündelung der kleinen Lieferungen über den Tag auf eine einzelne deutliche Arbeitserleichterung bei der Paketannahme darstellen.

Jedoch wurden auch Nachteile und Risiken benannt. Zum einen bietet das System ein Konzept mit einem einzigen Ladungsträger für eine heterogene Nutzerstruktur, was dazu führt, dass zahlreiche Güter nicht in das UWT-System passen. Beispielsweise kann der Tunnel keine verschiedenen Temperaturzonen bieten, was aktuell im Lkw aber funktionieren würde. Zum anderen führen die beschränkten Maße der Europoolpalette dazu, dass einige Transporte und Güter zu groß für das UWT-System sind. Zudem könnte die Einführung des UWT-Systems dazu führen, dass die Situation für die Transporte, die weiterhin fahren müssen, etwa zur Anlieferung eines Krans, umso beschwerlicher wird, bspw. durch die Verengung der Straßen, die potenziellen weiteren Fahrverbote und die potenzielle Vielzahl an Fahrradboten, die dann unterwegs sein würden. Da außerdem die Art der Verteilung vom City-Hub aus aktuell noch unklar ist, wurde die Frage gestellt, ob durch das UWT-System nur die Zufahrtsstraßen entlastet würden, im Zentrum jedoch weiterhin vergleichbarer Verkehr herrschen werde, da das UWT-System nur wenige Punkte direkt anfahren kann. Zudem würde durch das UWT-System die Sichtbarkeit beim Endkunden wegfallen.

Die zusätzlichen Umschläge und Schnittstellen bilden ein weiteres Risiko, da jede Übergabe das Risiko einer Beschädigung erhöht. Zudem kann es durch den Umweg zum Urban-Hub zu Mehrtransporten und einer längeren Gesamtlaufzeit kommen. Es sei *„völliger Quatsch, wenn ich um die Stadt rumfahren muss, wenn ich eigentlich auf der anderen Seite bin und auch da in die Nähe muss. Daher bringt es gegebenenfalls nur was für den Innenstadtverkehr“*. Weitere Risiken könnten durch die Kosten, das Geschäftsmodell, das Betreibermodell und das Engpassmanagement bzw. das Notfallkonzept entstehen, wenn diese nicht gut gelöst seien. Sowohl für den LEH als auch für den Großhandel war darüber

hinaus die Kühlkette ein essenzielles Thema, das besonders an den Übergabepunkten und auf der ‚letzten Meile‘ kritisch werden könnte. Zusätzlich befindet sich die Ware des Lebensmittelgroßhandels auf Rollcontainern, was ebenfalls bei weiteren Branchen wie der Bäckerei und in der Hotellerie der Fall ist. Daher müssten diese ebenfalls in das UWT-System passen, damit es genutzt werden kann.

Rahmenbedingungen

Eine hohe Lieferzuverlässigkeit bei insbesondere zeitkritischen Lieferungen sowie ggf. günstigere Transporte, eine Verringerung der Emissionen sowie ein hoher Servicegrad würden die Attraktivität begünstigen. Verbote aller Art, die andere Lösungen unterbinden oder erschweren, würden als externe Rahmenbedingungen die Nutzung des UWT-Systems fördern. Finanzielle Anreize könnten einen positiven Anreiz darstellen, wenn das UWT-System über Subventionen gefördert wird, oder wenn sich eine CO₂-Bepreisung des Transportes und damit eine Verteuerung der Alternativen gegenüber dem UWT-System bemerkbar macht. Weitere Rahmenbedingungen sind das Angebot einer guten Alternative im Kontext einer bereits schlechten Verkehrssituation und soziale Aspekte, wie die Entwicklung des Lebensraums bzw. die Verbesserung der Lebensqualität.

Bezüglich der hypothetischen Kosten signalisierte der Interviewpartner aus der Baubranche seine Bereitschaft, bei einer sinnvollen Lösung, die tatsächlich einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leistet, einen Mehrpreis von 10 bis 25 % zu zahlen. Für den Lebensmittelgroßhandel schätzte der Interviewpartner die Bereitschaft auf einen Preis von ca. 15 € pro Rollcontainer. Aus Sicht des Interviewpartners aus dem LEH wäre es ein Argumentationsthema, da die Kunden diese Mehrkosten tragen und sie daher akzeptieren müssten.

Zur Art des Betreibermodells äußerte der Interviewpartner der Baubranche, dass er persönlich es bevorzugen würde, komplexe Logistikprojekte in privatwirtschaftliche Hände zu geben. Jedoch wäre es als Kunde attraktiver, wenn das UWT-System durch die Stadt betrieben würde, da in diesem Fall nicht nur der wirtschaftliche, sondern auch der praktische Nutzen im Fokus stehen würde. Aus Perspektive des Interviewpartners des Lebensmittelgroßhandels sollte weder nur die Stadt noch ausschließlich ein privater Externer ein UWT-System betreiben; stattdessen wäre eine Kombination zu bevorzugen, sodass die Stadt und das Mobilitätskonzept im Fokus bleiben und die Stadt weiterhin Einfluss hat. Die Gesprächspartner aus Industrie und LEH gaben in der Fokusgruppe an, dass es sich bei einem Zwang oder einer Monopolstruktur um ein staatliches System handeln sollte. Wenn die Stadt also den aktuellen Standard verbietet, sollte sie dafür verantwortlich sein, eine Alternative anzubieten. Gleichzeitig könnte eine Wettbewerbsstruktur auf der ‚letzten Meile‘ attraktiv, allerdings auch schwieriger zu organisieren sein.

Die Nutzung des Systems sehen alle vier befragten Branchen als eher schwierig an. Für die Baubranche kommt das UWT-System nur für einen geringen Anteil an Gütern infrage, die tatsächlich hinsichtlich der Maße passen würden. Es bestünde jedoch das Interesse, an diesem potenziellen Tunnelbauprojekt beteiligt zu sein. Bei der befragten Industrie wird im beruflichen Kontext kein möglicher Nutzen gesehen, da die geplante Lage der Hubs nicht passend ist und zusätzlich aktuell alle Transporte fremdvergeben sind. Die Industrie könnte daher nur durch eine Verpflichtung zu einer Nutzung gezwungen werden, sie selbst hat hierauf aber aktuell keinen Einfluss.

Beim Lebensmittelgroßhandel müssten es ebenfalls die Kunden entscheiden; jedoch sind hier aktuell noch zu viele Fragen offen und daher wäre eine Aussage eher schwierig. Am Ende würden vermutlich die Kosten entscheiden. Auch für den LEH ist das UWT-System gegebenenfalls nicht die richtige Logistikform, da es für verderbliche Ware nicht gut geeignet ist. Zudem bestehe beim LEH aktuell ein gut durchdachter Prozess, der stetig optimiert wird. Auch eine Trennung der Waren käme daher derzeit nicht infrage, da die Güter gesammelt in einem Lkw transportiert würden und damit der Transport sehr effizient sei.

Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners werden ebenfalls Potenziale für die Nutzung im Großhandel bei der passenden Ware gesehen und im Handwerk sowie im Sanitärbereich für die kleinen Teile. Im Gastronomiebereich wird das Potenzial hingegen eher als gering eingeschätzt.

Da sich die Nutzung für alle Branchen eher schwierig gestaltet, wurde auch das Potenzial des UWT-Systems für die Unternehmen als gering bewertet, da das Aufkommen als eher gering und der Aufwand als hoch eingeschätzt wurde. Daher wurde die Grundidee als interessant angesehen, aber aktuell müssten noch zu viele offene Fragen bedacht und bewertet werden. Das generelle Potenzial des UWT-Systems für die LHS wurde jedoch zumindest von den Interviewpartnern der Branchen Bau und Lebensmittelgroßhandel als deutlich höher eingeschätzt, weil Vorteile in der potenziellen Verkehrsreduktion gesehen werden und Stuttgart ein neues Mobilitätskonzept „in welcher Form auch immer“ benötigt, da es in der aktuellen Form auf Dauer nicht weiter funktionieren könne.

Als Veränderung in den nächsten zehn Jahren wurde von den befragten Gewerbetreibenden ein neues Mobilitätskonzept zur Verringerung des Verkehrs für die LHS erwartet. Außerdem wurde der Umstieg auf alternative Antriebe und auf neuartige technische Transportkonzepte aus den Bereichen autonom und digital genannt. Darüber hinaus wurde erwartet, dass das Paketthema bzw. der Onlineversand wachsen wird – auch für Lebensmittel – und dass damit einhergehend der innenstädtische Handel reduziert wird. Weitere Punkte liegen in der Reduktion der Luftverschmutzung und im Vorantreiben der Nachhaltigkeit, wodurch die Themen Regionalität und CO₂-Neutralität an Bedeutung gewinnen werden. Dabei stelle die Infrastruktur nur einen Baustein in diesen Zukunftskonzepten dar und müsse ein Teil der entwickelten Gesamtlösung für die Stadt werden.

Alternativen

Der breitflächige Einsatz von neuen Antriebstechnologien in der Innenstadt könnte eine Alternative darstellen. Weitere Möglichkeiten wären eine eigene Spur für die alternativ angetriebenen Fahrzeuge, wie aktuell die Busspur, sowie eine intelligente Steuerung des Verkehrs. Außerdem könnten größer gedachte Auslieferungsk Kooperationen die Auslastung verbessern. Eine Alternative, die von allen Gewerbetreibenden genannt wurde, ist die Umsetzung einer oberirdischen Hubstruktur. Durch diese könnten zahlreiche Beschränkungen des UWT-Systems umgangen werden. Es ließen sich Hubs in allen vier Himmelsrichtungen planen, die Kühlung könnte sichergestellt werden und die Maße wären ebenfalls nicht beschränkt. Zudem wäre diese Lösung zeitlich schneller umsetzbar.

6.5.3.5 Stakeholdergruppe Verwaltung der Landeshauptstadt Stuttgart und des Landes Baden-Württemberg

Für einen besseren Überblick zur Einschätzung der Vor- und Nachteile je Amt, Abteilung und Referat werden im Folgenden jeweils die Inhalte zusammenfassend pro Interview dargestellt und nicht getrennt nacheinander.

Aus Sicht des *Tiefbauamts* würde das UWT-System einen Vorteil darstellen, wenn es zu einer Reduktion des Innenstadtverkehrs führt. Als Risiken wurde jedoch auf die Themen der Geologie und der Gegebenheiten im Boden hingewiesen, mit Randbedingungen wie Kellern und Tiefgaragen privater Grundstücke, verschiedenen öffentlichen Bauwerken, Straßentunneln, Stadtbahnen, Kanälen, Mineralwasser, Grundwasser etc. Des Weiteren werde bei einer geringen Bautiefe des Tunnels die Zustimmung der Eigentümer benötigt. Auch die Fluchtmöglichkeiten während des Baus und das Rettungskonzept würden eine Herausforderung darstellen. Insgesamt werde dies das zentrale Thema sein, mit dem das Projekt steht und fällt, weshalb dringend dazu geraten wurde, einen lokalen Experten für ein Bodengutachten zu konsultieren. Als zweiter relevanter Hinweis wurde eine rea-

listische Einschätzung der zu transportierenden Warenmengen genannt. Hierbei gelte es kritisch zu betrachten, welche Waren über das UWT-System transportiert werden können und ob diese Kapazität tatsächlich einen Vorteil erbringt.

Im Rahmen des Interviews mit der *Abteilung Mobilität* wurden die Vorteile der Fahrtenreduktion und damit der Emissionsreduktion als positiv für die Stadt angesehen. Zudem „*wäre es mal etwas richtig Innovatives*“. Darüber hinaus wurde für dieselbe Strecke vom SVG-Autohof bereits eine Alternative mit Lastenrädern für die 6 bis 7 km geprüft und als zu weit befunden, weshalb das UWT-System eine aussichtsreiche Lösung wäre. Als kritisch wurde erachtet, dass die Vorteile und der wirtschaftliche Profit gegeben sein müssen. Nur dann könne mit dem Nutzen für das Projekt begeistert werden. Als besondere Risiken wurden zum einen die Anwohner und die Bürgerbeteiligung angesehen, da die Akzeptanz größerer Infrastrukturprojekte in Stuttgart ein kritischer Faktor sein werde und früh die politische Komponente mitgedacht sowie durch Kommunikations- und Überzeugungsarbeit einbezogen werden müsse. Ein weiteres Risiko liege in den Ein- und Ausgangspunkten, den Hubs, sowie im Lärm und Verkehr, die an diesen Stellen zentriert erzeugt werden.

Durch die *städtische Wirtschaftsförderung* wurde der Vorteil angeführt, dass durch das UWT-System „*viele Waren auf einem schnellen Weg an bestimmte Orte [gebracht werden können], die nicht zusätzlich den oberirdischen Verkehr belasten*“. Jedoch seien unterirdische Grabungen in Stuttgart stets ein Risiko, was z. B. durch die Historie mit S21, die Ängste der Bürgerschaft hinsichtlich der Beeinträchtigung ihrer Häuser und potenzieller Lärmbelastigung sowie durch die herausfordernden Böden mit Mineralwasser, Gipskeuper usw. deutlich wird.

Die befragte Person des *Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg* sah im UWT-System einen innovativen Ansatz, der die Möglichkeit zur Reduktion des Oberflächenverkehrs bietet. Vermutete Vorteile liegen in einer schnelleren Lieferung, weniger Lärm- und Schadstoffemissionen und einer umweltfreundlicheren Feinverteilung. Jedoch gebe es potenzielle Risiken, wie die Nutzerbereitschaft und Akzeptanz. Durch einen Nutzungszwang könnte es zu rechtlichen Problemen kommen. Daher müsste die Attraktivität des Systems hoch genug sein, um die Nutzer zu überzeugen. Außerdem sollte eine Lösung gefunden werden, in der bestehende Logistikunternehmen nicht in die Insolvenz getrieben, sondern beteiligt werden oder einen Nutzen aus dem UWT-System ziehen.

Das *Amt für Umweltschutz* sah als die Vorteile die Reduktion des Verkehrsaufkommens, die Ausrichtung auf die Zukunft und die zukünftige Entwicklung, die Emissionsreduktion (Lärm, Reifenabrieb, Sichteinschränkung) und die Zentralisierung der Warenströme. Jedoch überwog hier deutlich die Nennung der Nachteile und Risiken. Neben den Kosten und den möglichen Schwierigkeiten beim Finden eines geeigneten Betreibers wurde die Bilanzierung im Verhältnis zum Energieaufwand angeführt. Außerdem könnte die Organisation der Feinverteilung am Hub zu Nachbarschaftskonflikten führen. Des Weiteren sieht das Amt für Umweltschutz folgende weitere Herausforderungen:

- Kreuzungspunkte im Boden sind insbesondere im Innenstadtbereich mit unterschiedlichen Nutzungen belegt,
- im Bereich der Mineralquellen werden durch die Einschränkungen der Wasserhaltung Kompensationen notwendig sein,
- die potenziellen Erschütterungen im Untergrund führen zu Schäden bei sensible darüber befindlichen Gebäuden,
- die Kreuzung des Düker Nesenbach bedingt komplexe bauliche Maßnahmen und
- gesellschaftspolitische Herausforderungen, da Tunnelprojekte in Stuttgart vorbelastet sind.

Im Interview mit der *Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung* wurden ebenfalls die vor allem durch die Geologie bedingten Risiken der Trasse im Untergrund gesehen. Zudem sei mit einem großen Rechts- und Planfeststellungsverfahren zu rechnen. Darüber hinaus wurde das Risiko der nicht unerheblichen Kosten für den Tunnel gesehen und der City-Hubs, die eine Mindestgröße erfordern und sich städtebaulich einfügen lassen müssen. Des Weiteren werde eine kritische Masse in der Nutzung benötigt, weil sich nur dann die gewünschte Wirkung erreichen lasse. Da das System vermutlich teurer sein wird als die Straße, würde es sich potenziell um eine Zwangsmaßnahme handeln, bei der die Frage gestellt werden muss, wie und ob diese juristisch umsetzbar ist.

Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen, die zu einer höheren Akzeptanz führen könnten, sind aus Sicht des Tiefbauamts eine höhere Kapazität des Tunnels, der Preis und der staufreie und ungehinderte Warentransport über das UWT-System, während der Transport über die Straßen länger dauert. Letzteres könnte bspw. durch einen Beschluss des Gemeinderats zur Reduktion der Verkehrsflächen bewirkt werden, was zu kleineren Straßen, mehr Staus und höheren Fahrzeiten führen wird. Aus Sicht der Abteilung Mobilität wird es schwierig, den Endkunden für diese Themen zu sensibilisieren, die für ihn tendenziell irrelevant sind. Wesentlich wäre, dass die Endkunden tatsächlich eine Veränderung wahrnehmen können. Weitere Einflussfaktoren seien die Wirtschaftlichkeit in Form eines günstigeren Preises und das Erschweren der Alternativen durch City-Mauts und striktere Kontrollen. Als letzter Akzeptanzfaktor wurde der mögliche Beitrag zum Klimaschutz und zur nachhaltigen Mobilität angeführt. Die städtische Wirtschaftsförderung nannte als Einflussfaktoren aus politischer Perspektive die Erhöhung der Lebens- und Aufenthaltsqualität und des Klimaschutzes durch das UWT-System. Im Interview mit dem Verkehrsministerium waren die relevanten Punkte Preis, Umwelt- und Klimaschutz sowie die zeitlichen Vorteile, wie Schnelligkeit, konkrete Planbarkeit und Garantien in Abgrenzung zu heute. Das Amt für Umweltschutz sah Einflussfaktoren auf die Akzeptanz in den Effekten für die nachhaltige Mobilität, in der Reduktion des Verkehrsaufkommens, im Vorteil für die gesamte Stadt und im Einfluss auf den Klimawandel und die Klimaziele (wenn die CO₂-Bilanz des Baus kompensiert werden kann). Hierzu zählen weiterhin der Imagegewinn für die Stadt und die Empfänger, da Nachhaltigkeit besonders in der Außenwirkung ein zunehmend zentraleres Thema auch für Unternehmen wird, sowie die Realisierung von effizienten und kurzen Verbindungen, die in Summe zu einer Reduktion der Strecken führen. Aus Sicht der Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung ist die Wirtschaftlichkeit der zentrale Einflussfaktor. Bei einem günstigeren System würde die Nutzung auch ohne Zwang funktionieren, bspw. durch eine City-Maut, die die Straßen teurer macht, sodass sich das System rechnen würde.

Hindernisse

Als Hindernisse für das UWT-System führten alle Befragten, bis auf das Amt für Umweltschutz, die Wirtschaftlichkeit bzw. Finanzierbarkeit des Systems an. Zusätzlich nannte das *Tiefbauamt* die Akzeptanz der verschiedenen Stakeholder, vertragliche Regelungen (v. a. mit privaten Grundstücken), die Umsetzung eines Nutzungszwangs, die Kostenbeteiligung durch die Stadt und das Problem, dass es stets Fahrzeuge z. B. für Baustellen geben wird, die weiterhin in die Innenstadt fahren müssen. Die *Abteilung Mobilität* sah als zusätzliche potenzielle Hindernisse das Thema des unterirdischen Tunnels in Stuttgart und den Umstieg der potenziellen Kunden auf ein neues System, da aktuell alle Unternehmen ihre eigenen optimierten Liefersysteme haben. Aus Sicht der *städtischen Wirtschaftsförderung* ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis das zentrale Hindernis für das UWT-System. Die befragte Person des *Ministeriums für Verkehr* sah zusätzlich ein Problem für den Fall, dass das UWT-System zeitliche Nachteile bringen würde oder im Tagesgeschäft unzuverlässig sei. Das *Amt für Umweltschutz* nannte darüber hinaus als Hindernisse die Hubs als neuralgische Punkte für Emissionen und Verkehr, die Beeinträchtigung der Anwohner, die Flächenkonkurrenz in der Tiefe sowie die Mineral- und Heilquellenschutz zonen. Die *Abteilung*

Verkehrsplanung und Stadtgestaltung erachtete die Hubs ebenfalls als Schwachpunkt, da Verkehrsströme und Emissionen auf einen zentralen Punkt konzentriert würden. Eine Verteilung auf zwei Hubs wäre auch für das Planfeststellungsverfahren einfacher zu begründen. Darüber hinaus kann das Nichtfinden eines Betreibers zu einem Hindernis werden. Auch die direkte Betroffenheit der Bürger, die zu kritischen Bürgerinitiativen führen könnten, und das zentrale Thema der Geologie in Stuttgart seien kritische Aspekte.

Chancen und Risiken

Insgesamt werden im Konzept des UWT aus Sicht des *Tiefbauamtes* Potentiale und Chancen gesehen aber auch zahlreiche Nachteile und Risiken. Da der Tunnel mit viel „*Aufwand, Geld und Beton*“ verbunden ist, müsse das UWT-System zu einer spürbaren Reduktion des Verkehrsaufkommens führen und eine hohe Gesamtkapazität aufweisen. Zusätzlich sei das System für Massengüter bzw. FTL nicht schlüssig und biete keine sinnvolle Lösung. Darüber hinaus müsste das UWT-System in ein sinnvolles Gesamtsystem integriert werden, das ebenfalls die Belastung durch den motorisierten Individualverkehr adressiert. Zudem wird die Überlegung herangezogen, dass heute eventuell noch nicht diejenigen Probleme sichtbar sind, für die das UWT-System eine passende Lösung darstellen könnte. Aktuell ist es nach Auffassung des Tiefbauamts unklar, ob das UWT-System in die Ziele des Referats passt und tatsächlich für Verkehrsentlastung sorgt.

Die *Abteilung Mobilität* bewertete die Idee positiv, sah aber noch „*1000 Probleme in der Realisierung*“. Insgesamt könnte es eine gute Ergänzung für das Gesamtkonzept sein, aber es werde nicht *die* eine Lösung sein, die alle Probleme löst. Das UWT-System passe zudem thematisch gut in das Referat, da dort die Themen Klima und Mobilität verknüpft werden, und stimme damit potenziell mit den zukünftigen Zielen der Abteilung überein. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen mit der Seilbahn-Planung für Stuttgart wurde die Erstellung einer FAQ-Liste für die Bürgerschaft empfohlen, um den Bürgern erste Ängste zu nehmen.

Die *städtische Wirtschaftsförderung* sah sich in einer Moderatorenrolle und wird daher das Potenzial des UWT-Systems für die Landeshauptstadt erst auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Studie bewerten. Empfohlen wurde jedoch, Perspektiven aufzuzeigen und neue Quartiere sowie regionale Lösungen mitzudenken, um ein höheres Potenzial des UWT-Systems verdeutlichen zu können. Die befragte Person des *Verkehrsministeriums* sah in der Lösung des UWT-Systems hohes Potenzial und eine innovative Idee, die das Ministerium unterstützen würde.

Das *Amt für Umweltschutz* bewertete das Potenzial des UWT-Systems unterschiedlich. Aus geologischer Sicht, aus stadtstrukturellen Aspekten und aus Gründen der Akzeptanzprobleme könnte dieses Projekt in Stuttgart schwierig werden. Insgesamt wäre es jedoch wünschenswert, da das UWT-System zahlreiche Chancen und Potenziale insbesondere aus Klima- und Flächensicht bieten könnte. Daher wären die Risiken und Chancen detailliert auszuloten, um hier ein Fazit ziehen zu können. Grundsätzlich würde das UWT-System mit einigen der Ziele übereinstimmen, jedoch andere möglicherweise beeinträchtigen, wie den Mineralquellenschutz.

Aus Sicht der *Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung* bietet das UWT-System ein hohes Potenzial, unter der Prämisse, dass die Gesamtkapazität deutlich über die aktuellen Annahmen hinaus erhöht werden kann: „*Es bringt nur dann etwas, wenn es quasi wie ein Staubsauger alle Fahrzeuge vom Straßennetz abzieht, die mit Sprinter etc. die Straßen belasten.*“ Wenn die fraglichen offenen Punkte noch geklärt werden, wäre es ebenfalls vorstellbar, das UWT-System weiter zu unterstützen und mit voranzutreiben. Die Infrastruktur, die heute genutzt wird, wurde ebenfalls vor 60 bis 70 Jahren erdacht; daher „*ist es kein Fehler, ein System zu haben, das auf Zuwachs für eine Problemlage auch ein Potenzial bietet*“. Wenn der Tunnel erst einmal gebaut ist, sei davon auszugehen, dass das UWT-System auch genutzt werde und sich hierdurch das Potenzial weiter erhöhe. Trotzdem soll-

te die Option offengehalten werden, wenn alle Argumente für das UWT-System widerlegt worden sind, irgendwann zu sagen: „von der Einführung des Systems ist abzuraten“. Ein relevanter Aspekt besteht ebenfalls darin, mit der Feinverteilung nicht ‚vom Regen in die Traufe‘ zu kommen, sondern deutliche Reduktionen zu erreichen.

Alternativen

Das UWT-System wurde durchgängig als ein Aspekt innerhalb eines größeren Maßnahmenbündels für die gesamte Innenstadt und Region angesehen. Das *Tiefbauamt* schlug vor, die Hauptverkehrsstraßen außerhalb der Stoßzeiten zu nutzen, um so durch eine Umorganisation und alternative Antriebe die Auslastung zu verbessern und die Belastung zu reduzieren. Die befragte Person des *Verkehrsministeriums* nannte als Alternativen die elektrische Belieferung, die das Umweltproblem adressieren würde, und ein besseres Parkraummanagement, um die Flächenkonkurrenz zu entschärfen. Dies könnte bspw. durch das Nutzen von derzeit nachts nicht belegten Flächen als Umschlagpunkt erfolgen. Das *Amt für Umweltschutz* schlug vor zu prüfen, ob mit den Investitionen, die in diesen Tunnel fließen würden, die Probleme nicht mit Lösungen adressiert werden können, die deutlich weniger Unsicherheiten bergen und nicht in den Untergrund gehen, bspw. durch oberirdische Fördersysteme, die Umnutzung von Straßen oder das Führen der Waren oberhalb der Straße. Auch sollte bzgl. der CO₂-Einsparungen eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden.

6.5.3.6 Gesamtüberblick Akzeptanzfaktoren

Unter den wahrgenommenen Vorteilen lässt sich zusammenfassen, dass alle Gruppen die antizipierbaren Vorteile sahen, wie

- die Verkehrsreduktion,
- ökologische und Umweltvorteile,
- Vorteile im Bereich der Nachhaltigkeit,
- die Emissionsreduktion,
- die Zeitersparnis und Planbarkeit,
- die Bündelung und Zentralisierung sowie
- die Innovationskraft der Lösung.

Auf der anderen Seite wurden diverse Nachteile bzw. Kosten und Risiken im Konzept des UWT-Systems gesehen. Bei einzelnen Stakeholdergruppen wird davon ausgegangen, dass diese Nachteile überwiegen werden, besonders wenn es sich um unüberwindbare Kriterien für die Nutzung handelt.

Folgende zentrale Herausforderungen wurden genannt:

- Ausfälle und Störungen sowie das Fehlen von Alternativen
- die unklare Wirtschaftlichkeit und potenzielle ökonomische Nachteile
- Zentralisierung des Verkehrs führt zu einer höheren Lärmbelastung
- bei der Planung der City- und Urban-Hubs: die Vergabe von Zeitslots und Garantien sowie Engpassmanagement und Notfallkonzept
- die Lage und Funktion der Hubs
- die komplexe Geologie und Hydrologie in Stuttgart
- Bürgerinitiativen und Akzeptanzthemen: Tunnelbau in Stuttgart ist stets kritisch
- potenzielle Nachteile für die Akteure im Güterverkehr, die weiterhin oberirdisch in die Innenstadt fahren müssen (z. B. Schwertransporte),
- zusätzliche Umschläge und Mehraufwand

- Probleme und Konflikte durch das Betreibermodell
- die Begrenzung der Güter in Größe und Warenkategorien (Kühlkette, Gefahrgüter etc.)

Dabei stellen insbesondere der Preis, die Passung der Güter sowie die Geologie und Hydrologie mögliche unüberwindbare Kriterien für das UWT-System dar.

Ob diese Nachteile durch die Vorteile ausgeglichen werden können bzw. wie die Kosten-Nutzen-Betrachtung final ausfällt, entscheidet grundlegend über die Akzeptanz und Umsetzbarkeit des Systems. Hier existieren offene Fragen, die aus Sicht der Stakeholder noch beantwortet werden müssen. Besonders das Güterpotenzial, das durch das UWT-System fließen kann, ist einer der zentralen Faktoren, der diese Betrachtung beeinflusst.

Ein Faktor, der Einfluss auf die potenzielle Nutzung des UWT-Systems nimmt, ist die Nachhaltigkeit bzw. das grüne Image, das für Unternehmen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Entscheidung für die Nutzung des UWT-Systems in den meisten Fällen von den Kosten bestimmt wird. Zusätzlich wird hinterfragt, wie nachhaltig das UWT-System tatsächlich ist, auch unter Betrachtung des Gesamtkonzepts. Wesentliche Fragen sind hierbei: *„Werden tatsächlich Emissionen reduziert?“, „Sind es tatsächlich die kürzesten Wege, die genommen werden?“* und *„Wie viele Arbeitsplätze kostet und schafft das UWT-System?“*.

Die zentralen Rahmenbedingungen bzw. unterstützenden Umstände, die als Einflussfaktoren auf die Akzeptanz genutzt werden können, sind:

- der Preis,
- Zwang und Verbote,
- die Durchlaufzeiten,
- der Bequemlichkeitsfaktor,
- der Umweltfaktor,
- die Kommunikation und Vermarktung der Zukunftsvision der lebenswerten Stadt und der autofreien Quartiere,
- der Grad der Zuverlässigkeit und Kontrolle über das System sowie
- das ‚unbequem Gestalten‘ von Alternativen bspw. durch das Einführen einer City-Maut oder durch die Verengung der Straßen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass bei allen befragten Parteien ein Problembewusstsein vorhanden war und eine Notwendigkeit für eine Veränderung gesehen wurde, da die aktuellen Gegebenheiten mit hoher Wahrscheinlichkeit das zukünftige Wachstum in der Logistik nicht mehr abfangen können. Aus diesem Grund werden für das Erreichen der Zukunftsvision, besonders der Vision der lebenswerten Stadt, neue Alternativen für die City-Logistik benötigt.

6.5.3.7 Fazit zur Machbarkeit pro Stakeholdergruppe

Im Rahmen der Erhebungen wurde durch jede Gruppe eine Einschätzung des Potenzials des UWT-Systems für die LHS abgegeben. Die Logistikdienstleister und die Gewerbetreibenden nahmen eine zweite Einschätzung hinsichtlich des Potenzials des UWT-Systems für das eigene Unternehmen vor. Diese Bewertungen sind grafisch in der folgenden Abbildung 6.8 dargestellt.

Gemeinsam mit diesen Bewertungen und der Gesamtauswertung der Interviews und der Fokusgruppe lässt sich ein abschließendes Fazit zum UWT-System und zu den Verhaltensabsichten jeder Gruppe ziehen, die im Folgenden dargestellt werden.

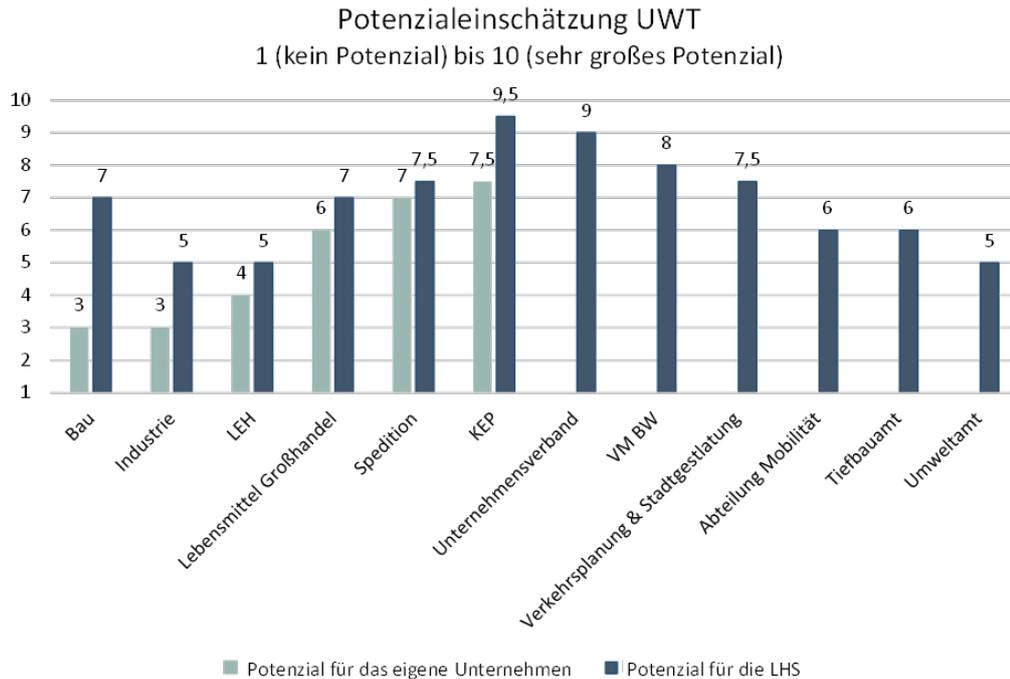


Abbildung 6.8: Einschätzung des Potenzials des UWT-Systems durch die Befragten der Phase 2

Aus Sicht der KEP-Interviewpartner handelt es sich beim System des UWT um eine spannende Idee mit viel Potenzial für das Unternehmen und im Besonderen für die LHS, für die ein neues Mobilitätskonzept unabdingbar ist. Insgesamt wären die KEP-Interviewpartner an der Nutzung interessiert, jedoch nur für den Betrieb des UWT-Systems oder den Transport der Waren. In keinem Szenario wäre es vorstellbar, die ‚letzte Meile‘ abzugeben. Aus diesem Grund müsste hierfür eine Lösung gefunden werden, bei der die ‚letzte Meile‘ weiterhin in der Hand der KEP bleibt oder das gesamte System durch die KEP betrieben wird. Aus Sicht des Interviewpartners steht die Spedition mit dem UWT-System vor dem Problem, dass zu einem großen Teil Sperrgüter transportiert werden, die im aktuellen Konzept nicht über das UWT-System transportiert werden können. Für Standardpaletten, die ins Zentrum der LHS zu liefern sind, würde das UWT-System trotzdem eine geeignete Lösung darstellen und wäre für die Nutzung interessant, wenn die Kosten geringer wären als derzeit. Aus Sicht des Unternehmensverband-Interviewpartners stellt das UWT-System ein notwendiges Konzept dar, das alternativlos sei, um die Zukunftsvision der lebenswerten Stadt zu erreichen. Auf irgendeine Weise müssten die Fahrzeuge von der Straße herunter und aus diesem Grund blieben nur die beiden Alternativen, nach oben oder nach unten auszuweichen. Aktuell würde ‚nach unten‘ das deutlich bessere Konzept darstellen.

Für die Baubranche ist das Problem der Nichtpassung der Waren am größten. Für die überwiegende Menge an Transporten wird daher das UWT-System keine passende Lösung sein. Für die kleinen Anlieferungen, die sich besonders am Ende der Bauprojekte ansammeln, wäre eine Nutzung jedoch denkbar. Die Potenziale halten sich hier allerdings in Grenzen. Ähnliche Punkte gelten für die Branche der Industrie. Die meisten Güter und Waren passen nicht in das UWT-System. Darüber hinaus liegen die Firmenstandorte vorwiegend am Rand des Zentrums, weshalb die Lage der Hubs für diese Branche ebenfalls nicht passend ist. Lediglich durch einen Direktanschluss der Firmenstandorte käme der Transport über das UWT-System ggf. infrage. Für den LEH müsste das UWT-System aus Sicht des Interviewpartners eine Gesamtlösung bieten und auch ein Konzept für die gekühlten Waren vorsehen. Ansonsten wäre eine Nutzung nicht realistisch, da aktuell die Lkw in ihrer Beladung optimiert sind und stetig weiter optimiert werden. Für die Unternehmen des LEH wäre es nicht sinnvoll, diese Prozesse aufzubrechen. Für den befragten Lebensmittelgroßhandel käme eine Nutzung eher infrage, jedoch müssten auch hier die Themen der Kühlung und

der Rollcontainer geklärt werden. Insgesamt werden die Nutzung und das Potenzial des UWT-Systems für das Unternehmen ebenfalls eher kritisch, aber mit einer leicht positiven Tendenz gesehen.

Insgesamt wird von und für KEP und Speditionen das größte Potenzial in der Nutzung des UWT gesehen. Da die KEP mit ihrer aktuellen Situation zufrieden sind, werden diese voraussichtlich Anforderungen an den UWT stellen, bspw. die letzte Meile in eigener Hand zu behalten, und wenig bereit sein, in diesem Punkt nachzugeben. Die Spedition hingegen hat aktuell die meisten Probleme durch die Ist-Situation und leidet stark unter der aktuellen Verkehrssituation, die auch die Kosten gerade für die letzte Meile stark in die Höhe treibt. Aus diesem Grund stellt für die Spedition der UWT bereits heute eine attraktive Alternative für die passenden Güter dar. Der UWT könnte einige Probleme der Spediteure besser adressieren, als dies im Rahmen der aktuellen Verkehrslage möglich ist.

Alle Gewerbetreibenden stellen den Tunnel an sich infrage und schlagen eine oberirdische Lösung als Alternative vor. Eine oberirdische Hubstruktur würde die Vorteile der Bündelung bieten, aber die Beschränkungen der Maße und Güterarten sowie die Einschränkung auf einen einzelnen Hub wären nicht vorhanden.

Aus Sicht des Tiefbauamts ist das Konzept des UWT-Systems als ‚schwach positiv‘ zu bewerten, wobei die finale Bewertung stark vom tatsächlichen Potenzial abhängig sein wird, das das UWT-System vor allem im Bereich der Verkehrsreduktion bietet. Das Thema des UWT passt gut zur Ausrichtung der Abteilung Mobilität und grundsätzlich handelt es sich aus deren Sicht um eine gute Idee, jedoch wird diese nur mit einer schwach positiven Tendenz bewertet, da es noch zahlreiche Probleme und offene Fragen gibt. Diese sind zunächst zu adressieren und anhand von Zahlen zu bewerten, um ein finales Fazit zum UWT ziehen zu können. Die städtische Wirtschaftsförderung stellt die Bewertung noch zurück und sieht sich in der Moderatorenrolle. Das Amt für Umweltschutz sieht diverse Chancen, aber auch Risiken im Konzept des UWT. Aus der ökologischen Nachhaltigkeitsperspektive heraus wäre das UWT-System eine bedeutende Chance; für den Boden und die Hydrologie stellt er jedoch gerade in Stuttgart ein großes Risiko dar. Grundsätzlich ist das Amt aber stets bereit und offen, zukunftsgerichtete Themen zu unterstützen und an deren Umsetzung mitzuarbeiten. Von den Ämtern der Stadtverwaltung steht die Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung dem UWT insgesamt positiv gegenüber, da die Potenziale für die Zukunft in jedem Fall vorhanden seien und sich etwas verändern müsse. Jedoch werden auch in dieser Perspektive noch diverse Punkte wahrgenommen, die zu klären sind. Dann jedoch wäre die Unterstützung dieser Abteilung dem UWT-System sicher. Die befragte Person des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg sieht im UWT diverse Potenziale, weswegen hier in jedem Fall mit Unterstützung zu rechnen wäre, besonders in Fragen bzgl. des rechtlichen Rahmens für das UWT-System.

Zwingend erforderlich für eine erfolgreiche Umsetzung sind eine hohe Unterstützung der Stadtverwaltung und ein starker politischer Wille. Eine weitere Gefährdung kann dadurch entstehen, dass keine Betreiber oder Investoren gefunden werden. Potenzielle Hindernisse, aber nur im Extremfall eine tatsächliche Gefährdung, stellen die Logistiker bzw. Nutzer des Systems dar, wenn diese eine Nutzung verweigern. Außerdem sind die Bürgerschaft und etwaige Bürgerinitiativen zu berücksichtigen, die zwar auf Basis der Erfahrungen mit S21 Projekte verzögern können, besonders dann, wenn sie nicht rechtzeitig und nicht durchgängig partizipativ eingebunden werden.

Grundsätzlich herrscht ein entsprechendes Problembewusstsein gegenüber der derzeitigen Verkehrssituation in der LHS und Handlungsbedarf wird gesehen. Ob das UWT-System jedoch die geeignete Problemlösung ist, bleibt aus Sicht der Stakeholder noch offen und muss sich im Rahmen weiterer Untersuchungen bestätigen, vor allem in der Gegenüberstellung dieses System mit anderen Logistikkonzepten.

6.6 Ausblick und weiteres Vorgehen

Wird auf Basis der Studie die Entscheidung zur Weiterverfolgung der Idee des UWT-Systems getroffen, sollte in den nächsten Schritten für das Stakeholdermanagement eine Befragung mit Bürgern, Politikern und Gewerbetreibenden angeschlossen werden, um die qualitativen Ergebnisse zu validieren. Insgesamt wird empfohlen, für das Gesamtprojekt weiterhin den Dialog und Austausch mit den verschiedenen Stakeholdergruppen zu suchen und diese aktiv zu involvieren.

Besonders die KEP-Dienstleister werden sich voraussichtlich mit einer White-Label-Lösung (vgl. Abschnitt 7.1.4) und der Abgabe der ‚letzten Meile‘ schwertun. Sollte ein gemeinsames System auf der ‚letzten Meile‘ verfolgt werden, ist hier intensive Überzeugungsarbeit notwendig. Aus diesem Grund könnte es ratsam sein, Studien anzuschließen, die die Relevanz der Sichtbarkeit auf der ‚letzten Meile‘ beim Endkunden überprüfen. Sollte gezeigt werden können, dass diese wenig Relevanz hat, könnte dies als Argumentationsgrundlage für eine gemeinsame Lösung genutzt werden. Andernfalls wird dieses Thema eine große Herausforderung für einen von allen getragenen Kompromiss darstellen.

Sollte darüber hinaus durch die Attraktivität des Systems keine Bereitschaft zur freiwilligen Nutzung erzeugt werden können, müssen Zeit und Expertise in die rechtlichen Rahmenbedingungen investiert werden, um eine legitime Lösung für einen Nutzungszwang herbeiführen zu können. Dieser Zwang wird ebenfalls einen entsprechenden Einfluss auf die Akzeptanz und die Wahrnehmung des UWT-Systems nehmen und sollte mit erheblicher Vorsicht und Rücksicht auf die verschiedenen Stakeholder überprüft werden.

Unabhängig vom Stakeholdermanagement wäre auf Basis der Erhebungen perspektivisch ein mehrschrittiges Vorgehen für den Bau und die Einführung des UWT-Systems denkbar, indem zuerst mit einer Hubstruktur (Urban-Hub und City-Hub) und Bündelung gestartet wird. So können die verschiedenen Stakeholder für die Zusammenarbeit vorbereitet, abgeholt und bereits überzeugt werden. In einem späteren Schritt könnte der Hub mit geeigneten Güterstrukturen und dem größten Durchsatz über ein UWT-System mit der Innenstadt verbunden werden.

6.7 Fazit des Stakeholdermanagements

Auf Basis der zweistufigen Erhebung wurden drei zentrale Stakeholdergruppen – Logistikdienstleister, Gewerbetreibende sowie die Verwaltung der LHS und des Landes Baden-Württemberg – identifiziert und ihre individuelle Akzeptanzhöhe für das UWT-System wurde ergründet. Abbildung 6.9 stellt diese Ergebnisse visuell zusammengefasst dar.

Alle befragten Stakeholder empfinden die Idee des UWT-Systems als interessant und sehen ein Potenzial für die LHS. Jedoch wird von allen Gruppen infrage gestellt, wie realistisch und wie groß diese Vorteile und Potenziale in der Anwendung und Praxis tatsächlich sein werden. Aktuell sehen die Stakeholdergruppen noch diverse Unsicherheiten, Risiken und offene Fragen, die im Vorfeld weiterer Planungsschritte geklärt werden müssen.

Aus Sicht der Stakeholder lässt sich daher sagen, dass die aktuelle und zukünftige Ist-Situation der City-Logistik Herausforderungen und Probleme mit sich bringt und daher eine neue Lösung für das Gesamtverkehrssystem der LHS gefunden werden sollte. Das UWT-System könnte Teil dieser Lösung sein, aber es ist derzeit nicht klar, inwieweit das UWT-System geeigneter ist als alternative Logistiklösungen.

Aus einer pessimistischen Perspektive könnten mit den Investitionen, die in das UWT-System fließen würden, die Probleme auch auf eine andere und weniger risikoreiche Weise

gelöst werden. Aus einer optimistischen Perspektive wäre es jedoch eine innovative Lösung, die Stuttgart als Standort und im Bereich des Images vorantreiben könnte. Damit wäre das UWT-System eine Investition in die Zukunft der Stadt.

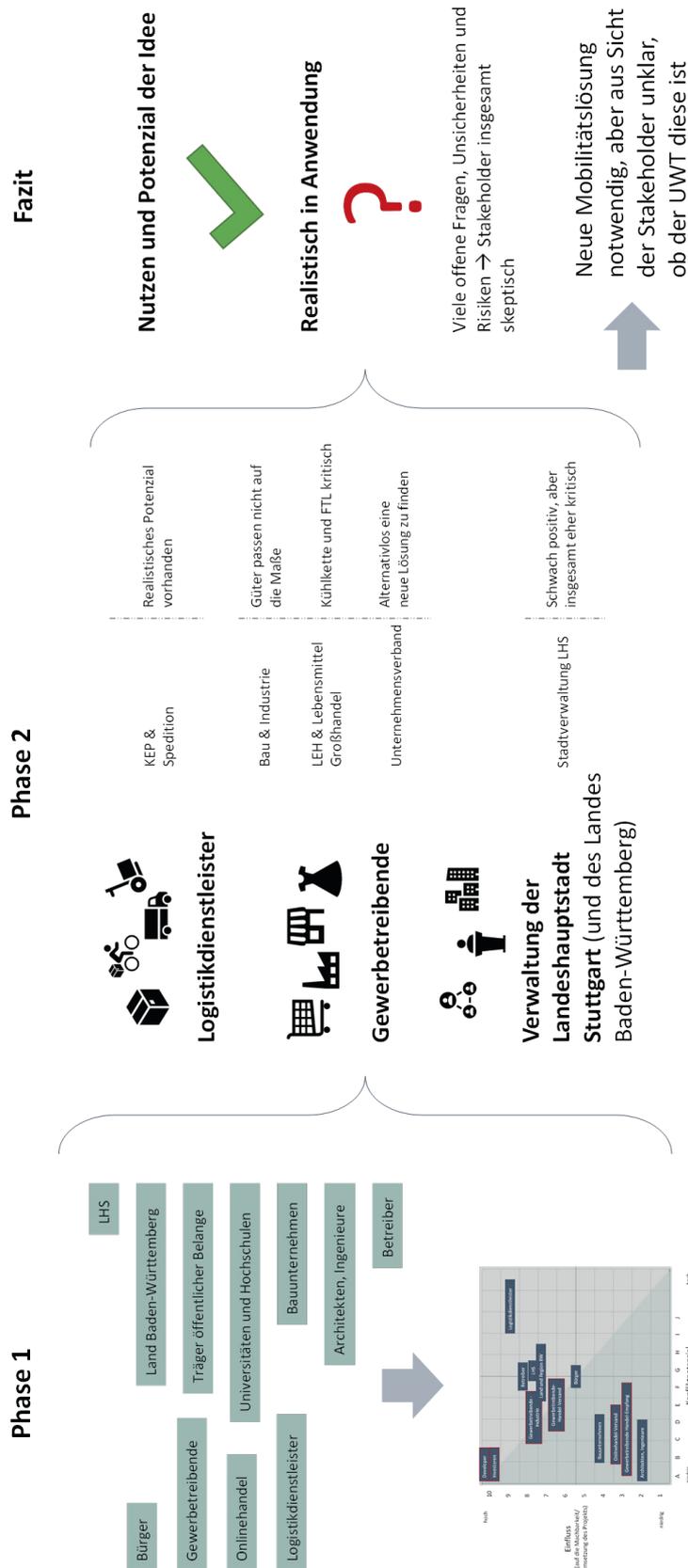


Abbildung 6.9: Überblick über die Ergebnisse des Stakeholdermanagements der Studie

7. Zukunftsmodell des unterirdischen Warentransports

7.1 Identifikation von möglichen Betreibermodellen

7.1.1 Problemstellung des Betreibermodells

Im Zusammenhang mit der Realisierung eines UWT-Systems sind die Finanzierung und der Betrieb des Systems als entscheidende Faktoren zu nennen. Dazu müssen Investoren und Betreiber gefunden werden. Eine eindeutige Identifizierung der möglichen Betreibermodelle für ein solches System ist jedoch schwierig, da noch keine Referenzprojekte bestehen.

7.1.2 Zielsetzung

In diesem Kapitel werden mögliche Betreibermodelle identifiziert und beschrieben. Es wird eine Entscheidungsgrundlage für die LHS vorbereitet. Dabei soll aufgezeigt werden, nach welchen Kriterien eine Eignung der Betreibermodelle bewertet werden kann und welche Randbedingungen und Einflussparameter zu beachten sind.

7.1.3 Vorgehensweise, Methodik und Limitationen

7.1.3.1 Vorgehensweise und Methodik

Basierend auf einer Literaturrecherche werden zunächst alle möglichen Betreibermodelle identifiziert, klassifiziert, beschrieben und mit entsprechenden Beispielen referenziert. Ein Betreibermodell definiert sich durch das Zusammenspiel zwischen Investor und Betreiber. Die Klassifizierung der Betreibermodelle findet auf einer übergeordneten Ebene statt. Diese können folgenden Unternehmensmodellen zugeordnet werden:

- Privatwirtschaftliche Unternehmen
- Öffentliche (kommunale) Unternehmen
- Public-Private-Partnerships (PPP) (Vertrags- und institutionelle PPP) sowie halbstaatliche Unternehmen (funktionale Privatisierung)

Außerdem werden relevante Kriterien bestimmt, anhand derer die unterschiedlichen Betreibermodelle bewertet werden können. Die eigentliche Bewertung wird aus Sicht der LHS als Entscheidungsträger durchgeführt und erfolgt lediglich auf oberster Klassifizierungsebene. Eine detaillierte Bewertung kann dabei noch nicht vorgenommen werden. Es werden lediglich die relevantesten Kriterien aufgegriffen und aus Sicht der LHS als Entscheidungsträger diskutiert. Das Ergebnis ist als Experteneinschätzung für weitere, tiefgreifendere Betrachtungen zu verstehen.

7.1.3.2 Limitationen

Im Folgenden sind die zugrundeliegenden Limitationen aufgelistet.

- Keine Gewichtung der Kriterien aufgrund nicht ausreichender Informationslage.
- Merkmalsausprägungen bei der Bewertung auf qualitativer Ebene und deshalb nicht immer eindeutig nachvollziehbar.
- Für eine genauere Bestimmung und Bewertung anhand quantitativer Kriterien sollte ein alternatives methodisches Vorgehen entwickelt werden.

7.1.4 Rechercheergebnisse zu möglichen Betreibermodellen und deren Eignung für den Anwendungsfall UWT

In folgendem Abschnitt sind als Ergebnisse der Recherche die möglichen Formen der Betreibermodelle aufgeführt und beschrieben. Anschließend werden mögliche Kriterien vorgestellt, anhand derer Betreibermodelle bewertet und ausgewählt werden können. Außerdem werden die Rechercheergebnisse aus Sicht der LHS diskutiert.

7.1.4.1 Mögliche Formen der Betreibermodelle

Privatwirtschaftliche Unternehmen

- Privatunternehmen (Drittinvestorenmodell):
 - Übertragung von staatlichem Eigentum an private Eigentümer; Vermögens- und Aufgabenprivatisierung (materielle Privatisierung)
 - Beispiele: Nahwärme-Betreibermodelle mit externem Energiedienstleister; Maschinenbetrieb; Deutsche Lufthansa AG
- Kontraktlogistik:
 - „Die Kontraktlogistik bezeichnet integrierte Leistungsbündel, die verschiedene, in ihrem Umfang wesentliche Logistikleistungen, ergänzbar um Zusatzleistungen, enthalten und kundenspezifisch gestaltet von einem Dienstleister für eine andere Partei wiederholt und über einen längeren Zeitraum auf Vertragsbasis erbracht werden.“ (Weber et al. 2007)
 - Weitere Serviceleistungen und längere Vertragslaufzeit gegenüber Outsourcing
 - Beispiele: DHL (als Anbieter, Kunde: Iglo); Kühne & Nagel
- Tochtergesellschaft (Logistik GmbH):
 - (Logistische) Leistungserbringung durch ein vom verladenden Unternehmen beherrschtes, rechtlich selbstständiges Unternehmen (Hofmann und Freichel 2010).
 - Beispiele: Volkswagen Konzernlogistik GmbH & Co. OHG; Electrolux Logistics
- Joint Venture (mit Logistikdienstleister):
 - Verladendes Unternehmen und Logistikdienstleister betreiben und beherrschen gemeinsam eine Tochtergesellschaft zur logistischen Leistungserbringung (Hofmann und Freichel 2010).
 - Beispiele: FGR Logistics & Distribution GmbH; Volkswagen Autoversicherung AG
- White-Label-Konzept:
 - Das sogenannte White Label ist ein Produkt oder eine Dienstleistung, die nicht unter der eigenen Marke angeboten wird (Lehmann 2019).
 - Beispiele: White-Label-Hub (VeloCarrier GmbH in Zusammenarbeit mit ecoCARRIER AG); Velo-Carrier GmbH (E-Cargo-Bikes im individuellen Corporate Design)
- Genossenschaften:
 - Genossenschaften sind Wirtschaftsbetriebe, die selbstständig von ihren Mitgliedern geführt werden und die gleichzeitig für ihre Mitglieder wirtschaften. Durch diese gemeinschaftlich geführte Unternehmenstätigkeit sollen die Mitglieder gefördert werden und so die wirtschaftlichen, aber auch sozialen Anliegen der Genossenschaftsangehörigen erzielt werden (Stanetzki 2014).
 - Beispiele: Genossenschaftliche FinanzGruppe Volksbanken Raiffeisenbanken; Hallenbad Nörten-Hardenberg; Taz, die Tageszeitung Verlagsgenossenschaft; Bürgergenossenschaften (Bioenergiedorf, Solaranlagen, F&S Solar)

- Stiftung:
 - Eine Stiftung verfolgt mithilfe von Vermögenswerten bestimmte, oft gemeinnützige oder wohltätige Zwecke (Stiftungsgeschäft). Stifter können dabei Privatpersonen, Unternehmen oder auch der Staat sein.
 - Beispiele: Stiftung Warentest; Robert Bosch Stiftung GmbH; Eiderbad Hammer

Öffentliche (kommunale) Unternehmen

- Regiebetrieb:
 - Der Regiebetrieb ist eine Organisationsform, in der Dritte in öffentliche Strukturen einbezogen werden können, um dort entsprechende Aufgaben zu übernehmen (bspw. Entsorgung). Diese sind jedoch rechtlicher Bestandteil der Verwaltung der jeweiligen öffentlichen Einrichtung und somit organisatorisch nicht selbstständig (Bilitewski et al. 2018).
 - Beispiele: Friedhöfe; Betrieb von Straßenbeleuchtungen, Straßenreinigung und Entsorgungsbetriebe; Gartenbauamt Stadt Karlsruhe
- Eigenbetrieb:
 - Im Gegensatz zum Regiebetrieb ist der Eigenbetrieb eine Organisationsform, in der Dritte organisatorisch selbstständig in öffentliche Strukturen einbezogen werden können, ohne jedoch eine eigenen Rechtspersönlichkeit zu sein. Eigenbetriebe operieren als eigene hauswirtschaftliche Einheit mit unabhängiger Buchführung (Bilitewski et al. 2018).
 - Beispiele: Gas-, Strom-, Wasserwerke; Verkehrsbetriebe
- Anstalt des öffentlichen Rechts (öffentlich-rechtlich betrieben):
 - Dies sind Einrichtungen der Verwaltung, die auf Dauer bestimmte öffentliche Aufgaben erfüllen. Sie werden auf gesetzlicher (öffentlich-rechtlicher) Grundlage staatlicherseits gegründet, können über eine eigene Rechtspersönlichkeit verfügen und damit ihre Aufgaben unabhängig erfüllen oder ohne eigene Rechtspersönlichkeit unselbstständige Verwaltungsleistungen erbringen (Schubert und Klein 2018).
 - Beispiele: Universitäten; öffentlich-rechtliche Rundfunkanstalten; Bibliotheken; Schulen
- Eigengesellschaft:
 - Private Gesellschaft in der Hand der Gebietskörperschaft mit eigener Rechtspersönlichkeit (mögliche Formen: AG, GmbH, gGmbH etc.).
 - Beispiele: Deutsche Bahn AG; Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises Karlsruhe
- Zweckverband:
 - „Zweckverbände sind unter Beteiligung mindestens einer Kommune erfolgte rechtsfähige Körperschaften des öffentlichen Rechts zur Erledigung einer oder mehrerer einzelner Aufgaben mit dem Recht der Selbstverwaltung. Gebietshoheit steht ihnen nicht zu. [...] Ein Zweckverband kommt nur zustande, wenn wenigstens ein kommunales Mitglied an der Errichtung mitwirkt [...]. Als weitere Mitglieder kommen unter der Voraussetzung, dass das für sie maßgebliche Recht das gestattet, andere juristische Personen des öffentlichen Rechts in Betracht.“ (Oebbecke 2007)
 - Beispiele: Wasserversorgung des Hügellandes zwischen Alb und Pfalz; Zweckverband Regio-Nahverkehr Freiburg

Public-Private-Partnership-Modelle

Nach Budäus und Grüb (2007) ist bei PPP-Modellen oder auch *öffentlich-privaten Partnerschaften* (ÖPP) grundsätzlich zwischen Vertrags-PPP und Organisations-PPP zu unterscheiden. Bei Vertrags-PPP besteht ein vertraglich geregeltes Kooperationsverhältnis zwischen der öffentlichen Hand und privaten Partnern. Bei Organisations-PPP bzw. institutionalisierten PPP besteht dieses vertraglich geregelte Kooperationsverhältnis nicht. Vielmehr wird i. d. R. eine eigene Kapitalgesellschaft mit gemischtem öffentlichem und privatem Kapital gegründet. Nachfolgend sind einige Vertragsmodelle von PPP-Lösungen beschrieben.

- Erwerbermodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Das private Unternehmen übernimmt Planung, Bau, Finanzierung und Betrieb des Objekts, das von der öffentlichen Hand genutzt wird. Nach Ablauf der Vertragslaufzeit geht das Objekt auf den öffentlichen Auftraggeber über. Das Erwerbermodell wird aus diesem Grund auch BOT-Modell (Build-Operate-Transfer) genannt, wobei ‚Transfer‘ für den Eigentumstransfer auf den öffentlichen Auftraggeber am Ende der Vertragslaufzeit steht.
 - Beispiel: Bau und Betrieb von öffentlich genutzten Immobilien (Flughafen, Kläranlagen etc.)
- Inhabermodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Im Gegensatz zum Erwerbermodell befindet sich das Objekt beim Inhabermodell nach dessen Errichtung bzw. Sanierung in öffentlicher Hand. Das Inhabermodell wird auch BTO-Modell (Build-Transfer-Operate) genannt.
 - Beispiel: Bau und Betrieb von öffentlich genutzten Immobilien (Flughafen, Kläranlagen etc.)
- Leasingmodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Das private Unternehmen übernimmt Planung, Bau, Finanzierung und Betrieb des Objekts, das von der öffentlichen Hand genutzt wird. Im Unterschied zum Erwerbermodell besteht für das private Unternehmen jedoch das Optionsrecht, das Objekt entweder zurückzugeben oder zu erwerben. Das Leasingmodell wird auch als BOO-Modell (Build-Operate-Own) bezeichnet.
 - Beispiel: Bau und Betrieb von öffentlich genutzten Immobilien (Flughafen, Kläranlagen etc.)
- Mietmodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Anders als im Leasingmodell besteht im Mietmodell keine vertraglich festgelegte Kaufoption.
 - Beispiel: Bau und Betrieb von öffentlich genutzten Immobilien (Flughafen, Kläranlagen etc.)
- Contractingmodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Das private Unternehmen führt im Rahmen eines Vertrags mit festgelegter Laufzeit betriebswirtschaftliche Tätigkeiten an einem Objekt des öffentlichen Auftraggebers durch.
 - Beispiel: Energiespar-Contracting (Universitätsklinikum Ulm, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft)
- Gesellschaftsmodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007)
 - Hierbei werden öffentliche Aufgaben auf eine Gesellschaft in Form eines gemischtwirtschaftlichen Unternehmens mit öffentlichen und privaten Anteilseignern übertragen.
 - Beispiele: Stadtentsorgung Rostock GmbH (Minderheitsbeteiligung von ALBA), AVL Leipzig GmbH (Mehrheitsbeteiligung ALBA), NaturEnergie Rockenhauser Land

GmbH (Rockenhauser Land AöR und Pfalzwerken)

- Konzessionsmodell (Land Nordrhein-Westfalen 2007):
 - Beim Konzessionsmodell erbringt der private Auftragnehmer Bau- oder Dienstleistungen auf eigenes wirtschaftliches Risiko für die öffentliche Hand. Die Finanzierung erfolgt dabei über Nutzergebühren, die vom öffentlichen Auftraggeber festgelegt werden.
 - Beispiel: Insbesondere im Bundesfernstraßenbau finden Konzessionsmodelle Anwendung. Nachfolgend sind die drei unterschiedlichen Geschäftsmodelltypen beschrieben (Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2020):
 - » A-Modell: Der Auftragnehmer übernimmt Planung, Ausbau, Betrieb sowie Finanzierung einer Autobahn bzw. eines Autobahnabschnitts. Zur Refinanzierung erhält der Auftragnehmer vom Staat eine verkehrsmengenabhängige Vergütung auf Basis der Lkw-Maut.
 - » V-Modell: Der Auftragnehmer übernimmt Planung, Ausbau, Betrieb sowie Finanzierung einer Autobahn bzw. eines Autobahnabschnitts. Die Refinanzierung erfolgt durch ein monatliches Entgelt des Auftraggebers, das an den Umfang und die Qualität der Verfügbarkeit des Streckenabschnittes geknüpft ist.
 - » F-Modell: Der Auftragnehmer übernimmt Planung, Ausbau, Betrieb sowie Finanzierung einer Autobahn bzw. eines Autobahnabschnitts. Zur Refinanzierung kann er – anders als beim A- und beim V-Modell –, basierend auf dem Fernstraßenbauprivatfinanzierungsgesetz, von allen Nutzern selbst eine Maut erheben.

7.1.4.2 Kriterien zur Bewertung der Betreibermodelle

Basierend auf einer Literaturrecherche werden Kriterien identifiziert, anhand derer die unterschiedlichen Betreibermodelle für den jeweiligen Anwendungsfall bewertet werden können.

Tabelle 7-1 zeigt die angewandten Kriterien und die Ergebnisse der Bewertung. In der Tabelle kann außerdem nachvollzogen werden, an welche Quelle die Miteinbeziehung des entsprechenden Bewertungskriteriums angelehnt ist.

Bewertungskriterien mit Relevanz für LHS		Brenck et al. (2016)	Ouyeder und Straube (2011)	Herry Consult GmbH et al. (2011)	K.-o.-Kriterien	Messeinheit des Kriteriums
Einflussnahme-möglichkeiten der LHS auf	Mitbestimmungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Projektphasen	x				s.u.
Planung und Bau						Grad der Beteiligung an der Planung
Betrieb						Grad der Beteiligung am Betrieb
Kommunikations-schnittstellen					x	Grad der Kommunikations-möglichkeiten
Administrativer Aufwand	Aufwand durch Kommunikation und Abstimmungen				x	Benötigte Mitarbeiter
Belastung des Haushalts	Kosten, die für die LHS entstehen, wenn öffentliches Betreiberkonzept gewählt wird					x Kann K.-o.-Kriterium sein, wenn nötige Investitionskosten zu hoch sind
Investitionskosten		x	x			Euro
Betriebskosten		x	x	x		Euro/Jahr
Kosten für Anreize		x				Euro/Jahr
Risikoverteilung	Risikobeteiligung der LHS				x	Rangfolge Risikoverteilung (Stufen ordinal)
Mögliche Einnahmen	Einnahmen, die durch Wahl dieses Betreiberkonzepts neu geschaffen werden					Euro/Jahr
Auswirkung auf städtische Infrastruktur	Nutzen der Hubs und der Röhre über UWT hinaus. Zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten durch Betreibermodell, z. B. Müllentsorgung				x	Nutzungsgrad über UWT hinaus
Abstimmung mit weiteren Infrastrukturprojekten	Führt Betreiberkonzept z. B. zu besserer Abstimmung mit bestehenden Strukturen?				x	Andere Projekte/ Strukturen profitieren vom UWT

Tabelle 7-1: Betreibermodelle

7.1.5 Fazit zu möglichen Betreibermodellen

Im Falle einer Übernahme von Planung, Bau, Betrieb und Finanzierung durch die LHS – dies entspricht einem Betreibermodell in öffentlicher Hand – ergeben sich mehrere Möglichkeiten, positive Wirkungen auf das Stadtleben, aber auch auf andere, bereits bestehende Strukturen zu erzielen. Auf der anderen Seite stehen die Verantwortung des finanziellen Risikos und der erhöhte Aufwand für den Betrieb. Insbesondere die Belastung des Haushalts wird für die LHS als kritisch eingestuft und kann für dieses kapitalintensive Projekt

zu einem K.-o.-Kriterium werden. Bei der finalen Bewertung sind hierbei die hohen Investitions- und Betriebskosten zu beachten (vgl. Abschnitt 7.3). Dennoch kann die LHS nur im Falle einer hohen Einflussnahme auf Planung, Bau und Betrieb wichtige Synergien durch die Abstimmung mit bestehenden Infrastrukturprojekten erzielen. Wenn solche Synergien erzielt werden können und das wirtschaftliche Risiko als moderat eingestuft wird, sind die Planung, der Bau, der Betrieb und die Finanzierung durch die LHS empfehlenswert.

Aus den Ergebnissen der Stakeholderanalyse (vgl. Kapitel 6) lassen sich ebenfalls Erkenntnisse für die Auswahl der Betreibermodelle ableiten. Dies betrifft vor allem die Miteinbeziehung der Möglichkeit mehrerer Prozesseigner für das Gesamtsystem. Dazu muss das Gesamtsystem zunächst in sinnvolle Teilkomponenten unterteilt werden. Aus den Stakeholdergesprächen mit den Logistikdienstleistern geht hervor, dass eine Konfiguration des Betreibermodells berücksichtigt werden muss, in der die Feinverteilung extern in der Hand der Logistikdienstleister bleibt. Das würde bedeuten, dass sich der Prozesseigner des Teilsystems vom Urban-Hub zu den City-Hubs vom Prozesseigner der Feinverteilung von den City-Hubs zu den Abnehmern unterscheidet. Diese Konstellation sollte in den weiteren Überlegungen berücksichtigt werden und wird deshalb anschließend aus ökonomischer Sicht bewertet.

Aufgrund der engen Taktung der logistischen Prozesse (Warenannahme Urban-Hub – Zwischenlagerung – Konsolidierung – Umschlag Horizontalförderer – Umschlag Feinverteilung) und des damit verbundenen hohen Steuerungsaufwands wird eine Trennung des Teilsystems vom Urban-Hub zu den City-Hubs nicht empfohlen.

7.2 Ökologische Betrachtung

7.2.1 Problemstellung der ökologischen Betrachtung

Der Klimawandel ist keine Erscheinung in fernen Ländern, sondern in seinen Auswirkungen bereits in Deutschland angekommen (Brasseur et al. 2017). Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) zeigt auf, dass dieser Klimawandel anthropogen ist (Le Quéré et al. 2018). Damit katastrophale Auswirkungen abgewendet werden, hat sich die Weltgemeinschaft im Jahr 2016 das Ziel gesetzt, bis 2050 die Erwärmung auf deutlich unter 2°C, wenn möglich auf 1,5 °C, zu begrenzen (United Nations 2015). Unter anderem zeigt der Sonderbericht des Weltklimarats, der über 6000 Studien berücksichtigt, dass dieses Ziel zurzeit verfehlt wird und vielmehr eine Erwärmung von 3,2 °C im Jahr 2050 wahrscheinlich ist (United Nations Environment Programme 2018; Figueres et al. 2018; Masson-Delmotte 2018). Ungefähr 14 % des gesamten CO₂-Ausstoßes stammen aus dem Transportsektor (Pachauri und Meyer 2015).

Derzeit erhöht sich das Frachtvolumen stetig, u. a. durch die Globalisierung und den wachsenden Onlinehandel. Eine fortschreitende Urbanisierung trägt außerdem zu einem größeren Verkehrsaufkommen in Innenstadtbereichen bei. Bis 2024 wird im Onlinehandel ein durchschnittliches Wachstum von 3,6 % bis 4,2 % pro Jahr erwartet (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) und KE-CONSULT Kurte&Esser GbR 2020). Durch die Auswirkungen der Coronapandemie wird nach neusten Hochrechnungen sogar mit einer jährlichen Wachstumsrate von 7 % gerechnet (Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK) und KE-CONSULT Kurte&Esser GbR 2021). Die steigende Anzahl der Sendungen führt vor allem in deutschen Ballungsräumen zu Herausforderungen. Insbesondere sind Städte wie Stuttgart betroffen, die durch die geografische Lage über begrenzte Zu- und Abfahrtsstraßen verfügen. Neben der erhöhten Menge an Emissionen (z. B. CO₂, Feinstaub, Lärm) verschärft sich der volkswirtschaftliche Schaden durch vermehrte Staubbildung (LHS 2017).

7.2.2 Zielsetzung der ökologischen Betrachtung

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird abgeschätzt, inwieweit ein UWT-System Einfluss auf den CO₂e-Ausstoß nimmt. Dabei werden folgende Fragen beantwortet:

- Wieviel CO₂e wird durch den relevanten Güterverkehr derzeit ausgestoßen (Ist)?
- Wieviel CO₂e wird durch den relevanten Güterverkehr im Rahmen eines UWT-Systems ausgestoßen (Soll)?
- Welche weiteren Quellen des CO₂e-Ausstoßes bestehen im Rahmen des gesamten Lebenszyklus eines UWT-Systems?

7.2.3 Methodik und Limitationen der ökologischen Betrachtung

Das Green-House-Gas(GHG)-Protokoll ist der am weitesten verbreitete Standard zur Messung des CO₂e-Ausstoßes und für alle Branchen geeignet, auch für Logistik- und Transportunternehmen. Es ist jedoch nicht spezifisch auf die Logistik- und Transportbranche abgestimmt. Deshalb hat das Netzwerk für Transportmaßnahmen (NTM) eine mit dem GHG-Protokoll konforme, aber detailliertere Methodik zur Bewertung der Emissionen von Transporten erstellt. Das NTM definiert fünf Systemgrenzen (SB) der verkehrsbedingten CO₂e-Emissionen:

- SB1 umfasst direkte Emissionen aus dem Betrieb der Transportmittel.
- SB2 umfasst alle Emissionen eines Kraftstoffs, die durch Herstellung, Bereitstellung und Nutzung verursacht werden (vgl. Well-to-Tank-(WTW) Emissionen in DIN EN 16258:2013-03).
- SB3 umfasst Service- und Wartungsemissionen des Fahrzeugs sowie Betrieb und Wartung der Verkehrs- und Transportinfrastruktur.
- SB4 umfasst den Bau und die Verschrottung des Fahrzeugs sowie den Bau und die Demontage der Verkehrs-, Transport-, Service- und Wartungsinfrastruktur.
- SB5 umfasst Emissionen aus administrativen Funktionen, Personal etc.

Angelehnt an die ISO 14025 teilt das NTM in seiner aktuellen Version die Emissionen neu auf. Für die Machbarkeitsstudie wird die SB1- bis SB5-Klassifizierung wie in McKinnon und Piecyk (2010) verwendet. Innerhalb dieser Machbarkeitsstudie werden jeweils SB1, SB2 und teilweise SB4 betrachtet, bewertet und quantifiziert. SB3 wird abgeschätzt und SB5 vernachlässigt, da derzeit keine wissenschaftlichen Studien dazu bekannt sind.

Zur Berechnung von SB1 und SB2 wäre eine exakte Methode für die Messung des Treibstoffverbrauchs der einzelnen Güterfahrzeuge und seine Umrechnung in CO₂e erforderlich. Da dieser Treibstoffverbrauch nicht vorliegt, werden Standardwerte aus dem Global Logistics Emissions Council Framework (GLEC; (Greene und Lewis 2019) genutzt. Die Annahmen bzgl. Fahrleistung und Transportmenge basieren auf den Ergebnissen der Ist-Analyse (siehe Kapitel 2).

Gegenstand der Betrachtung sind die Prozesse, die sich durch ein UWT-System wesentlich verändern. Diese sind:

	Zur MG	MG → KR	KR → City-Ring	City-Ring → Abnehmer
Ist Straßen-transport	ohne Umweg	Straße	Straße	Ist = Soll
Soll UWT	mit Umweg zum Urban-Hub	UWT	UWT	Ist = Soll

Tabelle 7-1a: Wesentliche Veränderung der Prozesse durch das UWT-System

Die Feinverteilung vom City-Hub zum Abnehmer (die letzte Meile) wird in beiden ökologischen Betrachtungen gleichgesetzt. Ein Vergleich zwischen einer rein elektrischen Distributionsflotte in 15 bis 20 Jahren mit einer jetzigen Distributionsflotte, die überwiegend auf Verbrennungsmotoren setzt, wird als nicht sachlich erachtet.

7.2.4 Einordnung der CO₂e-Emissionen des Straßengüterverkehrs

In Kapitel 2 wurde ein Potenzial von 1,57 Mio. Paletten pro Jahr (Sechs-Tage-Woche) für das UWT-System ermittelt. Dies entspricht 5156 Paletten pro Tag. Diese wiederum werden in 231 460 Fahrten pro Jahr in die LHS transportiert. Der Güterverkehr kann näherungsweise auf die in der Verkehrszählung der LHS am Kesselrand definierten 49 Zählstellen (siehe Abschnitt 2.3.1.1) verteilt werden:

ID	Zählstelle	#Fahrten insgesamt	#Lfw 74,62%	#Lkw 17,33%	#Lzg 8,05%
1.173	B295	12.628	9.423	2.188	1.017
2.215	B27 [Nord]	8.764	6.540	1.519	706
2.223	B10 [Nord]	23.850	17.796	4.133	1.920
5.503	B14 [Ost]	27.702	20.671	4.801	2.230
5.514	B10 [Süd] (Uferstraße)	28.042	20.924	4.860	2.258
8.809	B27 [Süd]	14.671	10.947	2.543	1.181
9.912	A831 / B14 {Süd}	15.033	11.218	2.605	1.210
43	Mahdentalstraße	1.755	1.310	304	141
0045	Wildparkstraße	3.660	2.731	634	295
0046	Solitudestraße	112	83	19	9
1.159	Solitudestraße / Hörnleweg	1.247	931	216	100
1.160	Solitudestraße / Johannes-Dauer-Straße	0	0	0	0
1.161	Korntaler Landstraße	4.371	3.262	758	352
1.162	Hemmingen Straße	3.815	2.847	661	307
1.170	Engelbertstraße	1.308	976	227	105
1.171	Gerlinger Straße	3.195	2.384	554	257
2.203	Kornwestheimer Straße	3.397	2.535	589	273
2.207	Nordseestraße	5.082	3.792	881	409
2.214	B27 [Nord] (Stuttgarter Str., Kwh)	2.760	2.059	478	222
2.216	B27 [Nord] (Ludwigsburger Str., Zuff.)	0	0	0	0

2.216	B27 [Nord] (Ludwigsburger Str., Zuff.)	0	0	0	0
2.219	Schwieberdinger Straße (Stammheim)	2.442	1.807	420	195
2.220	Neuwirtshausstraße	0	0	0	0
2.221	B10 [Nord] (AS Neuwirtshaus, südwestl. Rampe)	7.871	5.874	1.364	634
2.222	B10 [Nord] (AS Neuwirtshaus, nordwestl. Rampe)	0	0	0	0
2.224	B27a	5.984	4.465	1.037	482
2.225	Westrandstraße	9.425	7.033	1.633	759
3.307	Aldinger Straße	2.936	2.191	509	236
3.308	Seeblickweg	3.026	2.258	524	244
3.312	Heidenburgstraße	838	626	145	67
4.405	Schmidener Straße	3.293	2.457	571	265
4.406	Nürnberger Straße	6.187	4.617	1.072	498
5.502	Fellbacher Straße	1.610	1.202	279	130
5.513	Augsburger Straße	1.881	1.403	326	151
5.515	Amstetter Straße	285	213	49	23
5.519	Ruiter Straße (ehem. Zufahrt Paracelsus-Krh.)	0	0	0	0
6.601	Kemnater Straße	737	550	128	59
6.602	Kirchheimer Straße	2.562	1.912	444	206
7.705	Scharnhäuser Straße	2.283	1.703	396	184
7.706	Neuhauser Straße	2.715	2.026	470	219
7.707	Mittlere Filderstraße	4.865	3.630	843	392
7.708	Bernhauser Straße	1.008	752	175	81
7.711	Echterdinger Straße	1.510	1.127	262	122
8.731	Steinröhre	149	111	26	12
8.822	Nord-Süd-Straße	5.265	3.928	912	424
9.906	Schönbuchstraße	1.366	1.020	237	110
9.909	Waldburgstraße	0	0	0	0
9.910	Panzerstraße	0	0	0	0
9.911	Pascalstraße	407	303	70	33
9.915	Magstadter Straße	1.445	1.078	250	116
	Summe	231.482	172.715	40.112	18.634
		100%	74,61%	17,33%	8,05%

Tabelle 7-2: Verteilung der relevanten Fahrten des Straßengüterverkehrs auf die Zählstellen

Diese Zählstellen werden in acht Cluster eingeteilt. Von jedem Cluster wird

- für die Bestimmung des Ist-Transports von der MG zum City-Ring der durchschnittliche Abstand zum nächstgelegenen City-Hub ermittelt und
- für die Bestimmung der Soll-Transporte zum Urban-Hub der durchschnittliche Umweg zum Urban-Hub ermittelt (vgl. Abbildung 7.1).

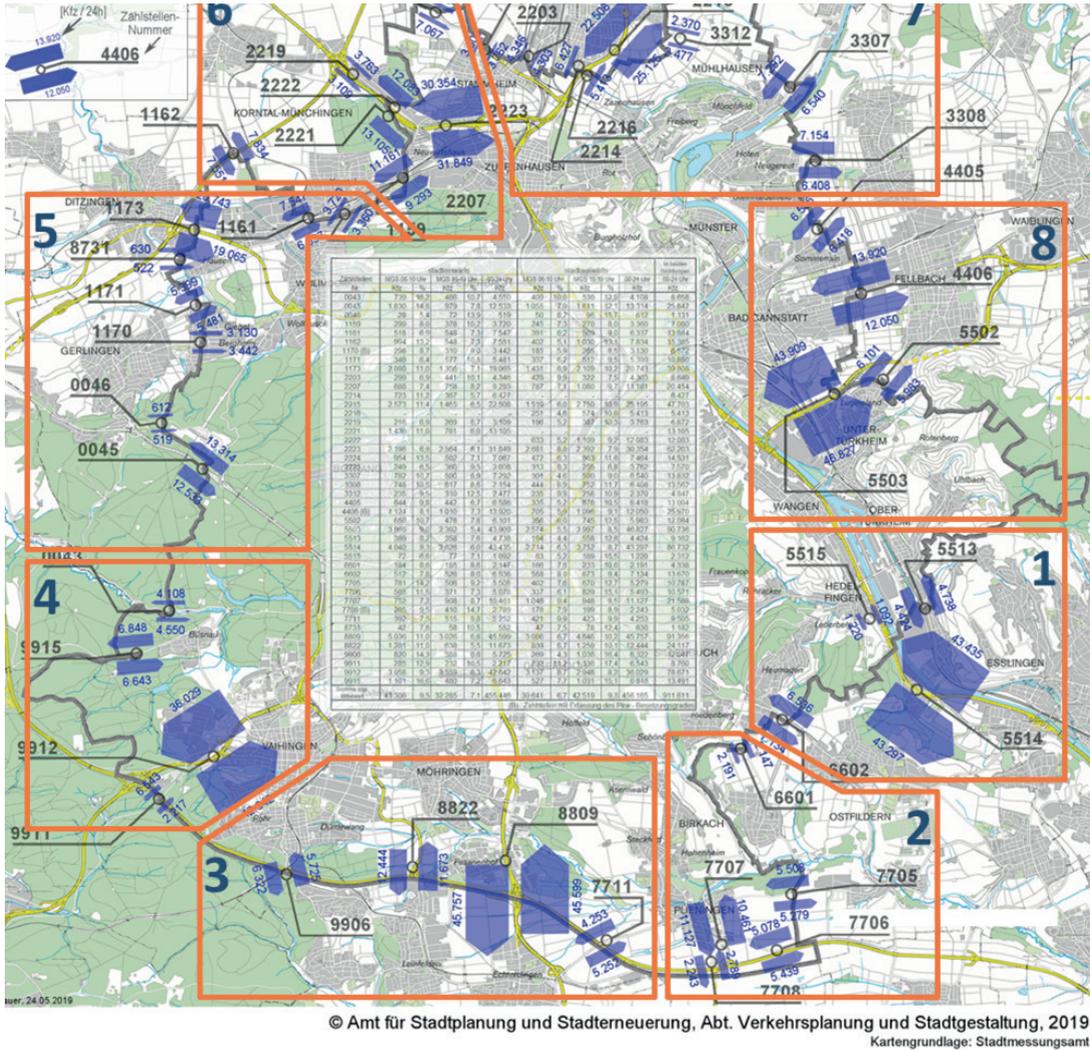


Abbildung 7.1: Zusammenfassung der Verkehrseintrittspunkte an der MG zu Clustern zur Abschätzung der durchschnittlichen Umwege zum Urban-Hub

Bestimmung SB1 und SB2 (Ist)

Zur Bestimmung von SB1 und SB2 werden die GLEC-Standardwerte nach Greene und Lewis (2019) berücksichtigt. Im GLEC sind Standardwerte mit Empfehlungen für die durchschnittlichen Leerfahrten- und Nutzlastanteile angegeben. Eine Distanzmatrix zwischen den 49 Zählstellen der MG und den im Abnehmermodell ermittelten Verbrauchsorten (siehe Abschnitt 2.4.2) liefert die Entfernungen in Kilometer. Vereinfacht wird statt des exakten Abnehmerstandorts der nächste Punkt am City-Ring zur Distanzberechnung verwendet. Multipliziert mit den Standardwerten zur Umrechnung des Treibstoffverbrauchs und den jeweiligen transportierten Tonnen ergibt sich folgender CO₂e-Ausstoß pro Jahr:

	Insgesamt	Lfw	Lkw	Lzg
Summe CO ₂ e (WTW) in t p. a.	1.630	870	495	265

Tabelle 7-3: CO₂e-Ausstoß SB1 und SB2 (Ist) [t CO₂e]

Bestimmung SB1 und SB2 (Soll)

Auf Basis der ermittelten durchschnittlichen Umwege zum Urban-Hub (vgl. Abbildung 7.1) werden die Umwege in Kilometer der zu befördernden Güter zum Urban-Hub bestimmt. Dabei werden dieselben Leerfahrtenanteile und Auslastungsannahmen einberechnet. Auf Basis dieser Distanzen ist in Tabelle 7-4 der daraus folgende CO₂e-Austoß pro Fahrzeugklasse dargestellt.

	Insgesamt	Lfw	Lkw	Lzg
Summe CO ₂ e (WTW) in t p. a.	2.972	1.587	903	482

Tabelle 7-4: CO₂e-Ausstoß SB1 und SB2 (Soll) durch die Umwege zum UWT-System [t CO₂e]

Die Beförderung durch das UWT-System vom Urban-Hub zu den City-Hubs benötigt durchschnittlich 0,864 kWh (Habenicht et al. 2013; Meißner und Massalski 2020) pro Palette, bei der Leerfahrt 0,328 kWh pro Palettenplatz. Multipliziert mit

- 1 572 590 Paletten pro Jahr,
- 28,4 % Leerfahrtenanteil UWT-System und
- 382 g CO₂e pro kWh (Fritsche und Greß 2021),

ergeben sich für die Lastfahrt 519 t CO₂e pro Jahr und für die Leerfahrt 56 t CO₂e pro Jahr. Insgesamt entstehen somit für die Lastfahrt in die LHS inkl. Leerfahrtenanteil 575 t CO₂e pro Jahr. Auch wenn der Leerfahrtenanteil geringer angenommen wird, hat dieser nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtausstoß.

Im Vergleichsszenario (SB1 und SB2) werden somit ohne den Einsatz eines UWT-Systems 1630 t CO₂e pro Jahr und mit UWT-System 3547 t CO₂e pro Jahr erzeugt. Dieser Wert setzt sich aus der Summe CO₂e für die Umwege (2972 t CO₂e pro Jahr) und den elektrischen Betrieb (575 t CO₂e pro Jahr) des UWT-Systems zusammen. Dies bedeutet, dass die durch Umwege erwarteten zusätzlichen Emissionen des betrachteten UWT-Systems die Emissionseinsparungen durch einen elektrifizierten unterirdischen Warentransport übersteigen.

Bestimmung SB4 (Ist)

Fridell et al. (2019) berücksichtigen die Emissionen, die beim Bau der Verkehrsinfrastruktur Straße entstehen. Sie setzen für ihr gewähltes Szenario 0,45 % zusätzlichen Ausstoß auf SB1 und SB2 an. Werden konservativ 2 % angenommen, beläuft sich dies anteilmäßig auf:

$$1630 \text{ t CO}_2\text{e} * 0,02 = 32,6 \text{ t CO}_2\text{e pro Jahr.}$$

Verteilt auf die angenommene Lebensdauer des UWT-Systems von 40 Jahren entstehen anteilmäßig 1304 t CO₂e.

Bestimmung SB4 (Soll)

Um zu ermitteln, welche Menge an CO₂e-Emissionen beim Bau eines Tunnels entstehen, sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen. Neben den Maschinen und Verfahren, die zum Vortrieb der Tunnelbohrmaschine eingesetzt werden, tragen die verwendeten Baustoffe, insbesondere Beton und Stahl, durch ihre Erzeugung zur Gesamtemission bei. Weitere Faktoren sind der Transport der Materialien sowie der Baustellenbetrieb.

Studien zeigen, dass die Emissionen, die durch den Zement im Beton und den verwendeten Stahl entstehen, einen Großteil des gesamten Treibhausgaspotenzials ausmachen (84 % laut einer Untersuchung zum Brenner-Basistunnel (Sauer 2016), 94 % beim Tunnel in Andong, Südkorea (Sun und Park 2020)). Durch die Mengengrobschätzung für Beton und Stahl werden die Emissionen anhand für Deutschland gültiger Kennwerte bestimmt. Die Gesamtemission lässt sich durch eine Umrechnung proportional zu den Referenzbauprojekten ermitteln.

Als Kennzahl für den Innenschalen- bzw. Normalbeton wird ein Wert von 265 kg CO₂e/m³ angesetzt, der sich zu gleichen Teilen aus den THG-Potenzialen der Betonsorten mit den

Druckfestigkeitsklassen C 35/45 und C 45/55 zusammensetzt (InformationsZentrum Beton GmbH 2013, 2018). Die Emissionen von Spritzbeton für die Tunnelaußenschale werden nach Sauer (2016) mit 560 kg CO₂e/m³ berücksichtigt. Gemäß ÖKOBAUDAT wird für den Bewehrungsstahl mit 683,4 kg CO₂e/t gerechnet (thinkstep 2018).

Für die Komponenten Tunnel, Schacht an den City-Hubs und Tunnelerweiterung wurden die folgenden Materialmengen ermittelt. Daraus ergeben sich die folgenden Emissionen in CO₂-Äquivalenten.

Menge Baustoffe	Normalbeton [m ³]	Spritzbeton [m ³]	Stahl [t]
Tunnel	87.104,8	32.484,7	7.870,4
City-Hub-Anschluss	4.455,0	363,1	337,7
Summe	91.559,8	32.847,8	8.208,0

Tabelle 7.5: Ermittelte Baustoffmengen beim Bau des Tunnels [m³]

THG Baustoffe	Normalbeton	Spritzbeton	Stahl	Summe
THG Tunnel	23.082,8	18.191,4	5.378,6	46.652,8
THG City-Hub-Anschluss	1.180,6	203,3	230,8	1.614,6
Summe	24.263,4	18.394,8	5.609,4	48.267,5

Tabelle 7.6: CO₂e-Bemessungen für den Bau des Tunnels [t CO₂e]

Der Wert von 48 267,5 t CO₂e wird konservativ auf 80 % der Gesamtemission festgelegt. Auf diese Weise ergeben sich hochgerechnet insgesamt 60 334 t CO₂e für den vollständigen Tunnelbau. Auf die angenommene Lebensdauer des UWT-Systems von 40 Jahren ergeben sich anteilmäßig 1.508 t CO₂e pro Jahr.

7.2.5 Gegenüberstellung der verschiedenen ökologischen Betrachtungsweisen

Tabelle 7-7 fasst die Ergebnisse der Bestimmung der Emissionen im Ist und Soll von SB1, SB2 und SB4 auf jährliche Betrachtungsweise zusammen. Dort ist zu erkennen, dass das UWT-System sowohl im Betrieb (SB1/SB2) als auch beim Bau wesentlich mehr Emissionen emittiert als der bisherige konventionelle Gütertransport.

Systemgrenze	Ist	Soll	Delta
SB1/2 (Güterverkehr)	1.630 t CO ₂ e p. a.	3.547 t CO ₂ e p. a.	+118%
SB4 (Bau)	33 t CO ₂ e p. a.	1.508 t CO ₂ e p. a.	+4.469%
Summe (SB1,2&4)	1.663 t CO ₂ e p. a.	5.055 t CO ₂ e p. a.	+203%

Tabelle 7.7: Zusammenfassung der CO₂e-Bemessungen [t CO₂e]

Im Folgenden wurde daher ein mathematisches Modell aufgestellt, sodass ermittelt werden kann, unter welchen Voraussetzungen das UWT-System nicht mehr CO₂e ausstößt als der bisherige Transport. Dazu werden folgende weitere Szenarien entwickelt.

- Szenario UWT-System mit Ökostrom: Das UWT-System wird mit 100 % Ökostrom betrieben.
- Szenario UWT-System mit Ökostrom und E-Lkw: Die Güter, die Umwege erzeugen, werden an Sammelpunkten an der MG gebündelt und mit E-Lkw, die mit 100 % Ökostrom angetrieben werden, an den Urban-Hub transportiert.

Die Ergebnisse dieser Szenarien sind in Abbildung 7.2 dargestellt.

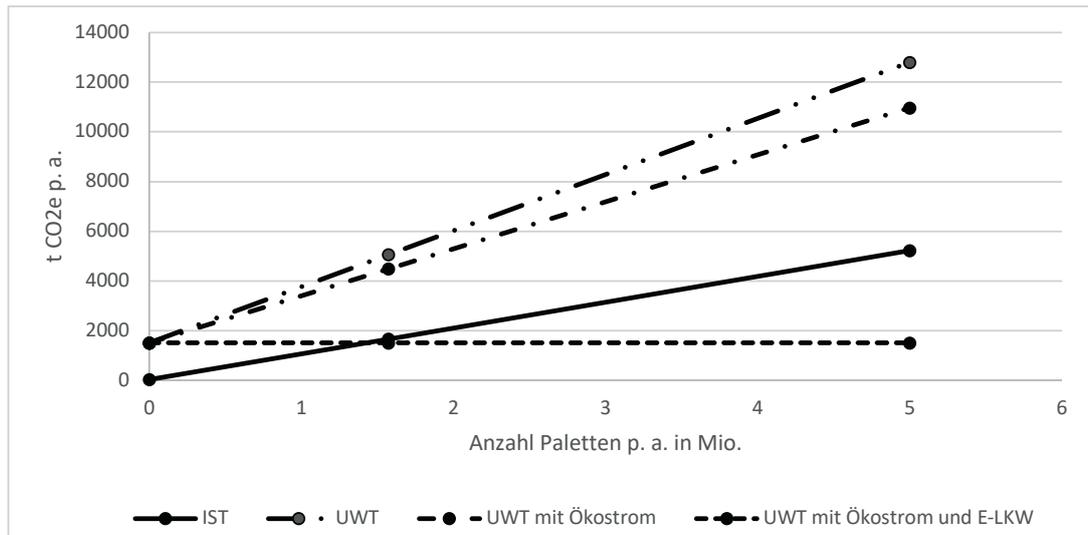


Abbildung 7.2: Bewertung der CO₂-Emissionen im Verhältnis zu den beförderten Paletten

Bei einer Beförderung von 1 572 590 Paletten fallen im Ist-Zustand 1663 t CO₂e-Emissionen p. a. an. Die Szenarien UWT-System und UWT-System mit Ökostrom führen unabhängig von der Anzahl der Paletten zu einer Emission von mehr CO₂e p. a. als der Ist-Zustand. Beim Szenario UWT-System mit Ökostrom und E-Lkw fallen nur die Emissionen ins Gewicht, die beim Bau entstehen. Diese belaufen sich auf 1508 t CO₂e p. a. Allein in diesem Szenario emittiert das UWT-System 155 t CO₂e p. a. weniger als der Ist-Zustand.

7.2.6 Fazit der ökologischen Betrachtung

Im Ist-Zustand werden ca. 1663 t CO₂e p. a. emittiert. Das UWT-System stößt hingegen 5055 t CO₂e p. a. aus und liegt somit 203 % über dem Ist-Zustand. Erst im Szenario UWT-System mit Ökostrom und E-Lkw wäre das UWT-System aus ökologischer Sicht vorteilhaft. Dies liegt darin begründet, dass die Anfahrt zum Urban-Hub auf der Straße bereits eine deutliche Verschlechterung hinsichtlich des Ist-Zustands darstellt. Somit werden auf der Straße durch die erhöhte Fahrleistung mehr Emissionen erzeugt, die durch die Emissionseinsparungen eines elektrifizierten unterirdischen Warentransports zwischen MG und City-Ring nicht ausgeglichen werden können. Auch ein zweites Urban-Hub würde die Bilanz nicht verbessern, da die zusätzlichen Emissionen für die zusätzliche Tunnelstrecke, die Reduzierung der Emissionen der Umfahrung um ein Vielfaches übertreffen würde.

7.3 Ökonomische Betrachtung

7.3.1 Problemstellung der ökonomischen Betrachtung

Ein wesentlicher Entscheidungsfaktor der Machbarkeit ist die ökonomische Bewertung des Gesamtsystems. Hierbei ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Unter welchen Bedingungen kann das UWT-System als ‚machbar‘ aus ökonomischer Sicht erachtet werden?
- Die Gesamtkosten des Systems werden über eine Reihe von Annahmen bestimmt, da für eine Vielzahl ökonomischer Faktoren eines UWT-Systems noch keine belastbaren Informationen existieren.
- Wie hoch müssen die Erlöse pro Palette sein, damit sich das Gesamtsystem nach einer bestimmten Anzahl von Jahren wirtschaftlich lohnt (Break-even-Point)?

7.3.2 Zielsetzung der ökonomischen Betrachtung

- Erarbeitung und Auswahl eines Investitionsrechenverfahrens
- Definition eines Zielkriteriums, anhand dessen das System aus ökonomischer Sicht bewertet wird
- Identifikation, Definition und Klassifizierung der Kostenarten
- Quantifizierung der Kosten
- Ermittlung der größten Kostentreiber

7.3.3 Vorgehensweise und Methodik der ökonomischen Betrachtung

Die ökonomische Bewertung des Gesamtsystems erfolgt mithilfe dynamischer Investitionsrechenverfahren. Im Gegensatz zu den statischen Verfahren liegen den dynamischen Investitionsverfahren mehrperiodige Betrachtungszeiträume zugrunde. Die grundlegenden Daten aller dynamischen Verfahren sind Zahlungsreihen, also Ein- und Auszahlungsströme der Investitionsobjekte. Diese werden differenziert für jede einzelne Periode bis zum Ende der Nutzungsdauer ermittelt. Speziell in diesem Fall setzen sich die Zahlungsströme aus Investitionen, jährlichen Betriebskosten und Erlösen zusammen. Diese Zahlungsströme werden über die gesamte Betrachtungsperiode in ihrer wahrscheinlichen Höhe ermittelt und den Jahren, in denen sie fließen, zugeordnet. Nicht zahlungswirksame Erfolgsgrößen (z. B. Abschreibungen) gehen nicht in die Zahlungsreihen ein (Wöltje 2017).

Gemäß (Becker 2016) gehören zu den dynamischen Investitionsrechenverfahren die folgenden Methoden:

- Kapitalwertmethode
- Interne Zinsfußmethode
- Annuitätenmethode
- Dynamische Amortisationsrechnung

Die notwendigen Erlöse für einen kostendeckenden Betrieb des Systems werden anhand der obigen Investitionsrechenverfahren für unterschiedliche Nutzungsdauern des UWT-Systems berechnet. Mittels Break-even-Analyse wird die Gewinnschwelle ermittelt, bei der die Kosten gleich den Erlösen sind.

7.3.3.1 Bestimmung der Kostenarten

Die Kostenarten unterteilen sich in Investitions- und Betriebskosten. Diese Aufteilung ist für die Umsetzung der dynamischen Amortisationsrechnung nötig. Die Investitionskosten teilen sich auf in:

Bauliche Investitionen:

- Tunneltrasse: Der bestimmende Faktor der Kosten der Tunneltrasse ist die Länge des Tunnels. Demnach werden die Investitionskosten des Tunnels auf Kosten pro Längeneinheit heruntergebrochen.
- Urban-Hub: Für die baulichen Investitionen des Urban-Hubs inkl. Gebäudetechnik wird eine Kostenkennzahl pro Quadratmeter ermittelt. Diese wird schließlich mit der ermittelten Fläche am Urban-Hub multipliziert.
- City-Hub Tiefbau: Für jeden City-Hub fallen Tiefbaukosten für die Anbindung des City-Hubs an die Röhre an. Die Anzahl an berücksichtigten City-Hubs geht aus den Ergebnissen der Standortplanung in Abschnitt 3.2.3 hervor.
- City-Hub Umbau: Für jeden City-Hub fallen Umbaukosten für den Umbau der vorhandenen baulichen Struktur der Parkhäuser oder Tiefgaragen an.

Fördertechnik:

- **Horizontalförderer:** Die in Abschnitt 4.3.4.2 ermittelte Anzahl nötiger Horizontalförderer bestimmt die Investitionskosten.
- **Vertikalförderer:** Die in Abschnitt 4.3.4.2 ermittelte Anzahl nötiger Vertikalförderer bestimmt die Investitionskosten.
- **Lastübergabe/sonstige komplementäre Fördertechnik:** Damit ist die Fördertechnik gemeint, die die Paletten zwischen den Materialflusselementen (Lager, Sortierung, Vertikalförderer, Horizontalförderer) transportiert und an die Materialflusselemente übergibt. Vereinfacht wird davon ausgegangen, dass jeweils pro Vertikalförderer sowie pro Hub eine komplementäre Fördertechnik vorhanden sein sollte.
- **Lagertechnik:** Für den Urban-Hub fallen einmalige Investitionskosten für die Lagertechnik an. Die Betriebskosten des Lagers (Energie, Wartung etc.) werden vernachlässigt.
- **Sortiertechnik:** Für den Urban-Hub fallen einmalige Investitionskosten für die Sortiertechnik an. Die Betriebskosten der Sortierung (Energie, Wartung etc.) werden vernachlässigt.
- **E-LR:** Die in Abschnitt 4.3.4.2 ermittelte gesamte Anzahl nötiger E-LR bestimmt die Investitionskosten.
- **E-Lfw:** Die in Abschnitt 4.3.4.2 ermittelte gesamte Anzahl nötiger E-Lfw bestimmt die Investitionskosten.

Sonstiges:

- **Technische Ausstattung Tunnel (Elektro):** Der bestimmende Faktor dieser Kosten ist die resultierende Tunnellänge. Die Investitionen für die technische Infrastruktur im Tunnel werden demnach auf einen Kostensatz pro Längeneinheit heruntergerechnet. Die technische Ausstattung des Tunnels für das Belüftungssystem wird aus der Kostenermittlung ausgeschlossen.
- **Gebäudetechnik City-Hub:** Pro City-Hub fallen Investitionen zur gebäudetechnischen Ausstattung an.

Die jährlichen Betriebskosten teilen sich auf in:

Fördertechnik:

- **Horizontalförderer:** Die Betriebskosten werden pro eingesetztem Fördermittel angegeben und setzen sich aus Instandhaltungskosten, Kosten für IT und Software, Energiekosten und Personalkosten zusammen.
- **Vertikalförderer:** Auch beim Vertikalförderer bestehen die Betriebskosten pro eingesetztem Fördermittel hauptsächlich aus Energie- und Wartungskosten.
- **Feinverteilung:** Die Betriebskosten der Feinverteilung sind gleichbedeutend mit den Transportkosten. Entsprechend der Durchsatzverteilung entfallen diese zu 20 % auf E-LR und zu 80 % auf E-Lfw (Russo et al. 2021). In den Transportkosten werden sowohl die Wartungsarbeiten und Energiekosten als auch die Personalkosten zum Betrieb der Fahrzeuge berücksichtigt. Für die Personalkosten wird der Paketbotenverdienst im Jahr 2017 mit Tarifbindung als Referenzwert genutzt (Nier 2019). Der jährliche Bruttoverdienst wird unter Berücksichtigung von 223 Arbeitstagen im Jahr und einer 35-Stunden-Woche auf Personalkosten pro Stunde heruntergerechnet. Der treibende Faktor dieser Kosten ist die insgesamt zurückgelegte Distanz in der Feinverteilung innerhalb eines Jahres. Dieser Wert geht aus den Ergebnissen der Standortplanung in Abschnitt 3.2.3 hervor. Hierfür wird u. a. abgeschätzt, wie viele Kilometer ein Fördermittel im Jahr zurücklegt.

Mietkosten:

- Urban-Hub: Für die genutzte Fläche am Urban-Hub fallen pro Quadratmeter monatliche Mietkosten an. Diese werden basierend auf den Angaben in Marktberichten zu den Monatsmieten von Industrie- und Logistikimmobilien in Stuttgart als Mittelwert angenommen (Grossmann & Berger GmbH et al. 2020; E & G Real Estate GmbH 2021b, 2021a).
- City-Hub: Ebenso fallen Mietkosten für die genutzte Fläche am City-Hub an. Diese werden auf Basis des Bodenrichtwerts (LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS-AG) et al. 2021a) bei gleichzeitiger Annahme der Abschreibung des Gebäudes auf 40 Jahre anhand eines repräsentativen Standorts in der Stuttgarter Innenstadt bestimmt. Als repräsentativer Standort wurde das Einkaufszentrum Das Gerber gewählt.

Personal des Anlagenbetriebs:

- Urban-Hub: Im Urban-Hub wird auf Basis von Angaben aus Referenzprojekten mit 20 durchgehend anwesenden Mitarbeitern gerechnet. Für die Personalkosten wird der Stundenlohn aus der Feinverteilung angenommen (siehe oben).
- City-Hub: Im City-Hub wird mit zwei durchgehend anwesenden Mitarbeitern gerechnet. Für die Personalkosten wird der Stundenlohn aus der Feinverteilung angenommen (siehe oben).

Gebäude, Betrieb und Wartung:

- Urban-Hub: Für die Ermittlung der Betriebskosten der Gebäude wird auf den Bewertungsleitfaden der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) zurückgegriffen. Darin wird für Logistikgebäude ein Wert für 20 Jahre aufgeführt (DGNB GmbH 2018). Dieser Kennwert wird pro Quadratmeter angegeben.
- City-Hub: Für die City-Hubs wird auf denselben Kennwert wie für den Urban-Hub zurückgegriffen.
- Unterhaltungskosten Tunnel: In der Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung werden für Tunnel mit Entwässerungsanlagen jährliche Unterhaltungskosten in Höhe von 0,9 % der Herstellungskosten festgelegt (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 01.07.2010). Dieser Wert wird für die Bestimmung der Unterhaltungskosten des UWT-Tunnels übernommen.

7.3.3.2 Methodik der Kostenberechnungen

Ausgehend von der Basislösung werden die treibenden Faktoren über die Materialflussplanung, die Trassenplanung und die Standortplanung in die Kostenberechnung einbezogen und anhand der oben beschriebenen Kostenarten in Kosten aufgeschlüsselt, die schließlich für die Investitionskosten und die Betriebskosten summiert werden. Nachfolgend sind in Tabelle 7.8 die in die Bewertung eingehenden Faktoren aufgelistet und es ist beschrieben, aus welchem Arbeitspaket sie hervorgehen.

Faktor (Input der quantitativen Bewertung)	Einheit	Output von ...
Länge des Tunnels	[m]	Trassenplanung
Fläche des Urban-Hubs	[m ²]	Materialflussplanung
Aggregierte Fläche aller City-Hubs	[m ²]	Materialflussplanung
Anzahl City-Hubs	[-]	Standortplanung
Anzahl Horizontalförderer	[-]	Materialflussplanung
Anzahl Vertikalförderer	[-]	Materialflussplanung
Anzahl Lastübergaben/komplementärer Fördertechnik	[-]	Materialflussplanung
Anzahl E-LR	[-]	Materialflussplanung
Anzahl E-Lfw	[-]	Materialflussplanung
Zurückgelegte gesamte Palettendistanz in der Feinverteilung	[km]	Standortplanung

Tabella 7.8: Übersicht der Input-Faktoren

7.3.4 Limitationen der ökonomischen Betrachtung

Für einige der Kostenfaktoren war es im Rahmen dieser Machbarkeitsuntersuchung nicht möglich, detaillierte Kosten abzuschätzen. Daher beruhen einige Angaben auf Annahmen des Projektteams. So wurden bspw. die Investitionskosten für die Lager- und Sortiertechnik lediglich auf Basis der Angaben zu Investitionsvolumen und Lagerplätzen anhand der Erfahrungen des Projektteams aus vergleichbaren Referenzprojekten abgeschätzt.

Für die City-Hubs wurde angenommen, dass die derzeitige Bebauung an diesen Standorten (v. a. Parkhäuser/Parkplätze) für das UWT-System zum Teil mitgenutzt werden kann. Demzufolge wurden in den Kosten hauptsächlich Umbaumaßnahmen berücksichtigt. Sollte sich im Rahmen einer möglichen weiteren Planung jedoch herausstellen, dass für eine UWT-Nutzung größere strukturelle Änderungen der Bausubstanz notwendig sind, müsste dies in Bezug auf die Kosten bewertet werden. Hinsichtlich der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die berechneten Erlöse jeweils nur für die Gewinnschwelle ermittelt wurden. Ein möglicher Gewinn durch den Betreiber des Systems ist somit bisher nicht betrachtet. Demzufolge erhöht sich der Mindestumsatz je Palette entsprechend der gewünschten Marge des Betreibers.

7.3.5 Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung

Aus den Arbeitspaketen gehen für das Basisszenario folgende Faktoren in die quantitative Bewertung des Systems ein:

Faktor (Input der quantitativen Bewertung)	Einheit	Ergebnis
Länge des Tunnels	[m]	9.400
Fläche des Urban-Hubs	[m ² BGF]	12.939
Aggregierte Fläche aller City-Hubs	[m ² BGF]	8.505
Anzahl City-Hubs	[-]	4
Anzahl Horizontalförderer	[-]	333
Anzahl Vertikalförderer	[-]	17
Anzahl Lastübergaben/komplementärer Fördertechnik	[-]	13
Anzahl E-LR	[-]	148
Anzahl E-Lfw	[-]	265
Zurückgelegte gesamte Palettendistanz in der Feinverteilung	[km]	3.812.058

Tabelle 7-9: Input für die quantitative Bewertung

Für die Berechnung mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren wurde in Abstimmung mit der LHS ein kalkulatorischer Zinssatz von 3 % gewählt. Zudem ist in der Berechnung eine jährliche Preissteigerung von 2 % berücksichtigt.

7.3.5.1 Darstellung der Investitionskosten

Die Einzelkosten für die in Abschnitt 7.3.3.1 ermittelten Kostenarten für die Investitionen setzen sich wie folgt zusammen:

Nr.	Unterirdischer Warentransport	Einheit	Einzelkosten
1.	Investitionen		
1.1	Bauliche Investitionen		
1.1.1	Tunneltrasse	[€/m]	22.537
1.1.2	Urban-Hub	[€/m ²]	1.444
1.1.3	City-Hub Tiefbau	[€/St.]	1.240.000
1.1.4	City-Hub Umbau	[€/St.]	150.000
1.2	Fördertechnik		
1.2.1	Horizontalförderer	[€/St.]	135.000
1.2.2	Vertikalförderer	[€/St.]	150.000
1.2.3	Lastübergabe/komplementäre Fördertechnik	[€/St.]	80.000
1.2.4	Lagertechnik	[€]	10.000.000
1.2.5	Sortiertechnik	[€]	5.000.000
1.2.6	E-LR Feinverteilung	[€/St.]	8.951
1.2.7	E-Lfw Feinverteilung	[€/St.]	52.307
1.3	Sonstiges		
1.3.1	Technische Ausstattung Tunnel (Elektro)	[€/m]	696
1.3.2	Gebäudetechnik City-Hub	[€/St.]	300.000

Tabelle 7-10: Übersicht der Einzelinvestitionskosten

Bauliche Investitionen:

- Tunneltrasse: Für den Bau der Tunneltrasse im bergmännischen Verfahren wird, entsprechend den Ermittlungen aus Abschnitt 5.1.4.10, ein Kostenfaktor von 22.537 €/m angesetzt, was dem oberen Grenzwert für die Variante mit einem Innendurchmesser von 4,5 m entspricht.
- Urban-Hub: Die Baukosten des Urban-Hubs wurden anhand von Vergleichsprojekten abgeschätzt. Insgesamt wird ein Kostenfaktor von 1443,84 €/m² BGF angesetzt (vgl. Abschnitt 5.2).
- City-Hub Tiefbau: Die Kosten für den Anschluss eines City-Hubs an den Tunnel belaufen sich gemäß Kostenschätzung auf ca. 1.240.000 € (vgl. Abschnitt 5.1.4.10).
- City-Hub Umbau: Pro City-Hub wird ein pauschaler Kostenansatz für die Umbaumaßnahmen in Höhe von 150.000 € berechnet (vgl. Abschnitt 5.3).

Fördertechnik:

- Horizontalförderer: Als Fördertechnik wird entsprechend der Materialflussplanung ein autonomer Routenzug für die Horizontalförderung eingesetzt. Die Kosten belaufen sich hierbei auf 135.000 € pro Fahrzeug (vgl. Abschnitt 4.2.5.1).
- Vertikalförderer: Die Kosten für einen Vertikalförderer wurden mit 150.000 € angesetzt (vgl. Abschnitt 4.2.5.2).
- Lastübergabe/sonstige komplementäre Fördertechnik: Die Investitionskosten für die Lastübergabe inkl. sonstiger komplementärer Fördertechnik belaufen sich gemäß Abschnitt 4.2.5.3 auf 80.000 €.
- Lagertechnik: Für die Lagertechnik werden Investitionskosten in Höhe von 10 Mio. € angenommen. Dieser Wert wird auf Basis der Angaben zu Investitionsvolumen und Lagerplätzen von Referenzprojekten abgeschätzt (Endres 2020, 2019; FUNKE Medien NRW GmbH 2020).
- Sortiertechnik: Für die Sortiertechnik wird vereinfacht ein Investitionsvolumen in Höhe von 5 Mio. € – also der Hälfte der Investitionskosten der Lagertechnik – angenommen.
- E-LR: Die Investitionskosten für E-LR stützen sich auf eine Datenbasis aus 27 unterschiedlichen E-LR. Die angenommenen Kosten von 8951 € pro E-LR geben den Mittelwert der Einträge wieder.
- E-Lfw: Die Investitionskosten für E-Lfw stützen sich ebenfalls auf eine Datenbasis aus 24 unterschiedlichen E-Lfw. Die angenommenen Kosten von 52.307 € pro E-Lfw geben den Mittelwert der Einträge wieder.

Sonstiges:

- Technische Ausstattung Tunnel (Elektro): Für die notwendigen Elektroinstalltionen im Tunnel wird ein Kostenwert von 696 €/m angesetzt.
- Gebäudetechnik City-Hub: Die Gebäudetechnik pro City-Hub wurde anhand vergleichbarer Projekte über Kostenkennwerte ermittelt (vgl. Abschnitt 9.3). Die Kosten belaufen sich hierbei auf ca. 300.000 € pro City-Hub.

Unter Einbeziehung der Input-Daten (vgl. Tabelle 7-9) ergeben sich folgende Kosten für die Gesamtinvestition in das UWT-System (vgl. Tabelle 7-11):

Nr.	Unterirdischer Warentransport	Anfangsinvestition	Nutzungsdauer
1.	Investitionen	322.406.000 €	
1.1	Bauliche Investitionen	235.933.000 €	
1.1.1	Tunneltrasse	211.851.000 €	80 Jahre
1.1.2	Urban-Hub	18.682.000 €	40 Jahre
1.1.3	City-Hub Tiefbau	4.800.000 €	80 Jahre
1.1.4	City-Hub Umbau	600.000 €	40 Jahre
1.2	Fördertechnik	78.670.000 €	
1.2.1	Horizontalförderer	44.955.000 €	12 Jahre
1.2.2	Vertikalförderer	2.550.000 €	14 Jahre
1.2.3	Lastübergabe/komplementäre Fördertechnik	1.040.000 €	12 Jahre
1.2.4	Lagertechnik	10.000.000 €	12 Jahre
1.2.5	Sortiertechnik	5.000.000 €	12 Jahre
1.2.6	E-LR Feinverteilung	1.325.000 €	7 Jahre
1.2.7	E-Lfw Feinverteilung	13.862.000 €	6 Jahre
1.3	Sonstiges	7.742.400 €	
1.3.1	Technische Ausstattung Tunnel (Elektro)	6.542.400 €	20 Jahre
1.3.2	Gebäudetechnik City-Hub	1.200.000 €	25 Jahre

Tabelle 7.11: Darstellung der Investitionskosten

Wie sich in Tabelle 7-11 zeigt, sind die baulichen Kosten für die Tunneltrasse mit ca. 212 Mio. € der mit Abstand größte Kostentreiber. Insgesamt entfallen über 65 % der Investitionskosten auf den Bau der Trasse. Ein weiterer Kostentreiber ist der Horizontalförderer in der Röhre. Zusammen mit dem Bau der Tunneltrasse macht dieser über 80 % der Gesamtinvestitionskosten aus.

7.3.5.2 Darstellung der jährlichen Betriebskosten

Die jährlichen Betriebskosten teilen sich entsprechend den Ergebnissen aus den vorherigen Kapiteln folgendermaßen auf:

Nr.	Unterirdischer Warentransport	Einheit	Einzelkosten
2.	Jährliche Betriebskosten		
2.1.	Fördermittel		
2.1.1	Horizontalförderer Betrieb	[€/km]	0,14
2.1.2	Vertikalförderer Betrieb	[€/km]	0,56
2.1.3	Feinverteilung	[€/km]	1,54
2.2	Mietkosten		
2.2.1	Urban-Hub Mietkosten	[€/m ² /Monat]	6,73
2.2.2	City-Hub Mietkosten	[€/m ² /Monat]	14,67
2.3	Personal des Anlagebetriebs		
2.3.1	Personal Urban-Hub	[€/h]	25,00
2.3.2	Personal City-Hub	[€/h]	25,00
2.4	Gebäude Betrieb und Wartung		
2.4.1	Urban-Hub Wartung und Betrieb	[€/m ²]	13,00
2.4.2	City-Hub Wartung und Betrieb	[€/m ²]	13,00
2.4.3	Tunnel Unterhaltungskosten	[€/m]	204,00

Tabelle 7-12: Übersicht der Betriebskosten

Fördertechnik:

- Horizontalförderer: Als Fördertechnik wird entsprechend der Materialflussplanung ein autonomer Routenzug für die Horizontalförderung eingesetzt. Die Betriebskosten belaufen sich hierbei gemäß Abschnitt 4.2.5.1 pro Fahrzeug auf 0,141 €/km.
- Vertikalförderer: Die Betriebskosten für einen Vertikalförderer wurden mit 0,556 €/km angesetzt (vgl. Abschnitt 4.2.5.2).
- Feinverteilung: Die Transportkosten teilen sich im Durchschnitt bei 0,81 €/km pro Palette für E-Lfw sowie 4,42 €/km pro Palette für E-LR auf 1,54 €/km pro Palette auf. Die finalen Transportkosten ergeben sich unter der Annahme, dass 20 % des Durchsatzes von E-LR abgedeckt werden (Russo et al. 2021).

Mietkosten:

- Urban-Hub: Basierend auf einer Recherche von Marktberichten zu Monatsmieten von Logistik- und Industrieimmobilien in Stuttgart werden monatliche Mietkosten von 6,73 €/m² angenommen (vgl. Abschnitt 7.3.3).
- City-Hub: Basierend auf Bodenrichtwerten in der Stuttgarter Innenstadt werden monatliche Mietkosten in Höhe von 14,67 €/m² angenommen (vgl. Abschnitt 7.3.3).

Personal des Anlagenbetriebs:

- Betriebspersonal: Die Kosten für das Betriebspersonal sind bereits anteilig in den Betriebskosten für die jeweilige Fördertechnik enthalten (vgl. Abschnitt 4.2.5).
- Urban-Hub: Als Referenz für die Personalkosten wird der Paketbotenverdienst mit Tarifbindung genommen. Dieser lag 2017 nach Nier (2019) bei einem Jahresbrutto von 38.928 €. Bei 223 Arbeitstagen im Jahr und sieben Arbeitsstunden pro Tag ergibt sich ein Bruttostundenlohn von 25 €.
- City-Hub: siehe Personalkosten Urban-Hub.

Gebäude, Betrieb und Wartung:

- Urban-Hub: Für die Betriebskosten des Urban-Hubs wurden, gemäß Bewertungsleitfaden der DGNB, Kosten in Höhe von 13 €/m² angenommen.
- City-Hub: Für die Betriebskosten eines City-Hubs wurden analog zum Urban-Hub Kosten in Höhe von 13 €/m² angenommen.
- Unterhaltungskosten Tunnel: Die Unterhaltungskosten für den Tunnel belaufen sich gemäß ABBV des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung auf 204 €/m.

Unter Einbeziehung der Input-Daten (vgl. Tabelle 7-9) ergeben sich folgende Gesamtkosten pro Jahr für den Betrieb des UWT-Systems (vgl. Tabelle 7-13):

Nr.	Unterirdischer Warentransport	Gesamtbetriebskosten p. a.
2.	Jährliche Betriebskosten	13.920.000 €
2.1.	Fördermittel	7.078.000 €
2.1.1	Horizontalförderer Betrieb	1.160.000 €
2.1.2	Vertikalförderer Betrieb	39.000 €
2.1.3	Feinverteilung	5.865.000 €
2.2	Mietkosten	2.541.000 €
2.2.1	Urban-Hub Mietkosten	1.044.000 €
2.2.2	City-Hub Mietkosten	1.497.000 €
2.3	Personal des Anlagebetriebs	2.130.000 €
2.3.1	Personal Urban-Hub	1.522.000 €
2.3.2	Personal City-Hub	608.000 €
2.4	Gebäude Betrieb und Wartung	2.191.000 €
2.4.1	Urban-Hub Wartung und Betrieb	167.000 €
2.4.2	City-Hub Wartung und Betrieb	110.000 €
2.4.3	Tunnel Unterhaltungskosten	1.914.000 €

Tabelle 7-13: Darstellung der jährlichen Betriebskosten

Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich in Summe auf ca. 14 Mio. €. Mit jährlichen Kosten von 5,8 Mio. € haben die Transportkosten in der Feinverteilung einen großen Anteil an den jährlichen Betriebskosten. Exkludiert man die Betriebskosten für die Feinverteilung und betrachtet man ausschließlich die Betriebskosten für den Transport zwischen Urban-Hub und City-Hub, belaufen sich diese auf ca. 8,1 Mio. € pro Jahr. Entsprechend wird das Ergebnis der Investitionsberechnung getrennt nach ‚vorletzte Meile‘ und ‚letzte Meile‘ dargestellt (vgl. Abschnitt 7.3.5.3).

7.3.5.3 Ergebnis der Investitionsberechnung

Das Ergebnis der Break-even-Analyse hängt bei einer dynamischen Herangehensweise stark davon ab, nach welcher Zeit die Einnahmen pro Palette bzw. pro Paket die Kosten gedeckt haben sollen. Da je nach Betreiber (vgl. Abschnitt 7.1) unterschiedliche Zeithorizonte relevant sind, wurde in der folgenden Tabelle der ermittelte Mindestertrag pro Palette nach 10, 20 bzw. 40 Jahren dargestellt. Die Erträge sind hierbei zusätzlich jeweils nach Transport von Urban-Hub zu City-Hub (‚vorletzte Meile‘) und Feinverteilung (‚letzte Meile‘) aufgliedert (vgl. Tabelle 7-14):

Erforderlicher Ertrag pro Palette	10 Jahre	20 Jahre	40 Jahre
Vorletzte Meile	26,14 €	18,11 €	14,16 €
Letzte Meile	5,72 €	5,24 €	5,22 €
Gesamt	31,86 €	23,35 €	19,38 €

Tabelle 7.14: Ergebnis der Break-even-Berechnung je Betrachtungszeitraum

Es wird angenommen, dass sich die Maßnahme aus Investoren- und Betreibersicht nach spätestens 10 bis 20 Jahren amortisiert haben sollte, während aus Sicht der LHS auch ein längerer Zeithorizont von 20 bis 40 Jahren akzeptabel sein kann. Die erforderlichen Erträge pro Palette, um das UWT-System kostendeckend betreiben zu können, belaufen sich je nach Amortisationsdauer zwischen 20 und 32 € für den Gesamtprozess. Exkludiert man die Feinverteilung auf der ‚letzten Meile‘ und betrachtet dementsprechend lediglich den Prozess der vorletzten Meile, also des Transports von Urban-Hub zu City-Hub, wären hierfür Erträge von mindestens 14 bis 26 € pro Palette notwendig.

7.3.6 Fazit der ökonomischen Betrachtung

Die **Investitionskosten** für die Umsetzung eines UWT-Systems in der LHS belaufen sich auf ca. 322 Mio. €. Die jährlichen **Betriebskosten** liegen bei etwa 13,9 Mio. €, wobei ca. 5,8 Mio. € für die personalintensive Feinverteilung auf der ‚letzten Meile‘ veranschlagt sind. Je nach angestrebter Amortisationsdauer (10, 20 oder 40 Jahre) müsste demnach ein **Ertrag von 20 bis 32 €** pro Palette realisiert werden, um den Break-even-Point zu erreichen.

Gemäß (Precht und Wilde 2021) liegen die marktüblichen Frachtkosten für den Gesamtprozess, also Vor-, Haupt- und Nachlauf, zwischen 25 und 50 € je Palette. Somit lässt sich festhalten, dass das UWT-System – trotz vergleichsweise konservativer Annahmen bei der Kostenermittlung – auf lange Sicht **wirtschaftlich betreibbar** ist. Für einen kurzfristig denkenden Betreiber können die hohe Investitionssumme und die lange Amortisationsdauer jedoch ein zu hohes Risiko darstellen.

7.4 Potenziale

7.4.1 Anbindung Rosensteinquartier

Infolge des S21-Projekts bietet sich auf den freiwerdenden Gleisflächen die Chance, einen neuen Stadtteil zu entwickeln. Im Projekt ‚Stuttgart Rosenstein‘ wird dieser neue Stadtteil geplant. Die urbanen Strukturen sollen hier neu gedacht werden. Dies betrifft auch die urbane Logistik. In diesem Zusammenhang wurde von der IHK bereits eine Studie herausgegeben, in der neue Ideen zur zukünftigen Warenversorgung des Rosensteinviertels vorgestellt werden (IHK Region Stuttgart 2020). Auch die unterirdische Warenversorgung wird dort als Idee aufgegriffen. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird das Rosensteinquartier lediglich perspektivisch einbezogen, da für eine fundierte Untersuchung zum Zeitpunkt der Erhebungen im Jahr 2021 der Rahmenplanprozess noch am Anfang stand und somit die Datenlage noch nicht finalisiert war. Die perspektivische Untersuchung beschränkt sich im Folgenden auf die Erweiterungsmöglichkeit und die Anbindung an die bestehende Trasse aus baulicher sowie aus logistischer Sicht.

Trassenplanung

Um das Rosensteinquartier an die bisherige Trasse anzuschließen, wurden zwei Alternativen betrachtet. Zum einen kommt ein Abzweig unter Stuttgart-Ost infrage. Da dabei im Bereich des oberen Schlossgartens eine Kernzone des Mineralwasserschutzgebiets zu queren ist, wird diese Option auf Rat des Amtes für Umweltschutz nicht weiter betrachtet. Die zweite Variante ist eine 1,9 km lange Fortsetzung der Trasse am Bahnhof. Abbildung 7.3

zeigt in Orange die Route und die angrenzende Fläche des Rosensteinquartiers. Im Bereich Jäger- und Heilbronner Straße unterqueren bereits die Stadtbahn, ein Fernheiz- und Medienkanal den Tiefbahnhof. Am Bahnhof sind die S21-Trassen im Bereich des Anschlussbauwerks (Bauwerk Nord) zu queren. Dabei wird ein paralleler Verlauf zur Stadtbahnlinie U12 gewählt. Dabei ist zu beachten, dass diese Trasse zunächst unter mehreren Privatflurstücken verläuft und nach der Bibliothek an die Oberfläche kommt. Aufgrund der starken topographischen Unterschiede würde die vorgeschlagene Routenvariante sehr tief verlaufen (Zahn, Volker (LHS) 2023). Unter der Nordbahnhof- und Rosensteinstraße wird das Rosensteinquartier im Bereich der künftigen S-Bahnhaltestelle Mittnachtstraße erreicht. Um den S-Bahn-Tunnel an dieser Stelle zu unterqueren, ist eine ausreichende Tiefenlage notwendig. Es wird empfohlen das Queren am Bahnhof sowie weitere mögliche Endpunkte der Tunneltrasse im Rosensteinquartier nach Vorliegen der finalen Rahmenplanung vertieft zu untersuchen und zu bewerten. Als mögliche Endpunkte kommen dabei geplante Quartiershubs oder Parkgaragen im Quartier infrage (Zahn, Volker (LHS) 2023).

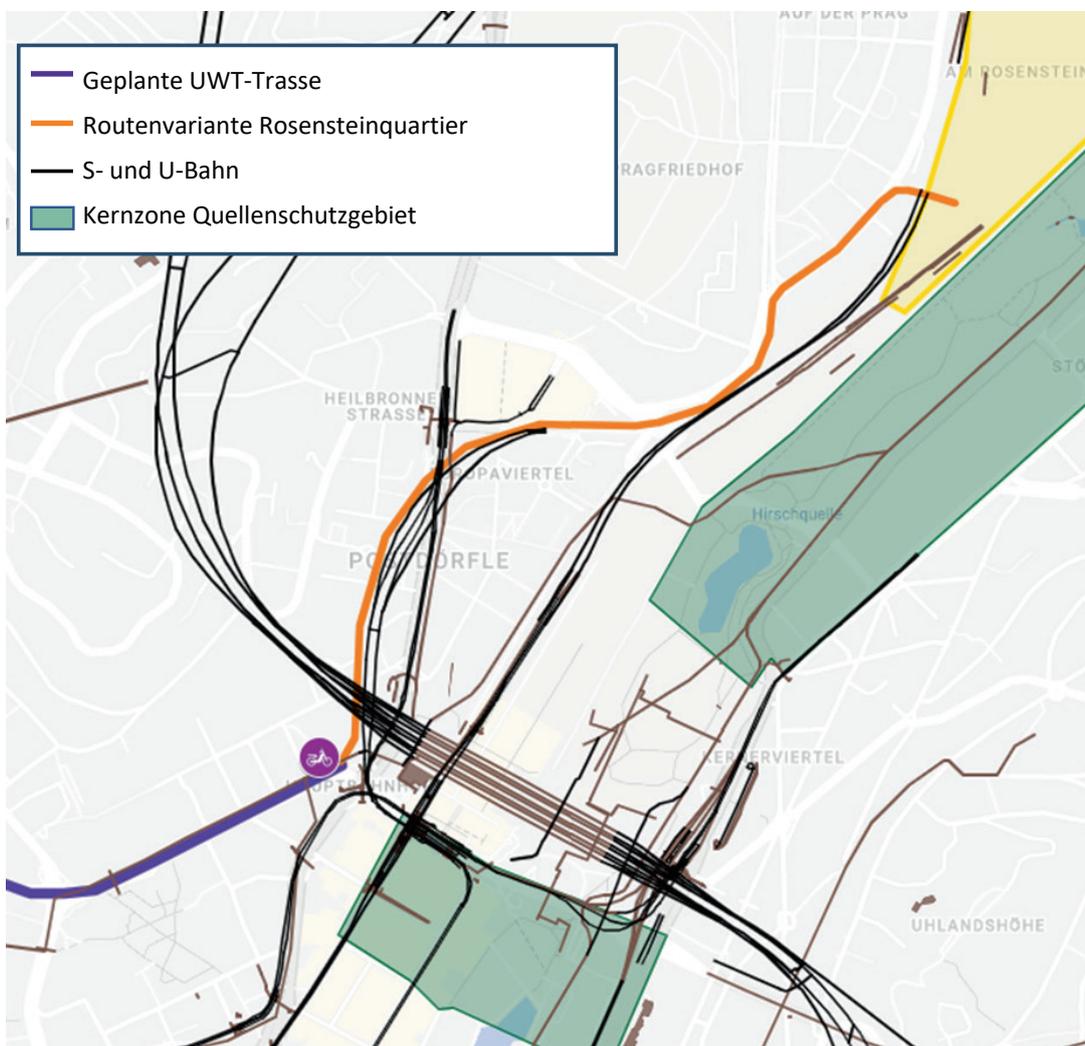


Abbildung 7.3: Routenvariante Rosensteinquartier

Logistische Betrachtung

Nach Rücksprache mit Vertretern aus der KEP- und Logistik-Wirtschaft zum Thema Rosensteinviertel wurde bestätigt, dass zu diesem Zeitpunkt, basierend auf der Verteilung der erwarteten Bewohnerzahlen und Gewerbetreibenden, keine belastbaren Aussagen zu erwarteten Sendungsströmen im Rosensteinviertel getätigt werden können. Aus diesem Grund wurde eine grobe Abschätzung des Güteraufkommens im Rosensteinquartier aufbauend auf den Ergebnissen der Ist-Analyse (vgl. Abschnitt 2.4) vorgenommen. Dazu wird die Kennzahl Palette pro Hektar abgeleitet und auf die Fläche des Rosensteinquartiers

angewandt. Bei diesem Vorgehen wird unterstellt, dass die Verteilung der Abnehmer im Rosensteinquartier der Verteilung der Abnehmer im Einzugsbereich entspricht. Mit dem erwarteten Palettenaufkommen von 5 156 Paletten pro Tag im Einzugsbereich und einer Fläche von ca. 2,275 ha im Einzugsbereich³⁷ ergibt sich eine Kennzahl von 2,27 Paletten pro ha pro Tag. Das Rosensteinquartier wird mit einer Fläche von 85 ha geplant (LHS o.J.). Daraus ergibt sich ein erwartetes Palettenaufkommen von 193 Paletten pro Tag. Aus den Ergebnissen der Standortplanung zur Basislösung geht hervor, dass die geplanten City-Hubs einen minimalen *täglichen Palettenumschlag von 812 aufweisen. Daraus lässt sich schließen, dass für eine Anbindung des Rosensteinquartiers an das UWT-System noch weitere Abnehmer von dort aus abgedeckt werden müssten. Aufgrund der räumlichen Nähe ist eine Teilabdeckung von Stuttgart-Ost und des Europaviertels denkbar. Nach Konkretisierung der Rahmenplanung für das Rosensteinquartier wird auf aktueller Datenbasis eine erneute Überprüfung der logistischen Betrachtung empfohlen.

Ökonomische Bewertung

Aus den Ergebnissen der ökonomischen Bewertung ergibt sich bei Erträgen von 23,41 € pro Palette ein Ertragspotenzial von 1.378.030 € pro Jahr. Die Anbindung des Rosensteinquartiers erhöht die Kosten aufgrund der Erweiterung der Tunneltrasse um 1,9 km sowie der Hinzunahme eines zusätzlichen City-Hubs. Diese Anpassung verursacht zusätzliche Investitionskosten von 45.965.429 € und zusätzliche jährliche Betriebskosten von 1.012.679 €. Bei Erträgen von 23,41 € pro Palette und einer statischen Investitionsrechnung müssten täglich ca. 464 Paletten am City-Hub im Rosensteinviertel umgeschlagen werden, damit nach 20 Jahren der Break-even-Point erreicht wird. Daraus lässt sich folgern, dass eine isolierte Betrachtung des ökonomischen Potenzials des Rosensteinquartiers eine Anbindung an das UWT-System nicht rechtfertigt. Durch den Einbezug weiterer angrenzender Stadtteile und ihrer Abnehmer müssten zusätzlich 271 Paletten pro Tag am City-Hub im Rosensteinquartier umgeschlagen werden. Nach Konkretisierung der Rahmenplanung für das Rosensteinquartier und einer vertieften Trassenplanung innerhalb des Quartiers zu möglichen alternativen Endpunkten an Quartiershubs oder Parkgaragen, wird eine erneute Überprüfung der ökonomischen Bewertung empfohlen.

Kostenart	Tunneltrasse	City-Hub	Summe
Investition	44.315.429 €	1.650.000 €	45.965.429 €
Betrieb	386.937 €	625.742 €	1.012.679 €

Tabelle 7-15: Zusätzliche Kosten für die Anbindung des Rosensteinquartiers

7.4.2 Warentransport aus der Stadt

In dieser Studie wurde zunächst ausschließlich der Warentransport in die Stadt zur Abschätzung des Mengengerüsts und des daraus resultierenden Potenzials eines UWT-Systems in Stuttgart berücksichtigt. Ein zusätzliches Potenzial liegt in der Nutzung des Systems für Warenströme aus der Stadt. Eine eingehende Untersuchung dieses Potenzials sollte Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein. Im Folgenden werden die Hauptaspekte einer parallelen Nutzung des UWT-Systems für eingehende und ausgehende Waren aufgeführt.

Ein naheliegendes Beispiel für den über das UWT-System abgewickelten Transport aus der Stadt ist der Abfalltransport bzw. die Müllentsorgung. Allein durch die Hinzunahme der Branche ‚Sekundärrohstoffe, kommunale Abfälle und sonstige Abfälle (14)‘ ergibt sich, nach der in Abschnitt 2.3.2 vorgestellten Logik, eine Steigerung der insgesamt zu befördernden Paletten von 57,46 % auf 8128 Paletten pro Tag (Kraftfahrt-Bundesamt 2020). Speziell für den Transport von Abfällen über das UWT-System besteht jedoch die Herausforderung der Konsolidierung und Verpackung der Waren, sodass daraus eine von E-LR und E-Lfw transportierbare Einheit entsteht. Dies führt zu weiteren Anforderungen und

Spielzeiterhöhungen in der Feinverteilung, die berücksichtigt werden müssen. Aus Sicht der LHS als Betreiber des UWT-Systems wäre eine weitere kommunale Nutzung der UWT-Infrastruktur vorteilhaft. Sollte sich das UWT-System allerdings in der Hand eines privaten Investors befinden, müssen Anreize geschaffen werden.

Ein weiteres Potenzial für Warenströme aus der Stadt, die über das UWT-System abgewickelt werden könnten, bietet die direkte Anbindung von Krankenhäusern. Beispielsweise führt die in Abschnitt 3.3 vorgeschlagene Trassenführung am Diakonie-Klinikum und am Katharinenhospital vorbei.

Prinzipiell ist der Rücktransport mit der vorhandenen Fördertechnik möglich (Vertikalförderer und Horizontalförderer). Lediglich bei der Lastübergabe – sowohl in der Feinverteilung als auch an Vertikal- und Horizontalförderer – muss das Konzept überarbeitet werden, sodass die Paletten in beide Richtungen verladen werden können und keine zusätzlichen Verzögerungen auftreten. Dies hätte negative Auswirkungen auf die Spielzeiten und damit auf den erreichbaren Durchsatz des Gesamtsystems.

Das aktuelle City-Hub-Konzept sieht keine Sortierung der Waren im City-Hub vor. Daraus resultiert die restriktive Voraussetzung, dass nur vorsortierte Ware über das UWT-System aus der Stadt transportiert werden kann. Weitere Anforderungen an die Fördertechnik bzw. den Palettenumschlag werden somit vermieden.

7.5 Eingehende quantitative Analyse

7.5.1 Sensitivität der Ist-Analyse

Die in Abschnitt 2.4.1 ermittelte Palettenanzahl unterliegt einigen Annahmen, die zu den in Abschnitt 2.3.3 beschriebenen Limitationen bzgl. der Genauigkeit des resultierenden Mengengerüsts führen. Durch die Variation einiger wesentlicher Parameter soll nachfolgend gezeigt werden, wie sich die resultierende durchschnittliche Palettenanzahl pro Tag verändert.

Im Folgenden wird die Variation des prozentualen Anteils von Handwerker- und Umzugsverkehr (vertikal) über die Variation des prozentualen Anteils von Durchfahrtverkehr (horizontal) am Gesamtgüterverkehr dargestellt. Die in Kapitel 2.4 ermittelte tägliche Palettenanzahl von 5156 (in Tabelle 7-16 und Tabelle 7-17 in Fett) dient dabei als Ausgangsgröße der Variation.

Variation des Anteils des Handwerkerverkehrs	Variation des Anteils des Durchfahrtverkehrs								
	-20%	-15%	-10%	-5%	60%	+5%	+10%	+15%	+20%
+100%	5.958	5.614	5.271	4.927	4.583	4.239	3.896	3.552	3.208
+75%	6.144	5.790	5.435	5.081	4.726	4.372	4.017	3.663	3.308
+50%	6.330	5.965	5.600	5.235	4.870	4.504	4.139	3.774	3.409
+25%	6.517	6.141	5.765	5.389	5.013	4.637	4.261	3.885	3.509
10%	6.703	6.316	5.929	5.543	5.156	4.769	4.383	3.996	3.609
-25%	6.889	6.492	6.094	5.697	5.299	4.902	4.504	4.107	3.709
-50%	7.075	6.667	6.259	5.851	5.442	5.034	4.626	4.218	3.810
-75%	7.261	6.842	6.424	6.005	5.586	5.167	4.748	4.329	3.910
-100%	7.448	7.018	6.588	6.159	5.729	5.299	4.870	4.440	4.010

Tabelle 7-16: Auswirkung der Variation des Handwerker- und Umzugsverkehrs (vertikal) sowie des Durchfahrtverkehrs (horizontal) auf die erwartete tägliche Palettenanzahl

Tabelle 7-17 zeigt die Variation der gesamten Güterverkehrszahlen gegenüber einer Variation der als relevant eingestuften Branchen bzw. der Abnehmer des UWT-Systems.

Variation der relevanten Branchen	Variation	Variation der gesamten Güterverkehrszahlen										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	IST	+10%	+20%	+30%	+40%	+50%
Abteilungen laut Güternomenklatur NST-2007												
Ist³⁸ mit 09³⁹, 13⁴⁰, 14⁴¹	+116%	5.573	6.688	7.803	8.917	10032	11147	12261	13376	14491	15605	16720
Ist mit 13, 14	+61%	4.158	4.990	5.822	6.653	7.485	8.316	9.148	9.980	10811	11643	12475
Ist mit 14	+57%	4.060	4.872	5.684	6.496	7.309	8.121	8.933	9.745	10557	11369	12181
Ist	17,58%	2.578	3.094	3.609	4.125	4.640	5.156	5.672	6.187	6.703	7.218	7.734
Ist ohne 06.2⁴²	-13%	2.241	2.690	3.138	3.586	4.035	4.483	4.931	5.379	5.828	6.276	6.724
Nur 04⁴³, 08.5⁴⁴, 08.6⁴⁵, 15⁴⁶	-26%	1.918	2.301	2.685	3.068	3.452	3.835	4.219	4.602	4.986	5.369	5.753
Nur 04, 15	-31%	1.769	2.123	2.477	2.831	3.185	3.538	3.892	4.246	4.600	4.954	5.308
Nur 15	-86%	350	420	490	560	630	700	770	840	910	980	1.050

Tabelle 7-17: Auswirkung der Variation der relevanten Branchen (vertikal) sowie der gesamten Güterverkehrszahlen (horizontal) auf die erwartete tägliche Palettenanzahl

Anhand Tabelle 7-16 ist zu erkennen, dass sich eine Abweichung des Anteils des Durchfahrtverkehrs deutlich stärker auf das Gesamtergebnis auswirkt als eine Abweichung des Anteils des Handwerker- und Umzugsverkehrs (siehe Kapitel 2). Tabelle 7-17 zeigt, dass insbesondere die Miteinbeziehung der Branchen mit Bezug zu Sekundärrohstoffen und Ab-

38
Relevante Branchen im Verkehrsmodell nach Abschnitt 2.3.2.1.

39
Sonstige Mineralerzeugnisse (09)

40
Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse (13)

41
Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle (14)

42
Papier, Pappe und Waren daraus (06.2)

43
Nahrungs- und Genussmittel (04)

44
Pharmazeutische und paracheimische Erzeugnisse einschließlich Pestizide und andere agrochemische Erzeugnisse (08.5)

45
Gummi- oder Kunststoffwaren (08.6)

46
Post, Pakete (15)

fällen (NST-2007 Abteilung 14) großes Potenzial hat. Allein durch die Miteinbeziehung dieser Branchen würde sich die erwartete Palettenanzahl unter den getroffenen Annahmen im Verkehrsmodell um mehr als 50 % erhöhen. Die Ergebnisse verdeutlichen außerdem, dass eine Beschränkung der Abnehmer des Systems auf einzelne Branchen sehr geringes Potenzial hat. Für die KEP-Branche (NST-2007 Abteilung 15) als exklusiven Abnehmer des Systems liegt das Potenzial, selbst bei einer deutlichen Unterschätzung des Gesamtgüterverkehrs in Stuttgart um ein Drittel, lediglich bei durchschnittlich 1 050 Paletten pro Tag. Dieses Ergebnis legt nahe, dass für den wirtschaftlichen Betrieb des UWT-Systems auf einen Branchenmix gesetzt werden muss. Dies bedeutet auch, dass die technischen Voraussetzungen geschaffen werden müssen, damit die Waren unterschiedlicher Abnehmer bzw. Branchen mit dem UWT-System transportiert werden können.

7.5.2 Sensitivität der ökonomischen Bewertung

Zur Abschätzung des Risikos bei der Investition folgt eine Sensitivitätsanalyse der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Hierbei wird der Einfluss von veränderlichen (und teils ungewissen) Eingangsdaten auf die Ergebnisgrößen des gesamten Projektes untersucht.⁴⁷

Bei der Durchführung wird jeweils ein Parameter verändert und geprüft, wie empfindlich die Ergebnisgrößen auf diese Veränderung reagieren. Hierzu wurden die Variablen jeweils in einem Bereich von +/- 50 % verändert, um optimistische bzw. pessimistische Szenarien darzustellen. Zudem wird geprüft, ab welchem Zeitpunkt der Zielwert erstmals einen kritischen Wert unter- bzw. überschreiten wird. Variablen mit einer hohen Sensitivität, d. h. großen Zielwertverschiebungen bei Veränderung einer Systemvariablen, sind verstärkt zu beobachten. Weisen Variablen eine niedrige Sensitivität auf, so ergeben sich dort eventuell zusätzliche Einsparpotenziale.

Die Änderungen der folgenden Variablen wurden in der Sensitivitätsanalyse untersucht:

- Investitionskosten +/- 50 %
- Jährliche Betriebskosten +/- 50 %
- Preis pro Palette +/- 50 %

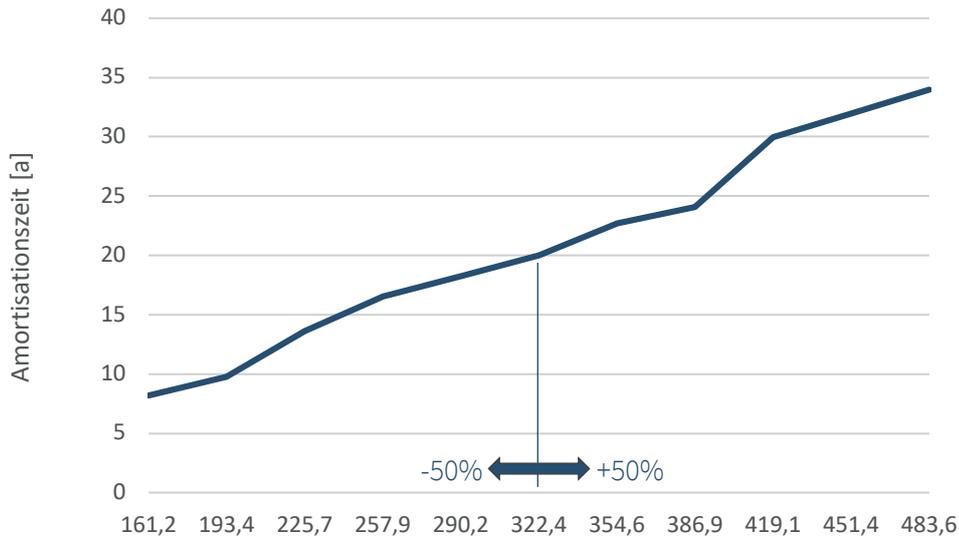
Die nachfolgenden Betrachtungen wurden allesamt bei einem Break-even-Point nach 20 Jahren (vgl. Abbildung 7.6) durchgeführt, d. h. bei einem Preis pro Palette von 23,41 €. Für die Interpretation der Ergebnisse wurde die Amortisationszeit gewählt.

7.5.2.1 Investitionskosten +/- 50 %

Als erste Variable werden die Investitionskosten in Höhe von ca. 322 Mio. € untersucht. Dabei lässt sich feststellen, dass die Veränderung der Investitionssumme eine moderate und verhältnismäßig lineare Sensitivität aufweist (vgl. Abbildung 7.4). Durch eine Einsparung von 50 % der Investitionskosten ließe sich eine Amortisationszeit von 8,2 Jahren erzielen. Bei einer Erhöhung der Investitionskosten um 50 % würde der Break-even-Point erst nach 34 Jahren erreicht.

Bei der Betrachtung dieser und aller weiterer Graphen fällt zudem auf, dass die Änderung nicht linear ist. Dies hängt damit zusammen, dass nach gewissen Zeitspannen die Ersatzinvestitionen für einzelne Systemkomponenten fällig werden und das Ergebnis dementsprechend beeinflussen.

47
Straub/Sperling
(2016), S. 83



Als Zweites wird in der Analyse die Veränderung der jährlichen Betriebskosten von 13,9 Mio. € um +/- 50 % betrachtet. Diese Variable besitzt im Vergleich zu den Investitionskosten eine deutlich größere Sensitivität für die Investitionsentscheidung (vgl. Abbildung 7.5). Die Reduzierung der Betriebskosten um 50 % auf ca. 6,9 Mio. € bewirkt eine Verringerung der Amortisationszeit auf insgesamt 14,3 Jahre. Durch eine Erhöhung der Betriebskosten um 50 % auf 20,9 Mio. € steigt die Amortisationsdauer jedoch überproportional auf 44 Jahre an.

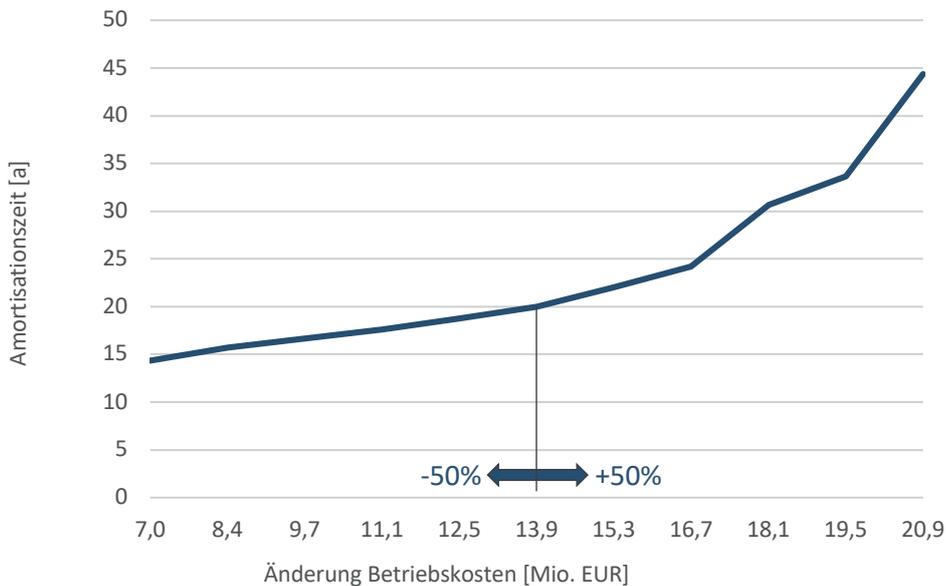


Abbildung 7.5: Sensitivitätsanalyse; Änderung der Betriebskosten

7.5.2.3 Preis pro Palette +/- 50 %

Die deutlichste Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit hat der Preis pro Palette (vgl. Abbildung 7.6). Durch eine Erhöhung des Erlöses pro Palette um ca. 50 % auf über 32 € wird eine Amortisationsdauer von unter zehn Jahren erreicht (vgl. Abschnitt 7.3.5.3).

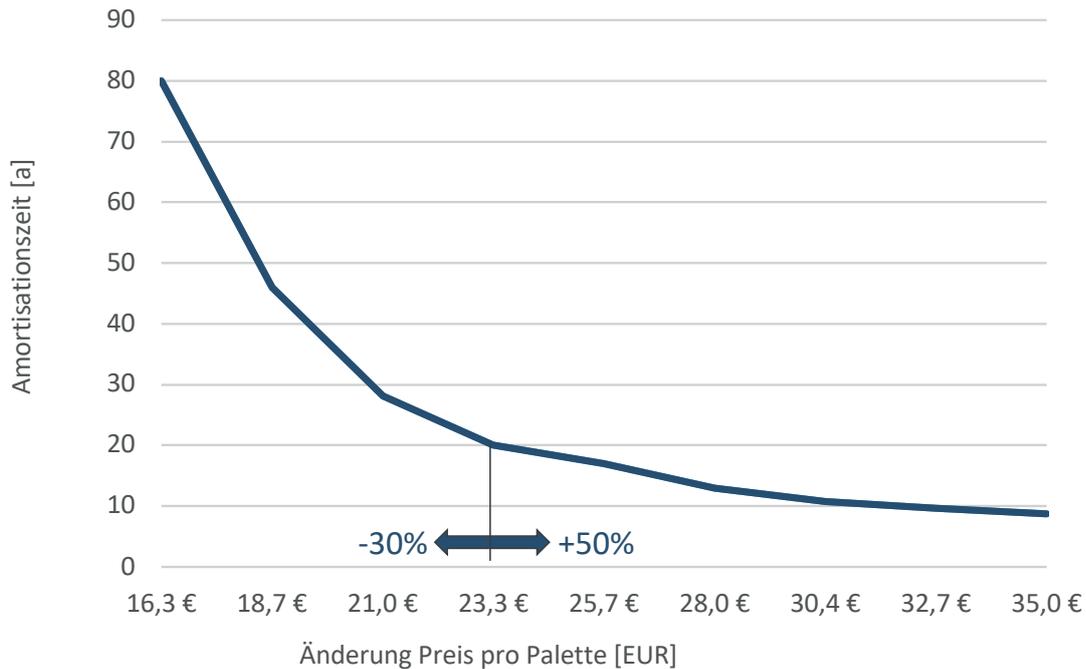


Abbildung 7.6: Sensitivitätsanalyse; Änderung des Preises pro Palette

7.5.3 Güterverkehrsentwicklung

Die Güterverkehrszahlen ab 2001 des KBA (Kraftfahrt-Bundesamt 2021) werden genutzt, um im Rahmen einer linearen Regression auf die Entwicklung des Güterverkehrs für die kommenden Jahre zu schließen. Das Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,5337$ sagt dabei aus, dass der bisherige Verlauf zwar starken Schwankungen (z. B. Wirtschaftskrise 2008 und Covid-19-Pandemie 2020) unterlag, dass jedoch insgesamt ein positiver Trend angenommen werden kann.

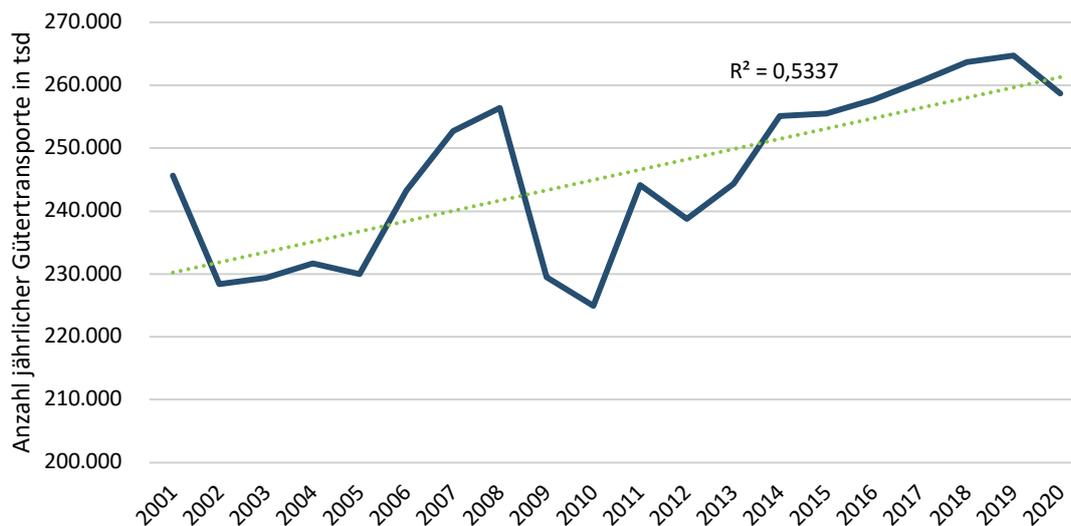


Abbildung 7.7: Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens

Durch eine einfache Fortführung des linearen Verlaufs erhält man das prognostizierte Güterverkehrsaufkommen für die nächsten Jahre, siehe Abbildung 7.8.

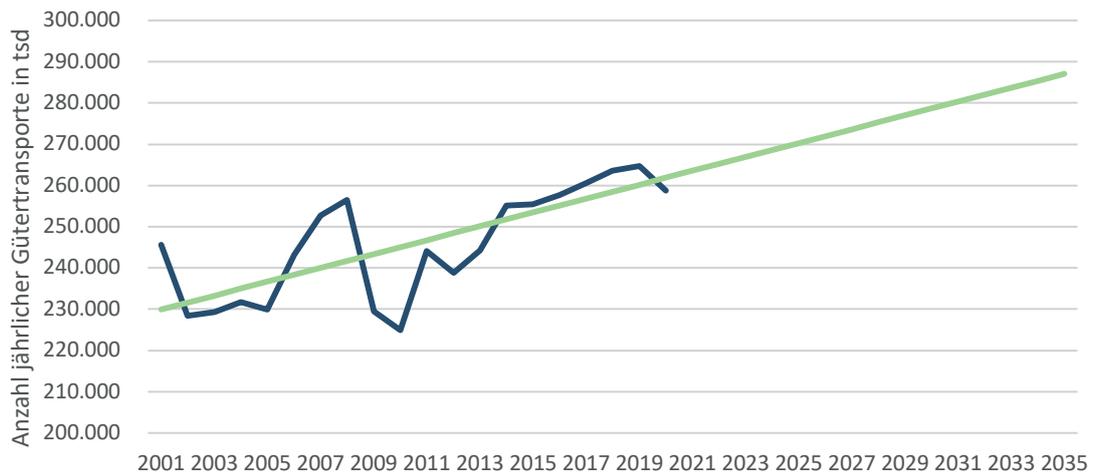


Abbildung 7.8: Prognose des Güterverkehrsaufkommens

Vor dem Hintergrund des Prognosemodells ergibt sich für 2030 eine Erhöhung des Güterverkehrsaufkommens um 5,27 % und für 2035 um 8,44 % gegenüber des Ausgangsjahrs 2019. Mit der Annahme einer direkten Abhängigkeit zwischen dem Güterverkehrsaufkommen und der erwarteten Palettenanzahl (siehe Kapitel 2) würde sich die Palettenanzahl nach einer 20-jährigen Nutzungsdauer im Jahr 2055 um 21,14 % gegenüber 2019 erhöhen.

Jahr	Steigerung des Güterverkehrs	Palettenanzahl p. d.	Investitionskosten [€]	Steigerung der Investitionskosten	Jährliche Betriebskosten [€/a]	Steigerung der Betriebskosten
2019	-	5.156	322.406.555	-	13.918.354	-
2035	+ 8,44 %	5.591	328.338.836	1,84%	14.660.202	5,33%
2055	+ 21,14 %	6.246	338.752.567	5,07%	15.875.275	14,06%

Tabelle 7-18: Einfluss der Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens auf das Mengengerüst des UWT-Systems

Die obenstehende Tabelle legt dar, dass bei Steigerungen des Güterverkehrs neben der Anzahl der Paletten pro Tag auch die Investitions- und die jährlichen Betriebskosten steigen. Um die erwartete Palettenanzahl von 6246 Paletten pro Tag im Jahr 2055 bewältigen zu können, müsste das Materialflusssystem unter Berücksichtigung der stündlichen und wöchentlichen Schwankungen (siehe Abschnitt 4.3.4.1) bereits heute auf den Betriebspunkt von 9112 Paletten pro Tag ausgelegt werden. Dazu müsste die bisher angenommene Lastübergabe am Urban-Hub ebenfalls angepasst und erweitert werden, um den Grenzdurchsatz im Tunnel nicht zu überschreiten. Bei der Berechnung der Investitions- und Betriebskosten ist der durch Lastschwankungen abgeleitete erhöhte Betriebspunkt bereits berücksichtigt.

7.5.4 Fazit der quantitativen Analyse

Durch die Variation der zentralen Annahmen im Verkehrsmodell konnte gezeigt werden, dass das Gesamtergebnis bei Veränderungen des Durchfahrtsverkehrs wesentlich sensibler reagiert als bei Veränderungen des Handwerker- und Umzugsverkehrs. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Beschränkung auf einzelne Branchen (bspw. KEP) wenig erfolgversprechend ist, da erst durch den Einbezug mehrerer Branchen ein lohnendes Mengengerüst entsteht. Dies wird insbesondere dann klar, wenn berücksichtigt wird, dass aktuell mit einer brancheninternen Beteiligung von 100 % gerechnet wird.⁴⁸ Insbesondere besteht beim Einbezug von Sekundärrohstoffen, kommunalen Abfällen und sonstigen Abfällen ein großes Potenzial bei einer Beförderung durch das UWT-System. Diese Einbe-

⁴⁸ Bei der Deklaration einer Branche als ‚relevant‘ wird angenommen, dass alle Abnehmer dieser Branche zu 100 % an das UWT-System angebunden sind

ziehung und dadurch entstehende Anforderungen an das System, sollten Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein.

Durch die Variation der Investitionskosten, der Betriebskosten und des veranschlagten Preises pro Palette konnte eine Sensitivitätsanalyse zur ökonomischen Bewertung des UWT-Systems durchgeführt werden. Als Vergleichswert wird dabei stets die Amortisationsdauer des Gesamtsystems herangezogen. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sich die Amortisationsdauer bei Erhöhung der Investitionskosten linear und bei Erhöhung der Betriebskosten proportional verhält. Eine Verringerung der Betriebskosten hat folglich jedoch eine deutlich geringere Auswirkung auf die Amortisationsdauer als eine Verringerung der Investitionskosten. Ebenfalls in einem proportionalen Verhältnis zur Erhöhung der Amortisationsdauer steht eine Verringerung des Preises pro Palette. Die marktüblichen Preise von 25 bis 50 € pro Palette (Precht und Wilde 2021) lassen jedoch vermuten, dass auch Preise über den angenommenen 23,41 € pro Palette noch konkurrenzfähig wären.

Mit der Annahme einer linearen Entwicklung der Güterverkehrszahlen kann das zukünftige Güterverkehrsaufkommen der LHS näherungsweise prognostiziert werden. Die deutliche Erhöhung des Mengengerüsts hat Auswirkungen auf das UWT-System in Form erhöhter Investitions- und Betriebskosten. Ein Vergleich der prozentualen Steigerung der Palettenanzahl gegenüber den Investitions- und Betriebskosten zeigt jedoch, dass die erhöhten Gütermengen für ein erhöhtes Ertragspotenzial sprechen. Bei der Auslegung der Materialflusselemente fällt auf, dass der bisherige Grenzdurchsatz überschritten wird. Durch eine Erweiterung der Lastübergabe am Urban-Hub kann dieser jedoch angepasst werden. Die finale Auslegung des Materialflusssystem und eingehende Untersuchungen des tatsächlich zu erwartenden Mengengerüsts bis zur voraussichtlichen Einführung eines UWT-Systems in der LHS sind Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

8. Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist es, die Machbarkeit eines UWT-Systems für die LHS zu prüfen. Dabei wurde sowohl die technische Machbarkeit geprüft als auch eine ökologische und ökonomische Bewertung durchgeführt. Eine Ist-Analyse des Straßengüterverkehrs der LHS und das daraus resultierende Beförderungspotenzial für ein UWT-System bilden die Basis der Machbarkeitsstudie.

Im Rahmen der Ist-Analyse wurde durch das erstellte Verkehrsmodell ein Beförderungspotenzial für das UWT-System in Höhe von ca. 1.6 Mio. Paletten p. a. (ca. 5000 pro Tag) ermittelt. Diese Paletten werden zu 75 % mit Lieferwagen, zu 17 % mit Lkw und zu 8 % mit Lastzügen im Stadtgebiet transportiert. Das erstellte Abnehmermodell bestätigt das Beförderungspotenzial mit 11 % Abweichung. Somit schätzen zwei unabhängige Modelle ein ähnlich hohes Beförderungspotenzial ab. Dieses Beförderungspotenzial ließe sich nur dann voll ausschöpfen, sofern Anreize zur Nutzung des UWT-Systems geschaffen werden oder die konventionelle Beförderung von Gütern in die LHS erheblichen Einschränkungen unterliegen würde. Die meisten Güter kommen von der B10 und B14 aus dem Südosten und Nordosten in die LHS. Dies entspricht 486.205 Paletten p. a., was 31 % des Beförderungspotenzials ausmacht.

Mithilfe einer Isochronenkarte wurden potenzielle Standorte zur Errichtung eines am Stadtrand gelegenen Umschlagsplatzes (Urban-Hub) identifiziert. Eine anschließende Bewertung von neun potenziellen Standorten ergab, dass der Standort ‚SVG Süd‘ in Stuttgart-Wangen unter Berücksichtigung definierter Kriterien, wie z.B. Güterverkehrsaufkommen oder Realisierbarkeit der Untergrundanbindung, am besten geeignet ist. Die Machbarkeitsstudie wurde bewusst nur mit einem Urban-Hub Standort durchgeführt, weil eine Minimierung der Tunnelstrecke angestrebt wird und der Tunnelbau einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt sowie mit Treibhausgasemissionen (CO₂) verbunden ist.

Bei der Wahl möglicher Umschlagspunkte zur Belieferung der letzten Distributionsstufe (City-Hub) wurden 32 Alternativen untersucht. Diese ergaben sich aus einer zuvor abgeschlossenen Untersuchung, in der gezeigt wurde, dass insbesondere Parkhäuser und Tiefgaragen geeignete potenzielle Standorte für City-Hubs darstellen. Mithilfe einer kontinuierlichen und einer diskreten Standortplanung konnten Szenarien abgeleitet und bewertet werden. Die Analyse ergab, dass vier City-Hub-Standorte nach den festgelegten Kriterien, wie z.B. Nähe/Anbindung zu wichtigen Verbraucherzentren oder Umsetzbarkeit der Trassenführung, besonders geeignet sind.

Nach der Bestimmung des Potenzials, des Urban-Hub-Standorts und der City-Hub-Standorte wurden Fördertechniksysteme untersucht und die Materialfluss- sowie die Trassenplanung vorgenommen. Für die Trasse vom Urban-Hub (Standort SVG Süd) bis zur Innenstadt wird ein Verlauf empfohlen, der sich größtenteils am Trassenverlauf des Bahnprojekts S21 nach Unter- und Obertürkheim orientiert. Ein kritischer Aspekt bei der Bewertung der technischen Machbarkeit einer unterirdischen Trasse ist die Berücksichtigung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen, welche die Erreichbarkeit der identifizierten City-Hub-Standorte deutlich einschränken. Die vorgeschlagene Trassenführung mit einer Länge von 9,40 km wird als technisch machbar eingeschätzt.

Der Materialfluss des Intralogistiksystems wurde mithilfe eines Matlab-Skripts ausgelegt. Es konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass der Engpass die Lastübergabe an den Horizontalförderer am Urban-Hub ist. Der Grenzdurchsatz des Gesamtsystems ist somit direkt abhängig von dessen Dimensionierung. Die Horizontalförderer und deren Lastübergabe lassen sich jedoch erweitern. Das ausgelegte UWT-System kann 7855 Paletten pro Tag in zehn Stunden transportieren. Unter Berücksichtigung eines 95%-Service-

Grads und der Annahme eines normalverteilten Güterverkehrsaufkommens ergibt sich ein zu erreichender Betriebspunkt von 7522 Paletten pro Tag. Der Durchsatz des ausgelegten UWT-Systems liegt also über dem zu erreichenden Betriebspunkt, womit die Machbarkeit des Materialflusses bestätigt wurde.

Neben der technischen Machbarkeit wurden auf Basis einer zweistufigen Erhebung drei zentrale Stakeholdergruppen identifiziert und es wurde deren individuelle Akzeptanzhöhe für ein UWT-System ermittelt. Die Stakeholder empfinden die aktuelle und zukünftige Situation der City-Logistik generell als Herausforderung für die LHS. Daher sind neue Lösungen für das Verkehrssystem der LHS unabdingbar. Das UWT-System könnte Teil einer solchen Lösung sein. Genau das wird jedoch von einigen Stakeholdergruppen auch kritisch betrachtet. Aus der kritischen Perspektive könnten die Probleme mit den Investitionen, die in dieses UWT-System fließen würden, ebenfalls auf eine andere und weniger risikoreiche Weise gelöst werden. Aus der optimistischen Perspektive wäre es jedoch eine innovative Lösung, die die LHS als Wirtschaftsstandort vorantreiben könnte. Damit wäre das UWT-System eine Investition in die Zukunft der Stadt, die auf die Reduzierung des Verkehrsaufkommens und die Verbesserung des Verkehrsflusses, sowie auf das Image und auf die Wirtschaftskraft der LHS eine positive Wirkung haben könnte.

Ökologisch betrachtet werden im Status quo (ohne UWT-System) 1630 t CO₂e pro Jahr und mit einem UWT-System 3547 t CO₂e pro Jahr an direkten Emissionen (SB1) und Emissionen, die bei der Energiebereitstellung entstehen (SB2), erzeugt. Emissionen, die den Bau betreffen (SB4), werden im Status quo auf 33 t CO₂e pro Jahr und mit UWT-System auf 1508 t CO₂e pro Jahr geschätzt. Somit würden sich durch die Umwege der Fahrzeuge zum Urban-Hub und durch die energieintensive Herstellung der Baustoffe für den Tunnelbau die Emissionseinsparungen der autonomen Routenzüge des UWT-Systems gegenüber dem Direktverkehr aufheben. Dies bedeutet, das ausgelegte UWT-System würde im Vergleich zum Status quo die dreifache Menge an CO₂e pro Jahr ausstoßen. In dem optimistischen Szenario, dass das UWT-System mit Ökostrom betrieben wird und E-Lkw die Umwege übernehmen, ist jedoch eine Einsparung möglich. Da dieses Szenario eher unwahrscheinlich ist, ist eine Errichtung des UWT-Systems zur Emissionsreduktion der LHS eher ungeeignet. Neben der Emission selbst kommt jedoch auch deren Verlagerung in die Stadtperipherie und den zu erwartenden geringeren Geräuschbelastungen durch den Straßen-Güterverkehr vor allem vor dem Hintergrund des Bestrebens hin zu einer lebenswerteren Innenstadt eine wesentliche Rolle zu. Unter diesen Gesichtspunkten kann das UWT-System durchaus eine ökologische Verbesserung darstellen.

Die Investitionskosten für die Umsetzung des in der Machbarkeitsstudie analysierten UWT-Systems in der LHS belaufen sich auf ca. 322 Mio. €. Die jährlichen Betriebskosten liegen bei etwa 13,9 Mio. €, wobei davon ca. 5,8 Mio. € für die personalintensive Feinverteilung auf der ‚letzten Meile‘ veranschlagt sind. Je nach angestrebter Amortisationsdauer (10, 20 oder 40 Jahre) müsste demnach ein Ertrag von 20 bis 32 € pro Palette angesetzt werden. Gemäß Precht und Wilde (2021) liegen die marktüblichen Frachtkosten für den Gesamtprozess, also Vor-, Haupt- und Nachlauf, zwischen 25 und 50 € je Palette im Straßen-Güterverkehr. Somit lässt sich festhalten, dass das UWT-System für die LHS – trotz vergleichsweise konservativer Annahmen bei der Kostenermittlung – auf lange Sicht wirtschaftlich betreibbar ist. Die hohen Investitionskosten und die lange Amortisationsdauer stellen jedoch ein hohes wirtschaftliches Risiko dar.

Das interdisziplinäre Forschungsteam rät nach Berücksichtigung des Beförderungspotenzials, der technischen Machbarkeit, der Akzeptanz der Stakeholder, der ökologischen und der ökonomischen Betrachtung, ein UWT-System als Alternative zum bestehenden Warentransport auf der Straße weiterhin nicht auszuschließen. Jedoch sind weitere Studien und konkrete Vergleiche mit anderen Konzepten hinsichtlich Aufwand, Nutzen und Risiko empfehlenswert.

© FC-Gruppe 2023



FC-Projektsteuerung GmbH
Kesselstr. 19
70327 Stuttgart

Tel. +49 721 / 96196 1124
Fax. +49 721 / 96196 1009
p-st@fc-gruppe.de
www.fc-gruppe.de

9. Literaturverzeichnis

AHO (2018): Ergänzende Leistungsbilder im Projektmanagement für die Bau- und Immobilienwirtschaft. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Stand: Januar 2018. Köln: Bundesanzeiger (AHO-Schriftenreihe, 19).

Anderluh, Alexandra; Hemmelmayr, Vera C.; Rüdiger, Dag (2020): Analytic hierarchy process for city hub location selection - The Viennese case. In: *Transportation Research Procedia* 46, S. 77–84. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.166.

Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (2008): *Handbuch Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Richtlinie VDI 4707-1, 2009: Aufzüge.

Ballantyne, Erica E.F.; Lindholm, Maria; Whiteing, Anthony (2013): A comparative study of urban freight transport planning: addressing stakeholder needs. In: *Journal of Transport Geography* 32, S. 93–101. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.08.013.

Bär, Gesine; Kasberg, Azize; Geers, Silke; Clar, Christine (2020): Fokusgruppen in der partizipativen Forschung. In: Susanne Hartung, Petra Wihofszky und Michael T. Wright (Hg.): *Partizipative Forschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 207–232.

Becker, Hans Paul (2016): *Investition und Finanzierung. Grundlagen der betrieblichen Finanzwirtschaft*. 7., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler (Lehrbuch).

Bender, Elisabeth; Maier, Wolfgang; Rentsch, Johannes (2017): *Erlebnisraum Neckar. Ein Masterplan für Stuttgart als Stadt am Fluss*. Unter Mitarbeit von Regina Willner. LHS, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, Abteilung Kommunikation. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart-meine-stadt.de/file/5b9f9acfd10d432e3d447702>, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

Bienzeisler, Bernd (2018): *Parkhaus wird Logistikzentrum*. DVV Media Group GmbH. Online verfügbar unter <https://www.dvz.de/rubriken/logistik/detail/news/parkhaus-wird-logistikzentrum.html>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Bilitewski, Bernd; Wagner, Jörg; Reichenbach, Jan (2018): *Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung*. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-30_texte_39-2018-verfahren-kommunale-abfallwirtschaft_0.pdf, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Bogdanski, Ralf (2019): *Quantitative Untersuchung der Konsolidierten Zustellung auf der letzten Meile. am Beispiel zweier KEP-Unternehmen in den Städten Nürnberg und München*. Hg. v. Bundesverband Paket & Express Logistik e. V. (BIEK). Online verfügbar unter <https://www.biek.de/presse/meldung/konsolidierte-zustellung.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Boscoe, Francis P.; Henry, Kevin A.; Zdeb, Michael S. (2012): A Nationwide Comparison of Driving Distance Versus Straight-Line Distance to Hospitals. In: *The Professional Geographer* 64 (2), S. 188–196. DOI: 10.1080/00330124.2011.583586.

Brasseur, Guy; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne (Hg.) (2017): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin: Springer Spektrum.

Brenck, Andreas; Gipp, Christoph; Nienaber, Petra (2016): *Fernbusterminal Freie Hansestadt Bremen. Erläuterungsbericht: Untersuchung und Bewertung von Betriebskonzepten am Beispiel des geplanten Fernbusterminals in Bremen*. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bauumwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Anhang%2010%20>

Erla%26%23776%3Buterungsbericht%20FBT%20Bremen%20Betreiberkonzepte.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2021.

Bretzmann, Antje; Bäumer, Thomas; Huber, Stephanie (2017): The Role of Participation and Communication for Energy Efficient Refurbishment. In: EES 17 (44), S. 675–691. DOI: 10.25167/ees.2017.44.3.

Brüggmann, Anna Barbara (2017): DSV: Neues Verteilzentrum für dm in Peine. HUSS-VERLAG GmbH. Online verfügbar unter <https://transport-online.de/news/dsv-neues-verteilzentrum-fuer-dm-peine-10989.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Budäus, Dietrich; Grüb, Birgit (2007): Public Private Partnership: Theoretische Bezüge und praktische Strukturierung. In: ZögU 30 (3), S. 245–272. DOI: 10.5771/0344-9777-2007-3-245.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2020): ÖPP-Modelle & ÖPP-Projekte. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/oepp-modelle-und-projekte.html>, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (01.07.2010): Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz. Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung - ABBV.

Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK); KE-CONSULT Kurte&Esser GbR (2018): BIEK Kompendium Teil 5. Regionale Verteilung des KEP-Sendungsvolumens. Bundesverband Paket & Express Logistik e. V. (BIEK). Online verfügbar unter <https://www.biek.de/publikationen/faktenpapiere.html?cat=17>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK); KE-CONSULT Kurte&Esser GbR (2020): KEP-Studie 2020 - Analyse des Marktes in Deutschland,. Verbinden, sichern und versorgen. Berlin, Köln.

Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK); KE-CONSULT Kurte&Esser GbR (2021): KEP-Studie 2021 - Analyse des Marktes in Deutschland. Möglichmacher in bewegten Zeiten. Bundesverband Paket & Express Logistik e. V. (BIEK). Berlin, Köln. Online verfügbar unter https://www.biek.de/files/biek/downloads/papiere/BIEK_KEP-Studie_2021.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Cargo sous terrain AG (2021): Was ist CST. Basel. Online verfügbar unter <https://www.cst.ch/was-ist-cst/>, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

CargoCap GmbH (2021): CargoCap - Gütertransport im Ballungsraum. Das CargoCap-System. Bochum. Online verfügbar unter <https://www.cst.ch/was-ist-cst/>, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

Carvalho, Nayara Louise de; Vieira, José Geraldo Vidal; da Fonseca, Paula Nakamura; Dulebenets, Maxim A. (2020): A Multi-Criteria Structure for Sustainable Implementation of Urban Distribution Centers in Historical Cities. In: Sustainability 12 (14), S. 5538. DOI: 10.3390/su12145538.

Chen, Zhilong; Dong, Jianjun; Ren, Rui (2017): Urban underground logistics system in China: Opportunities or challenges? In: Underground Space 2 (3), S. 195–208. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.08.002.

Conrad Electronic SE (2021): Aus der Oberpfalz in alle Welt. Online verfügbar unter <https://www.conrad.de/de/ueber-conrad/unternehmen.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Cui, Jianqiang; Nelson, John D. (2019): Underground transport: An overview. In: Tunneling and Underground Space Technology 87, S. 122–126. DOI: 10.1016/j.tust.2019.01.003.

DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH (2009): Technik der Tunnelbohrungen. Antworten auf verschiedene Fragen zum technischen Bauablauf der Tunnelbohrungen. Hg. v. Kommunikationsbüro. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.bahnprojekt-stuttgart-uhl.de/no_cache/projekt/aktuell/archiv-suche/news-archiv-detail/news/321-technik-der-tunnelbohrungen/newsParameter/detail/News/datum/1254139620/, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH (2012): Grunderwerb und Entschädigung für das Unterfahren von Grundstücken. Veranstaltung mit Haus- und Grundbesitzerverein. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.bahnprojekt-stuttgart-uhl.de/no_cache/projekt/aktuell/archiv-suche/news-archiv-detail/news/307-grunderwerb-und-entschaedigung-fuer-das-unterfahren-von-grundstuecken/newsParameter/detail/News/, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH (2021): Bahnprojekt Stuttgart-Ulm. Das Bahnprojekt Stuttgart–Ulm im Detail. Online verfügbar unter <https://www.bahnprojekt-stuttgart-uhl.de/projekt/>, zuletzt aktualisiert am 23.07.2021, zuletzt geprüft am 23.07.2021.

Deckert; Pieper; Chandra; Schmidt; Schönheit (2020): Prüfung zur ökologischen und ökonomischen Umsetzung des CargoCap-Systems am Standort Bergisch Gladbach. Schlussbericht, Anonymisierte Fassung. Unter Mitarbeit von CargoCao GmbH & STEIN Ingenieure GmbH, Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik (RUFIS), DLR und Stadt Bergisch Gladbach. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Bochum.

Deichmann SE (2018): Deichmann-Distributionszentrum Feuchtwangen versorgt Süddeutschland seit 30 Jahren mit Schuhen. Unter Mitarbeit von Johanna Pistor. Online verfügbar unter <https://corpsite.deichmann.com/de/blog/presstexte/17-millionen-paarschuhe-auf-18-500-quadratmetern/>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Dematic GmbH (2021): FTF Datenblatt LTV0515 & LTV0530. Heusenstamm. Online verfügbar unter <https://www.dematic.com/de-de/downloads-und-ressourcen/broschueren/download/?map=13&id=2349>, zu-letzt geprüft am 15.12.2021.

DGNB GmbH (2018): DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude Neubau. ECO1.1 / Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus. Stuttgart. Online verfügbar unter https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/03_ECO1.1_Gebaeudebezogene-Kosten-im-Lebenszyklus.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

Dirk Rossmann GmbH (2021a): Moderne Logistik. Online verfügbar unter <https://unternehmen.rossmann.de/nachhaltigkeit/nachhaltiges-wirtschaften.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Dirk Rossmann GmbH (2021b): Geschäftsentwicklung 2020 und Ausblick 2021. Unter Mitarbeit von Anna Kentrath. Burgwedel. Online verfügbar unter <https://unternehmen.rossmann.de/presse/pressemeldung/geschaefsentwicklung-2020.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

dm-drogerie markt GmbH + Co. KG (2020): Presseinformationen zum Geschäftsjahr 2019/2020. Unter Mitarbeit von Herbert Arthen. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://newsroom.dm.de/documents/dm-presseinformation-zum-geschaeftsjahr-2019-2020-dot-pdf-101252>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Döring, Nicola; Bortz, Jürgen (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Unter Mitarbeit von Sandra Pöschl-Günther. 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).

DP World (2021): DP World Cargospeed with Virgin Hyperloop One. The Future of Freight Transportation. Dubai. Online verfügbar unter <https://www.dpworld.com/smart-trade/cargospeed>, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

DPDgroup (2018): Chronopost France establishes its new Urban Logistics Area in Paris. Online verfügbar unter <https://www.dpd.com/group/en/2018/04/10/chronopost-france-establishes-its-new-urban-logistics-area-in-paris/>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Dreijack, Stefanie; Niederberger, Marlen (2018): Qualitative Experteninterviews in Internationalen Organisationen. In: *Polit Vierteljahresschr* 59 (2), S. 293–318. DOI: 10.1007/s11615-018-0077-9.

E & G Real Estate GmbH (2021a): Region Stuttgart - Industrie- & Logistikimmobilien 2021. Online verfügbar unter <https://www.immobilienverlag-stuttgart.de/wp-content/uploads/2021/03/E-G-Real-Estate-Marktbericht-Industrie-Logistik-Region-Stuttgart-2020-2021.pdf>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

E & G Real Estate GmbH (2021b): Region Stuttgart - Industrie- & Logistikimmobilien 2020. Online verfügbar unter https://www.eug-immobilien.de/assets/main/Berichte/INDUSTRIE-UND-LOGISTIKMARKT-STUTTGART//e-g_i-l_marktbericht_2019-2020.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Egbunike, Obiajulu N.; Potter, Andrew T. (2011): Are freight pipelines a pipe dream? A critical review of the UK and European perspective. In: *Journal of Transport Geography* 19 (4), S. 499–508. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2010.05.004.

Endres, Melanie (2019): Ausgezeichneter Logistikstandort. In: *Logistik-Heute* 41 (9), S. 14–15.

Endres, Melanie (2020): Hoch hinaus. In: *Logistik-Heute* 42 (1-2), S. 10–12.

Figueres, Christiana; Le Quéré, Corinne; Mahindra, Anand; Bäte, Oliver; Whiteman, Gail; Peters, Glen; Guan, Dabo (2018): Emissions are still rising: ramp up the cuts. In: *Nature* 564 (7734), S. 27–30. DOI: 10.1038/d41586-018-07585-6.

FOUR PARX Holding GmbH (2021): Four Parx City. Mehrstöckiges Flächenkonzept mitten in der Stadt. Online verfügbar unter <https://www.four-parx.com/immobilien/four-parx-city-lagerraum-mieten/>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Fridell, Erik; Bäckström, Sebastian; Stripple, Håkan (2019): Considering infrastructure when calculating emissions for freight transportation. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 69, S. 346–363. DOI: 10.1016/j.trd.2019.02.013.

Fritsche, Uwe R.; Greß, Hans-Werner (2021): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2020 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH. Online verfügbar unter https://iinas.org/app/uploads/2021/11/2021_KEV_THG_Strom-2020_und_2030-2050.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

FUNKE Medien NRW GmbH (2020): Millionen-Investition: Neue Arbeitsplätze in Logistikzentrum. Duisburg. Online verfügbar unter <https://www.waz.de/staedte/duisburg/millionen-investition-neue-arbeitsplaetze-in-logistikzentrum-id230191426.html>, zuletzt aktualisiert am 17.08.2020, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Geldmacher, Wiebke (2020): Akzeptanz eines innovativen Carsharing-Modells. Ökonomische und gesellschaftliche Effekte zukunftsfähiger Mobilitätskonzepte. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler (Sustainable Management, Wertschöpfung und Effizienz).

Glück, Verena (2021): Unterirdische Materialversorgung - beeinflussende Faktoren für die

Machbarkeit/Planung in Stuttgart. Seminararbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science in Umweltorientierter Logistik. Unter Mitarbeit von Payam Dehdari. Hochschule für Technik Stuttgart - Studiengang Umweltorientierte Logistik. Stuttgart.

Gogas, Michael A.; Nathanail, Eftihia (2017): Evaluation of Urban Consolidation Centers: A Methodological Framework. In: *Procedia Engineering* 178, S. 461–471. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.089.

Greene, Suzanne; Lewis, Alan (2019): Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting. Hg. v. Smart Freight Centre. Online verfügbar unter <https://www.smartfreightcentre.org/en/how-to-implement-items/what-is-glec-framework/58/>, zuletzt geprüft am 15.11.2021.

Grossmann & Berger GmbH; Anteon Immobilien GmbH & Co. KG; GREIF & CONTZEN Immobilien GmbH; E & G Real Estate GmbH (2020): Gewerbe-Immobilienmarkt Deutsche Top-7-Standorte 2019/2020. Online verfügbar unter https://www.immobilienvorlag-stuttgart.de/wp-content/uploads/2020/05/gpp_marktbericht_logistik2020_web.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Habenicht, Sebastian; Ertl, Rainer; Günthner, Willibald A. (2013): Analytische Energiebedarfsbestimmung von Intralogistiksystemen in der Planungsphase. Technische Universität München; Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik. München.

HAHN-Immobilien-Beteiligungs AG (2021): Retail Real Estate Report - Germany 2021/2022. Online verfügbar unter <https://www.cbre.de/de-de/research/Hahn-Retail-Real-Estate-Report-Germany-20212022>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Hell, Matthias (2020): Conrad rutscht in die roten Zahlen. IDG Business Media GmbH. Online verfügbar unter <https://www.channelpartner.de/a/conrad-rutscht-in-die-roten-zahlen,3337382>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Herry Consult GmbH; ECONSULT Betriebsberatungsges.m.b.H.; Schachinger Immobilien und Dienstleistungs GmbH & Co KG (2014): Leitlinien zur Entwicklung von FTI-Projekten im Bereich Gütermobilität in Städten. Wien. Online verfügbar unter <https://mobilitaet-derzukunft.at/resources/pdf/projektberichte/guemos-leitlinien.pdf>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.

Hofmann, Erik; Freichel, Stephan L.K. (2010): Gestaltung und Bewertung institutioneller Arrangements in der Logistik – Alternative Betreibermodelle und deren finanzielle Implikationen. In: Robert Schönberger und Ralf Elbert (Hg.): *Dimensionen der Logistik*. Wiesbaden: Gabler, S. 1241–1271.

Hompel, Michael ten; Schmidt, Thorsten; Dregger, Johannes (2018): *Materialflusssysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Huijts, N. M. A.; Molin, E. J. E.; Steg, L. (2012): Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1), S. 525–531. DOI: 10.1016/j.rser.2011.08.018.

IHK Region Stuttgart (2020): City-Logistik neu gedacht. Impulse für das Stuttgarter Rosensteinviertel. Unter Mitarbeit von Planersovietät, Pesch Partner Architekten Stadtplaner GmbH und Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML. Hg. v. Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart. Stuttgart.

InformationsZentrum Beton GmbH (2013): Prozess-Datensatz: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45. Online verfügbar unter <https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=cbc63bd5-2bfe-4381-b644-78df1bce86f3&version=00.04.000>, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

InformationsZentrum Beton GmbH (2018): Prozess-Datensatz: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 45/55. Online verfügbar unter https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=a3662e98-9dc9-412f-9603-47f653f3db7f&version=00.04.000&stock=OBD_2021_II&lang=de, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Institut für Operations Research (IOR) (2020): Gebietsplanung mit der Algorithmenbibliothek LIZARD. Unter Mitarbeit von Stefan Nickel. Online verfügbar unter <https://lizard.ior.kit.edu/index.php>, zuletzt aktualisiert am 27.01.2020, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Kalusche, Wolfdietrich; Herkel, Sebastian (Hg.) (2019): BKI Baukosten 2019 Neubau. Statistische Kostenkennwerte für Gebäude. Unter Mitarbeit von Hannes Spielbauer, Klaus-Peter Ruland, Brigitte Kleinmann und Annette Dyckmans. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern. Stuttgart: BKI Baukosteninformationszentrum (BKI Baukosten 2019 Neubau / /BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.)), 1.

Katsela, K.; Browne, M. (2019): Importance of the Stakeholders' Interaction: Comparative, Longitudinal Study of Two City Logistics Initiatives. In: *Sustainability* 11 (20), S. 5844. DOI: 10.3390/su11205844.

Kleiber, Wolfgang; Fischer, Roland; Werling, Ullrich (2020): Verkehrswertermittlung von Grundstücken. Kommentar und Handbuch zur Ermittlung von Marktwerten (Verkehrswerten) und Beleihungswerten sowie zur steuerlichen Bewertung unter Berücksichtigung der ImmoWertV. 9., aktualisierte Auflage. Köln: Reguvis.

Krafftahrt-Bundesamt (2020): Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) - Güterbeförderung Jahr 2019. VD 4. Flensburg. Online verfügbar unter https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/Statistik/Kraftverkehr/VD/2019/vd1_2019_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Krafftahrt-Bundesamt (2021): Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) - Verkehrsaufkommen Jahr 2020. VD 1. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/deutscherLastkraftfahrzeuge/vd_Verkehrsaufkommen/vd_verkehrsaufkommen_inhalt.html?nn=2351604, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Kuckartz, Udo (2018a): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa (Grundlagentexte Methoden). Online verfügbar unter <http://www.beltz.de/de/nc/verlagsgruppe-beltz/gesamtprogramm.html?isbn=978-3-7799-3682-4>.

Kuckartz, Udo (2018b): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa (Grundlagentexte Methoden).

Kühnhold, Christian (2021): Unterirdischer Warentransport auf der vorletzten Meile. (Christian Kühnhold, Geschäftsführer, Smart City Loop) (BVL.digital Podcast, #56). Spotify, 10.03.2021. Online verfügbar unter <https://open.spotify.com/episode/6x3GKga-8mY96cBJ6YlqlAb?si=6c2d6ff44fa548ae>, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

Land Nordrhein-Westfalen (2007): Bundeseinheitlicher Leitfaden „Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei PPP-Projekten“. Unter Mitarbeit von Frank Littwin, Regina Cablitz und Simon Singer. Online verfügbar unter https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/leitfaden-wirtschaftlichkeitsuntersuchungen-ppp.pdf;jsessionid=6361D0A8849E7A6155793C94A3352254.1_cid364?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Le Quéré, Corinne; Andrew, Robbie M.; Friedlingstein, Pierre; Sitch, Stephen; Hauck, Judith; Pongratz, Julia et al. (2018): Global Carbon Budget 2018. In: *Earth Syst. Sci. Data* 10 (4), S. 2141-2194. DOI: 10.5194/essd-10-2141-2018.

Lehmann, Sandra (2019): Jeder für sich oder alle zusammen? In: *Logistik Heute* 41 (10),

S. 72–73. Online verfügbar unter <https://logistik-heute.de/fachmagazin/fachartikel/extra-paketzustellung-jeder-fuer-sich-oder-alle-zusammen-18568.html>, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

LHS (o.J.): Stuttgart Rosenstein. Unter Mitarbeit von Fabian Schöttle. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/leben/stadtentwicklung/stuttgart-rosenstein.php>, zuletzt geprüft am 18.10.2021.

LHS (2017): Nachhaltig mobil in Stuttgart. 1. Fortschreibung. Hg. v. Landeshauptstadt Stuttgart, Referat Strategische Planung.

LHS (2018): Masterplan zur Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität. Green City Plan. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/nachhaltige-mobilitaet/mobilitaets-konzepte/green-city-plan.php>, zuletzt geprüft am 19.10.2021.

LHS (2021): Baustellenkalender. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/baustellenkalender>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

LHS Amt für Stadtplanung und Wohnen; berchtoldkrass space&options; AMUNT Nagel Theissen Architekten und Designer PartG mbB (2020): Urban Sandwich. Steigerung der Flächeneffizienz durch Stapelung gewerblicher Nutzungen. Abschlussbericht. Stuttgart.

LHS Stadtmessungsamt (2021): Stuttgart 3D. Online verfügbar unter <https://3d.stuttgart.de/>, zuletzt aktualisiert am Mai 2021, zuletzt geprüft am Dezember 2021.

LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS - AG); Verband Region Stuttgart; Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo; OpenStreetMap contributors and the GIS User Community (2021a): GeoPortal Stuttgart. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://gis6.stuttgart.de/maps/>, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

LHS Stadtmessungsamt & Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (GIS - AG); Verband Region Stuttgart; Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo; OpenStreetMap contributors and the GIS User Community (2021b): GeoPortal Stuttgart. LKW-Empfehlungsnetz. Stuttgart. Online verfügbar unter https://gis6.stuttgart.de/maps/index.html?karte=lkw_empfehlungsnetz&embedded=true#basemap=0&scale=144447¢erX=1021394.4300392324¢erY=6237484.397593873, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

Liebold, Renate; Trinczek, Rainer (2009): Experteninterview. In: Stefan Kühl, Petra Strodtholz und Andreas Taffertshofer (Hg.): Handbuch Methoden der Organisationsforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 32–56.

Lindholm, Maria (2013): Urban freight transport from a local authority perspective - a literature review. In: European Transport \ Trasporti Europei 54 (3).

Macharis, Cathy; Milan, Lauriane; Verlinde, Sara (2014): A stakeholder-based multicriteria evaluation framework for city distribution. In: Research in Transportation Business & Management 11, S. 75–84. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.06.004.

Maier-Geißer, Ralf; Leyva, Nicolas (2017): Nachhaltig mobil in Stuttgart. Unter Mitarbeit von Regina Willner und Uli Schellenberger. LHS, Referat Strategische Planung und Nachhaltige Mobilität, Abteilung Kommunikation. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.stuttgart.de/medien/ibs/web_Aktionsplan-Mobilitaet.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

Masson-Delmotte, Valérie (Hg.) (2018): Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

McKinnon, A. C.; Piecyk, M. (2010): Measuring and managing CO2 emissions in European chemical transport. Logistics Research Centre, Energy Academy; Heriot Watt University. Edinburgh, UK. Online verfügbar unter <https://researchportal.hw.ac.uk/en/publications/measuring-and-managing-co2-emissions-in-european-chemical-transpo>.

Meißner, Matthias; Massalski, Lynn (2020): Modeling the electrical power and energy consumption of automated guided vehicles to improve the energy efficiency of production systems. In: *Int J Adv Manuf Technol* 110 (1-2), S. 481–498. DOI: 10.1007/s00170-020-05796-8.

DIN EN 16258:2013-03: Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr); Deutsche Fassung EN_16258:2012.

Meuser, Michael; Nagel, Ulrike (1991): ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht: ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Detlef Garz und Klaus Kraimer (Hg.): *Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen*. Opladen: Westdt. Verl., S. 441–471.

Mole Solutions Ltd. (2020): ULS Key Sub Systems. Geddington. Online verfügbar unter <https://www.molesolutions.co.uk/sub-systems.html>, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

Muerza, Victoria; Larrodé, Emilio; Moreno-Jimenez, Jose-María; Jiménez, Alejandro (2018): Modelling the problem of parcel distribution in urban environments and analysis of the determining factors. In: *Transportation Research Procedia* 33, S. 347–354. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.112.

Nier, Hedda (2019): Das verdienen Paketboten. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/17647/verdienst-im-post--kurier--und-expressdienst/>, zuletzt geprüft am 15.10.2021.

Oebbecke, Janbernd (2007): Kommunale Gemeinschaftsarbeit. In: Thomas Mann und Günter Püttner (Hg.): *Grundlagen und Kommunalverfassung*. 3., völlig neu bearb. Aufl. Berlin: Springer (Handbuch der kommunalen Wissenschaft und Praxis / Thomas Mann Günter Püttner (Hrsg.), Bd. 1), S. 843–872.

Oehler, Stephan; Seyboth, Arne; Scherz, Susanne; Wortmann, Marietta (2014): VEK 2030. Das Verkehrsentwicklungskonzept der Landeshauptstadt Stuttgart. LHS, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, Abteilung Verkehrsplanung und Stadtgestaltung. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/medien/ibs/VEK-2030-Verkehrsentwicklungskonzept-PDF-32-MB.pdf>, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

Ouyeder, Ouelid; Straube, Frank (2011): ModuLoSys - Modularisierung logistischer Systeme. Unter Mitarbeit von Technische Universität Berlin und Frank Straube.

Pachauri, Rajendra K.; Meyer, Leo (2015): *Climate change 2014. Synthesis report*. Geneva: IPCC.

Pfadenhauer, Michaela (2009): Das Experteninterview. Ein Gespräch auf gleicher Augenhöhe. In: Renate Buber und Hartmut H. Holzmüller (Hg.): *Qualitative Marktforschung. Konzepte - Methoden - Analysen*. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Gabler-Lehrbuch), S. 449–461.

Planersocietät; LHS (2020): Verkehrliche Grundlagenuntersuchung - Lebenswerte Stadt für Alle. Akteursgespräch. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart-meine-stadt.de/file/5fca01d8253c36330b40a892>, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

Pöchtrager, Siegfried (2011): Qualitätsmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Institutionen, Strukturen und entscheidungsrelevante Faktoren. Wien: Springer.

Precht, Philipp; Wilde, Matthias (2021): Plausibilitätsstudie S21 Güterlogistik. Nutzung des Stuttgart 21-Systems für die unterirdische Güterlogistik im Sinne einer „Vorletzten Meile“. im Auftrag des „Umstiegsgruppe des Aktionsbündnisses gegen Stuttgart 21. Coburg. Online verfügbar unter http://www.kopfbahnhof-21.de/wp-content/uploads/Precht_Wilde-Plausibilita%CC%88tsstudie-Gueterlogistik_S21.pdf, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

Rao, Congjun; Goh, Mark; Zhao, Yong; Zheng, Junjun (2015): Location selection of city logistics centers under sustainability. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36, S. 29–44. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.008.

Regierungspräsidium Stuttgart (11.06.2002): Verordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart zum Schutz der staatlich anerkannten Heilquellen in Stuttgart - Bad Cannstatt und Stuttgart - Berg. Online verfügbar unter https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Themenportal/Wasser_und_Boden/Wasserversorgung/_DocumentLibraries/Documents/52_s_heilqu_verord.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2021.

Renner, P.; Küppers, J.-P. (2011): Risikopartizipation bei komplexen Infrastrukturprojekten am Beispiel von Stuttgart 21. In: *Netzwerk Bürgerbeteiligung* 01.

Rettet das Rosental (2021): Rettet das Rosental - Bürgerinitiative. Online verfügbar unter <https://rettet-das-rosental.de/>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2021, zuletzt geprüft am 27.07.2021.

Ritter Logistik GmbH (2013): Ritter Logistik beliefert ab dem neuen Jahr 65 Obi-Märkte der Region Nord-West. Online verfügbar unter <https://www.logistik-express.com/ritter-logistik-beliefert-ab-dem-neuen-jahr-65-obi-maerkte-der-region-nord-west/>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Rogers, Everett M. (1983): *Diffusion of innovations*. 3. ed. New York, NY: Free Press.

Russo, Francesco; Comi, Antonio (2011): Measures for Sustainable Freight Transportation at Urban Scale: Expected Goals and Tested Results in Europe. In: *Journal of Urban Planning and Development* 137 (2), S. 142–152. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000052.

Russo, Sonja M.; Voegl, Jana; Hirsch, Patrick (2021): A multi-method approach to design urban logistics hubs for cooperative use. In: *Sustainable Cities and Society* 69, S. 102847. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102847.

Sauer, Julia (2016): *Ökologische Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken der Verkehrsinfrastruktur*. Dissertation. Technische Universität München, München.

Schlag, B. (1997): Road pricing-Maßnahmen und ihre Akzeptanz. In: B. Schlag (Hg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie*. 36. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag, S. 217–224.

Schocke, Kai-Oliver; Schäfer, Petra; Höhl, Silke; Gilbert, Andreas (2020): LastMileTram. Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main. Unter Mitarbeit von Felix Kwast, Simon Lacoste, Simon Marhan und Klaus-Peter Wenz. Hg. v. Research Lab for Urban Transport (ReLUT). Frankfurt University of Applied Sciences. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter www.relut.de.

Schubert, Klaus; Klein, Martina (2018): *Das Politiklexikon*. Begriffe, Fakten, Zusammen-

hänge. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Bonn: Dietz.

SEW-Eurodrive GmbH & Co KG (2019): Projektierungshandbuch. Praxis der Antriebstechnik - Geregelte und ungeregelte Antriebe projektieren. Bruchsal (20274130/DE). Online verfügbar unter <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/20274130.pdf>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Smart City Loop (2021): Der Weg zur letzten Meile. Warentransport für Metropolen neu gedacht. Köln. Online verfügbar unter <https://www.smartcityloop.de/>, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

Soldt, R. (2011): Was in Stuttgart schief ging - Nicht das Versagen der repräsentativen Demokratie ist schuld an der Schärfe des Konflikts um „S21“, sondern die soziokulturelle Transformation der Stadt. In: Das Debattenmagazin 1.

Stanetzki, Jan (2014): Genossenschaft. Online verfügbar unter <https://www.unternehmerlexikon.de/genossenschaft/>, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

Statistisches Bundesamt (2008): NST-2007. Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik - 2007. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/nsz-2007.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 18.10.2021.

Stein, Dietrich; Schoesser, Britta (2003): CargoCap-Transportation of Goods through Underground Pipelines: Research Project in Germany. In: Mohammad Najafi (Hg.): New pipeline technologies, security, and safety. Pipeline Engineering and Construction International Conference 2003. Baltimore, Maryland, United States, July 13-16, 2003. Reston, Va.: American Society of Civil Engineers, S. 1625–1634.

Steininger, Bertram I.; Groth, Martin; Weber, Brigitte L. (2021): Cost overruns and delays in infrastructure projects: the case of Stuttgart 21. In: JPIF 39 (3), S. 256–282. DOI: 10.1108/JPIF-11-2019-0144.

STILL GmbH (2019): LTX Technische Daten. Elektro-Schlepper und -Transporter. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.still.de/fahrzeuge/gabelstapler-und-lagertechnik/wagen-und-schlepper/ltx-50-ltx-t-06.html>, zuletzt geprüft am 25.08.2021.

Stuttgart lauft nicht (2017): Stuttgart lauft nicht. Lebenswerte Stadt für alle: Chancen für die Stuttgarter City. Unter Mitarbeit von Christoph Ozasek. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart-lauft-nicht.de/>, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

Sun, Hongwei; Park, Yeongmog (2020): CO2 Emission Calculation Method during Construction Process for Developing BIM-Based Performance Evaluation System. In: Applied Sciences 10 (16), S. 5587. DOI: 10.3390/app10165587.

The Boring Company (2021): Tunnel Offerings. Hawthorne. Online verfügbar unter <https://www.boringcompany.com/products>, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

thinkstep (2018): Prozess-Datensatz: Bewehrungsstahl. Online verfügbar unter https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=e9ae96ee-ba8d-420d-9725-7c8abd06e082&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de, zuletzt geprüft am 23.12.2021.

United Nations (2015): Paris Agreement (54113).

United Nations Environment Programme (Hg.) (2018): The Emissions Gap Report 2018. Unter Mitarbeit von UNEP. Nairobi.

Venkatesh, V.; Thong, J. Y. L.; Xu, X. (2012): Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. In: MIS

Quarterly 36 (1), S. 157–178. DOI: 10.2307/41410412.

Visser, J.; Wiegmans, 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. In: 5th International Symposium on Underground Freight Transportation by.

Weber, Frank (2017): Intelligente City-Hubs kommen. DVV Media Group GmbH. Online verfügbar unter <https://www.dvz.de/rubriken/logistikimmobilien/detail/news/intelligente-city-hubs-kommen.html>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.

Weber, Jürgen; Stölzle, Wolfgang; Wallenburg, Carl Marcus; Hofmann, Erik (2007): Einführung in das Management der Kontraktlogistik. In: Wolfgang Stölzle (Hg.): Handbuch Kontraktlogistik. Management komplexer Logistikdienstleistungen. 1. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH, S. 35–54. Online verfügbar unter https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527502033_c01.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

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 n. 45, S. 34–49.

Wöltje, Jörg (2017): Investition und Finanzierung. Grundlagen, Verfahren, Übungsaufgaben, Lösungen. 2. Auflage. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Gruppe.

Zahn, Volker (LHS) (2023): Informationen zum Rosensteinquartier im Rahmen einer Dokumentenprüfung, 14.02.2023.

10. Anhang

Die Arbeitspakete 2 bis 7 lauten gemäß Leistungsbeschreibung wie folgt:

- Arbeitspaket 2: Trassenführung,
- Arbeitspaket 3: Fördertechnik,
- Arbeitspaket 4: Röhre,
- Arbeitspaket 5: Flächen,
- Arbeitspaket 6: Einflüsse auf Verkehr und Umwelt und
- Arbeitspaket 7: Projektmanagement.

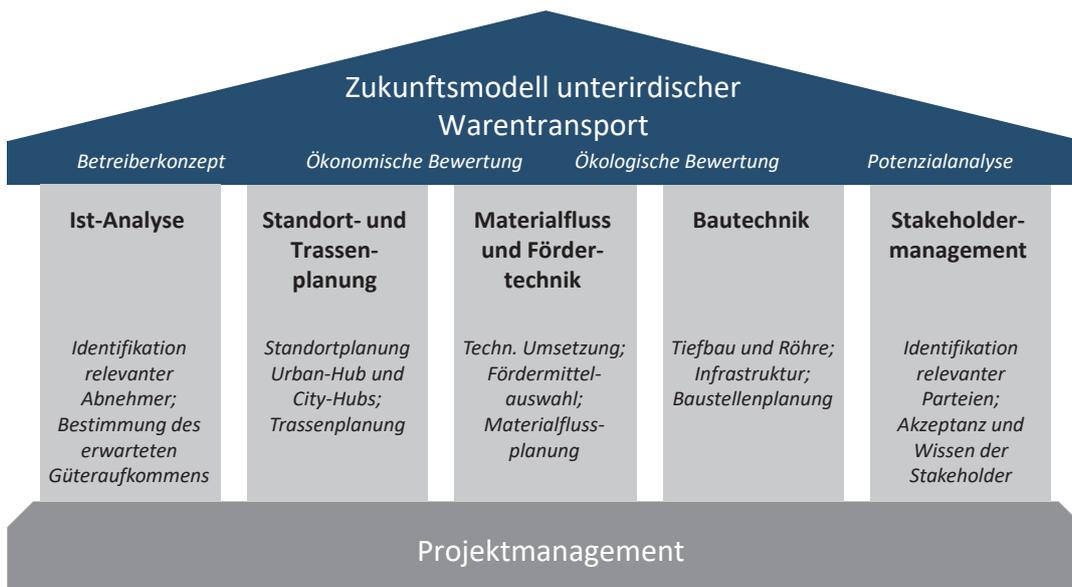


Abbildung 10 1: Säulenmodell und die Zuordnung der Arbeitspakete der Ausschreibung

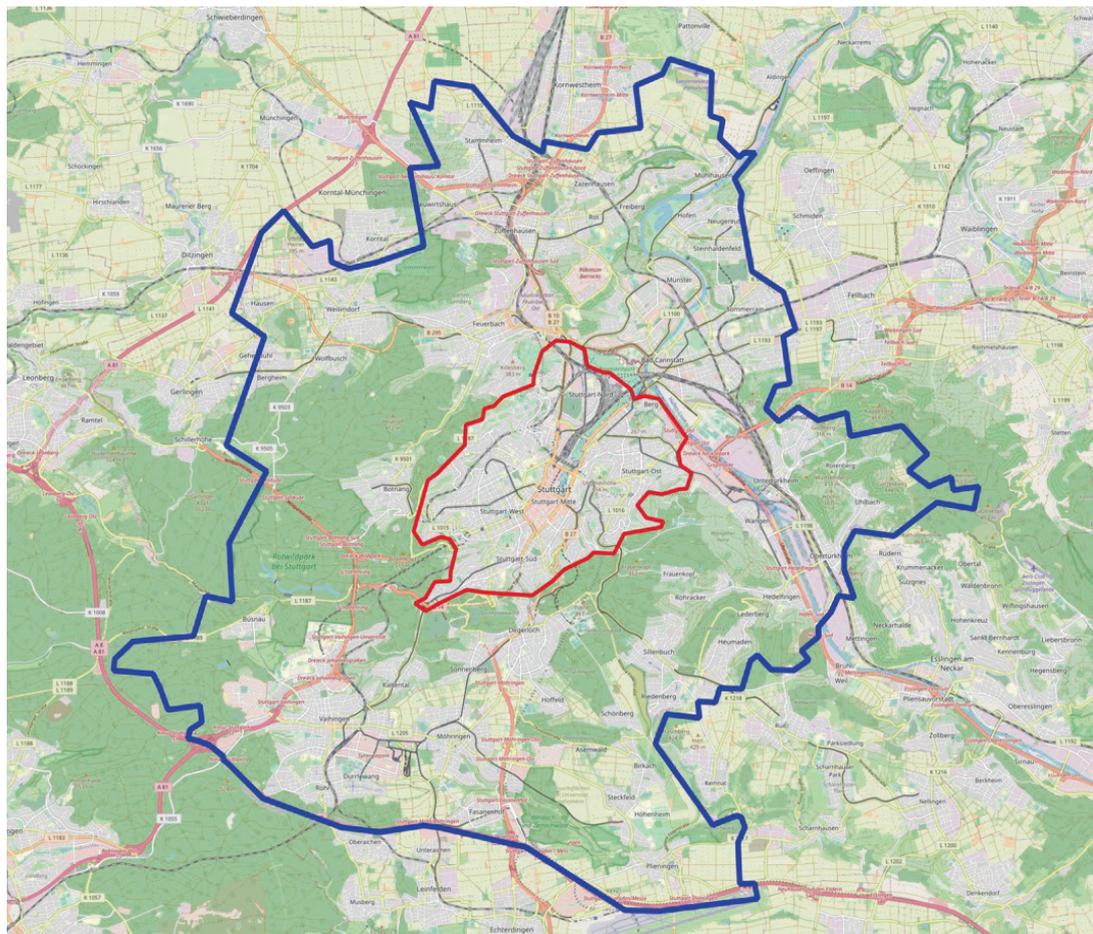


Abbildung 10.2: Untersuchungsgebiet der Machbarkeitsstudie – Skizzierung der MG und des Einzugsgebiets

ID	Name	Adresse	Typ	Fläche (m ²)
1	APCOA PARKING Deutschland GmbH Königsbau-Passagen	Bolzstraße 5 70173 Stuttgart	Tiefgarage	8569,6
2	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Landtag (Parkplatz)	Konrad-Adenauer-Straße 3 70173 Stuttgart	Parkplatz	540,8
3	Q-Park Operations Germany GmbH & Co. KG Galeria Kaufhof	Königstraße 6 70173 Stuttgart	mehrstöckiges Parkhaus	12001,6
4	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Keplerstraße P1	Keplerstraße 70174 Stuttgart	Parkplatz	3785,6
5	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Theodor-Heuss-Straße	Theodor-Heuss-Straße 4 70174 Stuttgart	Parkplatz	1622,4
6	Stuttgarter Heimschutz Otto Müller GmbH & Co. KG Schlossgarten	Schillerstraße 23 Stuttgart-Mitte 70173 Stuttgart	Tiefgarage	12168
7	LHS Esslinger Straße	Esslinger Straße 70182 Stuttgart	Parkplatz	208
8	E. Breuninger GmbH & Co. Breuninger	Esslinger Straße 1 70182 Stuttgart	mehrstöckiges Parkhaus	13520

9	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Hofdienergarage	Schellingstraße 25 B 70174 Stuttgart	mehrstöckiges Parkhaus	13624
10	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Kronprinzstraße	Kronprinzstraße 26 70173 Stuttgart	Tiefgarage	12376
11	Stuttgarter Heimschutz Otto Müller GmbH & Co. KG Schwabenzentrum	Hauptstätter Straße 40 Stuttgart-Mitte 70173 Stuttgart	Tiefgarage	8236,8
12	PARK SERVICE HÜFNER GmbH + Co. KG Züblin	Lazarettstraße 5 Stuttgart-Mitte 70190 Stuttgart	mehrstöckiges Parkhaus	12417,6
13	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Katharinen Hospital / Lindencenter	Kriegsbergstraße 55 70174 Stuttgart	Tiefgarage	13582,4
14	Klinikum der LHS gKAÖR Olgahospital / Frauenklinik	Kriegsbergstraße 62 70174 Stuttgart	Tiefgarage	8320
15	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Hauptbahnhof	Jägerstraße 19 70174 Stuttgart	Tiefgarage	5865,6
16	APCOA PARKING Deutschland GmbH Liederhalle / Bosch Areal	Breitscheidstraße 70174 Stuttgart	Tiefgarage	11065,6
17	Contipark Parkgaragengesellschaft mbH LBBW	Am Hauptbahnhof 2 70173 Stuttgart	Tiefgarage	26769,6
18	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Rotebühlhof Finanzamt	Rotebühlplatz 30 70173 Stuttgart	Parkplatz	1996,8
19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Gerber	Sophienstraße 21 70178 Stuttgart	Tiefgarage	11648
20	APCOA PARKING Deutschland GmbH Parkhaus Milaneo	Mailänderplatz 7 70173 Stuttgart	Tiefgarage	34944
21	Parkplatz Seidenstraße	In der Nähe von Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR, Hegelstraße 33, 70174 Stuttgart.	Parkplatz	1000
22	Pariser Platz	Pariser Pl. 7, 70173 Stuttgart		3330
23	Wilhelmsplatz	Wilhelmspl. 1, 70182 Stuttgart		3100
24	Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR	In der Nähe von Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR, Hegelstraße 33, 70174 Stuttgart.		3000
25	Grünfläche auf der Leuschnerstraße	Leuschnerstraße 12, 70174 Stuttgart		1730
26	Tiefgarage Liederhalle - Bosch Areal APCOA	Breitscheidstraße, 70174 Stuttgart	Tiefgarage	13145,6
27	Parkhaus am Marienplatz APCOA	Marienplatz 8, 70178 Stuttgart	Parkhaus	2329,6
28	Tiefgarage Südtor APCOA	Kolbstraße 10, 70178 Stuttgart	Tiefgarage	4076,8
29	Tiefgarage Südwestbank APCOA	Schwabstraße 18, 70178 Stuttgart	Tiefgarage	4056
30	Tiefgarage Moltke-Areal	Schwabstraße 93 70193 Stuttgart	Tiefgarage	5324,8

30	Tiefgarage Moltke-Areal	Schwabstraße 93 70193 Stuttgart	Tiefgarage	5324,8
31	Rewe-Markt Parkplatz	Ostendstraße 75 70188 Stuttgart	Tiefgarage	2371,2
32	Neckartor	Hauffstraße 5 70190 Stuttgart	Tiefgarage	2891,2

Tabelle 10-1: Ermittelte Standortmöglichkeiten für City-Hubs

ID	Name	Grund für Ausschluss ¹	Ausgewählt ²
1	APCOA PARKING Deutschland GmbH Königsbau-Passagen	innerhalb des City-Rings	
2	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Landtag (Parkplatz)	innerhalb des City-Rings	
3	Q-Park Operations Germany GmbH & Co. KG Galeria Kaufhof	Kernzone Heilquelle	
4	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Keplerstraße P1		
5	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Theodor-Heuss-Straße	Kernzone Heilquelle	
6	Stuttgarter Heimschutz Otto Müller GmbH & Co. KG Schlossgarten		
7	LHS Esslinger Straße		
8	E. Breuninger GmbH & Co. Breuninger		✓
9	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Hofdienergarage		
10	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Kronprinzstraße	innerhalb des City-Rings	
11	Stuttgarter Heimschutz Otto Müller GmbH & Co. KG Schwabenzentrum	Kernzone Heilquelle	
12	PARK SERVICE HÜFNER GmbH + Co. KG Züblin	Kernzone Heilquelle	
13	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Katharinen Hospital / Lindenmuseum		
14	Klinikum der LHS gKAÖR Olgahospital / Frauenklinik		
15	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Hauptbahnhof ³		✓
16	APCOA PARKING Deutschland GmbH Liederhalle / Bosch Areal		
17	Contipark Parkgaragengesellschaft mbH LBBW	Europaviertel	
18	PBW Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH Rotebühlhof Finanzamt		

19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG Gerber		✓
20	APCOA PARKING Deutschland GmbH Parkhaus Milaneo	Europaviertel	
21	Parkplatz Seidenstraße		
22	Pariser Platz	Europaviertel	
23	Wilhelmsplatz		
24	Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdÖR		✓
25	Grünfläche auf der Leuschnerstraße		
26	Tiefgarage Liederhalle – Bosch-Areal APCOA		
27	Parkhaus am Marienplatz APCOA	Alternativroute	
28	Tiefgarage Südtor APCOA	Alternativroute	
29	Tiefgarage Südwestbank APCOA	Alternativroute	
30	Tiefgarage Moltke-Areal	Alternativroute	
31	Rewe-Markt Parkplatz	Alternativroute	
32	Neckartor	Alternativroute	

Tabelle 10-2: Überblick über ausgeschlossene und ausgewählte City-Hubs

¹Vgl. Abschnitt 3.3.4.2

²Vgl. Abschnitt 3.2.3.3

³Das Bauwerk befindet sich im Bebauungsplangebiet Kriegsbergareal (alte Bahndirektion). Inwieweit dieser Standort langfristig als Hub Standort zur Verfügung stehen wird, ist offen. Ein zukünftiger Hub-Standort in die-sem Areal, ggf. an veränderter Position, wird empfohlen und ist im Rahmen weiterer Planungen abzustimmen.

Leitfaden Interviews Stakeholdermanagement UWT

Ziel: Machbarkeit des UWT aus der jeweiligen Fachperspektive erfassen

Zeitraumen: 1,5 h

Fragenkatalog:

Vorstellung und Einführung

Hallo...

Erst einmal vielen lieben Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben uns zu unterstützen und sich heute die Zeit für das Interview nehmen.

Um die Ergebnisse besser auswerten zu können würde ich das Interview gerne aufnehmen (zur besseren Auswertung, die Aufnahme wird im Anschluss wieder gelöscht). Die Ergebnisse werden im Anschluss aggregiert und anonymisiert, sodass diese nicht mehr auf Sie persönlich zurückzuführen sein werden. Dazu habe ich Ihnen die Einverständniserklärung bereits zur Signatur übersandt. Wenn Sie mit der Aufnahme einverstanden sind, würde ich Sie bitten mir dies kurz noch einmal mündlich zu bestätigen.

Vielen Dank.

Zunächst würden wir uns einmal kurz vorstellen, damit Sie auch wissen wer Ihnen gegenüber sitzt. Mein Name ist Karen Unverfärth, ich bin Wirtschaftspsychologin, arbeite aktuell bei der FC-Gruppe und ich werde heute durch das Interview leiten. Mit mir hier, vorrangig als Zuhörer, sind Payam Dehdari von der Hft Stuttgart und Felix Rauscher vom KIT. (Mit mir hier sind zwei meiner Kollegen, die sich auch einmal kurz selbst vorstellen.)

Wir beschäftigen uns im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mit der Umsetzbarkeit eines unterirdischen Warentransportsystems für Stuttgart. Genauer werden wir Ihnen das Projekt und das unterirdische Warentransportsystem im Laufe des Interviews noch einmal vorstellen. Fokus heute soll Ihre Meinung zum aktuellen Zustand des Warentransports in/nach Stuttgart sein, sowie Ihre Meinung über das unterirdische Warentransportsystem.

Daher gibt es hier keine richtigen oder falschen Antworten. Uns interessiert Ihre persönliche Perspektive und Ihre bisherigen Erfahrungen. Um Ihre persönlichen Beweggründe bestmöglich zu verstehen, freuen wir uns, wenn Sie gerne einfach laut denken, und uns so an Ihren Überlegungen teilhaben lassen. Sollte es Frage geben, die Sie nicht beantworten können oder wollen, lassen Sie uns dies bitte einfach wissen.

Im Laufe des Interviews werden wir die folgenden 5 Bereiche abdecken:

- Ist-Situation: Zufriedenheit und Probleme
- Unterirdisches Warentransportsystem + Ihr Interesse
- Mögliche Rahmenbedingungen
- Ausblick in die Zukunft
- Abschlussfazit

Sollte es Fragen (zum Prozess oder inhaltlich) geben können Sie diese gerne jederzeit stellen. Auch wenn Sie weitere Ergänzungen und Einfälle haben, sind wir für diese jederzeit offen.

Haben Sie soweit noch Fragen zum Vorgehen? Wenn es von Ihrer Seite aus keine weiteren Fragen mehr gibt, würden wir jetzt in das Interview starten.

Zu Beginn würde ich Sie bitten, dass Sie sich ebenfalls kurz vorstellen und dabei in 2 bis 3 Sätzen auf Ihre aktuelle Tätigkeit eingehen.

Hauptteil

Zuerst interessiert uns Ihre aktuelle Ist-Situation, um zu verstehen, wie der Warentransport aktuell abläuft und wo ggf. Ansatzpunkte für Veränderungen wären.

- Dazu bitte ich Sie uns Ihren aktuellen Prozess zu beschreiben: Wie sieht ein typischer Lieferprozess bei Ihnen aus, ab Depot bis zum Endkunden?
- Wie zufrieden sind Sie mit dem Prozess?
 - Was stört Sie? (Intern und Extern)
 - Warum?
 - Wie könnte es besser sein?
 - Was haben Sie bisher unternommen, um die angesprochenen Probleme zu lösen?
- Wenn Sie Ihre Zufriedenheit mit der aktuellen Situation auf einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (perfekt, besser geht nicht) bewerten müssten, wo sehen Sie diese?

Im nächsten Schritt möchte ich Ihnen das Konzept des unterirdische Warentransportsystems vorstellen. [Präsentation zeigen] >> gibt es soweit hierzu Rückfragen von Ihrer Seite? Ist Ihnen das Konzept verständlich?

- Was ist Ihr spontaner Eindruck /Ihre spontane Meinung zum UWT?
- Welche offenen Fragen hätten Sie an so ein System? Was müsste aus Ihrer Perspektive noch geklärt werden?
 - Prämisse: neutraler Betreiber >> Springen: wenn es aufkommt (Betreiber)
 - » Was käme für Sie infrage? Was nicht?

Wenn Sie jetzt an Ihren Prozess denken, und gedanklich die Pakete im Depot sind. Welche Vor- und Nachteile würden Sie für sich und Ihr Unternehmen (als Logistikdienstleister) sehen, wenn diese ab hier über das UWT transportiert werden? Bzw. von hier nur bis zum Urban-Hub transportiert werden müssten und nicht mehr bis an den Endkunden? (Gerne mit Vor- oder Nachteilen starten, je nachdem, was leichter fällt)

- Sehen Sie Vorteile im System des UWT?
 - Im Vergleich mit anderen Systemen?
 - Die beispielsweise aktuell nicht erfüllt sind?
- Welche Nachteile/Risiken sehen Sie?
 - Zuordnen zu Akzeptanzmodell/Zusammengefasstes Modell (UTAUT2, Huijts, Visser) (ggf. an einzelnen Punkten gezielt nachfragen)
 - Wahrgenommene Vorteile: Effektivität? Kompatibilität? Sicherheit? Innovativität? Attraktivität? Nachhaltigkeit? Geschwindigkeit?, Vermeidung Stuttgarter Innenstadt, Puffer, höhere Kontrolle über gezielte Zustellung? Reliabilität? Kosten?
 - Wahrgenommene Nachteile: Kosten? Risiken?
 - Erwarteter Aufwand plus erwartete Performance? Kosten/Nutzen?
 - Wird eine Notwendigkeit für die Veränderung gesehen? Problembewusstsein?
 - Welche Unternehmensnormen nehmen hier Einfluss? >> Für dein Unternehmen, gibt es Unternehmensweite Ziele, Werte, strategische Ausrichtungen/Visionen die hier eine Rolle spielen könnten/auf die dies

ein zahlen könnte? (Klimaneutralität, Nachhaltigkeit, Lebenswerte Stadt)

- Von den zu Beginn angesprochenen Problemen: Könnten Sie sich vorstellen, dass das UWT diese lösen könnte? Und wenn ja welche/wie?
- Würden Sie ein UWT für Ihren Warentransport auf der vorletzten Meile nutzen? (Interesse)
 - Wenn ja: Was spricht aus Ihrer Perspektive dafür? (Warum?)
 - Was muss das System mindestens können/leisten? Welche Gegebenheiten sind notwendig?
 - Wenn nicht: Was spricht dagegen? Wie müsste die Idealsituation aussehen, dass Sie ihn nutzen würden/dass das System für sie attraktiv wird?
 - Gibt es unüberwindbare Vorbehalte?
 - Wenn wir nicht die Idealsituation, sondern den Worst-Case anschauen: Wie müssten sich die Rahmenbedingungen verschlechtern, dass das UWT interessant wird?
 - » Wann wird es spannend? Wechsellpunkt/ Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen >> SZENARIEN/HYPOTHETISCH: Welche Faktoren würden die Situation so unbequem machen, dass sie es abgeben wollen?
 - » Fahrverbote, Parkverbote, Dieserverbote, Sperrzeiten, fehlende Infrastruktur, begrenzte Lieferzeiten, Innenstadtmaut etc.
 - Was wären auf der anderen Seite absolute No-Gos, wodurch eine Nutzung des UWT auf keinen Fall in Frage käme?
 - Könnten Sie sich vorstellen am UWT beteiligt zu sein? (auch wenn Nutzung eig. nein - wenn er auf jeden Fall kommt/Sie hierdurch Einfluss auf das System haben könnten)
 - Würden Sie das UWT eher als Chance oder als Wettbewerb sehen?
 - Und wenn als Chance, wie könnte ihre Beteiligung aussehen?
 - Nutzer, Kunden, Teilhaber, Betreiber?
 - Wenn Nutzer/Kunde:
 - Hypothetisch: Wie viel wären Sie bereit für den Transport zu zahlen? Bzw. welchen Anteil wären Sie bereit abzugeben? Was wären Ihnen die potenziellen gesparten Kapazitäten wert?
 - Kritische Punkte (als potenzieller Rahmen-Interesse oder No-Go):

Im Folgenden würde ich gerne mit Ihnen einige Rahmenbedingungen abklären, bei denen mich interessiert, ob diese für Sie infrage kommen oder nicht, und warum.

- Sehen Sie das System als kompatibel zu Ihren aktuellen Prozessen? Ließe es sich einfach eingliedern?
- Was wäre, wenn Sie die Ware für das System Umpacken müssten? Einheitliches Transportsystem/Container notwendig?
- Weiterer Umschlagpunkt realistisch? (Wie müsste hier der Prozess am Urban-Hub und vom City-Hub aussehen)
- Betreibermodelle: Komplette Abgabe ab UWT oder wären Sie daran interessiert weiterhin die Distribution auf der letzten Meile zu verantworten?

- Geteilte Infrastruktur (wie pick-up points oder gar letzte Meile zusammen)? Wie sind die Beziehungen untereinander? Wäre Kooperatives System denkbar?
- Interesse an White-Label Lösung? Sichtbarkeit beim Endkunden? Kompromisse? Franchise?

Ausblick:

- Was erwarten Sie selbst für Veränderungen in den nächsten 5 bis 10 Jahren (in der Logistik, im Transport, im Volumen, bei den Kunden etc.)?
- Welche Maßnahmen planen sie ggf. selbst (wenn Sie das mit uns teilen können)?
- Konkurrenz/Alternativideen/Lösungen, statt des UWT (die aus Ihrer Sicht wahrscheinlicher sind oder Sie als „besser/sinnvoller“ bewerten würden?)
- (Wie) könnte das UWT dort (bei Ihnen) hineinpassen?

Abschluss

Wie würden Sie abschließend die Nützlichkeit für Sie des Unterirdischen Transportsystems für Stuttgart auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht, brauche ich nicht) bis 10 (sehr groß, sollte auf jeden Fall eingeführt werden) beschreiben? Und warum?

Wie würden Sie abschließend Ihr Interesse am Unterirdischen Transportsystem für Stuttgart auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht, brauche ich nicht) bis 10 (sehr groß, sollte auf jeden Fall eingeführt werden) beschreiben? Und warum?

Wie würden Sie abschließend Ihr Potenzial für die Stadt Stuttgart des Unterirdischen Transportsystems für Stuttgart auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht, brauche ich nicht) bis 10 (sehr groß, sollte auf jeden Fall eingeführt werden) beschreiben? Und warum?

Mit wem sollten wir noch reden? Wer könnte Roadblocker sein? (Wo finden sich vielleicht aber auch Synergien?)

Damit hätten wir das Ende unseres Interviews erreicht. Gibt es über die Dinge, die wir heute besprochen haben, hinaus noch etwas, was Sie uns mitgeben möchten? Haben Sie noch Anmerkungen oder offene Fragen? Oder ist Ihnen im Laufe des Interviews noch etwas eingefallen, dass Sie noch ergänzen möchten?

Was können wir darüber hinaus noch für Sie tun?

Gerne können wir Sie über die Ergebnisse auf dem Laufenden halten.

Noch einmal herzlichen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben und für Ihre Offenheit. Ihr Input ist unglaublich wertvoll für uns.

Vielen Dank und einen schönen Tag!

(Aufnahme stoppen)

Ziel (aus Planung Phase 2)	Modelle	Themen/Fragen aus dem Angebot	Übersicht der Fragen aus dem Leitfaden
<ul style="list-style-type: none"> Zufriedenheit IST (Pain-Points) Akzeptanz <ul style="list-style-type: none"> Interesse (Treiber, Attraktivitätsfaktoren) Hindernisse (Hemmnisse) Mindestanforderungen/Rahmenbedingungen 	<p>UTAUT2 – Venkatesh, Thong & Xu;</p> <p>Comprehensive acceptance framework – Huijts et al.;</p> <p>Research Model: Barriers and Enablers ULS – Wiegman, Visser, Konings & Pielage</p>	<ul style="list-style-type: none"> Akzeptanzhöhe Konfliktpotenzial und Einfluss (Treiber und Hemmnisse) Änderungsbereitschaft Unüberwindbare Vorbehalte Maßgebliche Beeinflussung durch veränderte Rahmenbedingungen/ Maßnahme (welche?; wären diese politisch, rechtlich und sozial möglich?) <p><i>Betrachtung der drei Phasen Planung, Bau, Betrieb</i></p> <p>Stuttgart 21</p> <p><i>FAZIT: Ist Machbarkeit gefährdet?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> IST Situation: Zufriedenheit und Probleme Konzept des UWT: Vorteile und Nachteile (Akzeptanzmodell) Nutzung (Änderungsbereitschaft) Veränderte Rahmenbedingungen: Idealsituation & Worst Case Unüberwindbare Vorbehalte - No-Gos Art der Beteiligung und Bereitschaft Kosten Generelle Rahmenbedingungen: Was ist denkbar? Ausblick 5 bis 10 Jahre Abschlussfazit Interesse und Nützlichkeit Ideen weitere Stakeholder/Roadblocker

Kriterium	Bewertung	Gewicht (1-3)	Gewertigtes Kriterium	Gewicht	Gewertigtes Kriterium	IKW-Gesamt	SVZ 300 Aufz.	Grundstück auf MfG-Gesamte	Grundstück im Innenort
Kosten									
Anschaffungskosten (Grundstückskosten)	1- sehr gering, 5- sehr hoch	1	Angewandte Bodenpreise < 200 €/m²	5	Bodenpreise < 200 €/m²	5	Bodenpreise < 200 €/m²	5	Bodenpreise < 200 €/m²
Geografische Lage und Infrastruktur									
Grundstückverfügbarkeit (Inhaber, Bebauungsplan)	1- so gut wie gar nicht, 5- verfügbar	3	Aufbauvorgabe für Bebauungsplan	3	Keine SVZ-Soll-Nutzung	3	Keine SVZ-Soll-Nutzung	3	Keine SVZ-Soll-Nutzung
Realisierbarkeit der Übergangsfindung (Ausreichend Fläche für Parkplat, Bus etc.)	1- keine andere ohne Herausforderungen, 5- Anbindung nicht oder schwierig	3	Grundstückbreite > 10m	3	Grundstückbreite > 10m	3	Grundstückbreite > 10m	3	Grundstückbreite > 10m
Verkehrsinfrasturktur exklusive Straße (Verbindung mit verschiedenen Verkehrsträgern)	1- mehrere Optionen, 5- keine Optionen	2	Umhangshöhe > 10m	3	Umhangshöhe > 10m	3	Umhangshöhe > 10m	3	Umhangshöhe > 10m
Verkehrsinfrasturktur - Straße	1- sehr gut, 5- sehr schlecht	3	AB1: 10m, 100m, 200m, 300m	2	AB1: 10m, 100m, 200m, 300m	2	AB1: 10m, 100m, 200m, 300m	2	AB1: 10m, 100m, 200m, 300m
Güterverkehrsaufkommen von Maßnahmgerechte (Bus ST-Analyse)	1- < 3 Mio., 5- > 1 Mio.	3	173 Mio. Fig. p.a. in BÜB	4	0,07 Mio. Fig. p.a. in BÜB	4	0,07 Mio. Fig. p.a. in BÜB	4	0,07 Mio. Fig. p.a. in BÜB
Distanz zwischen Urban- und City-Hub	1- sehr nah, 5- sehr weit	2	8,7 km (direkt)	4	8,4 km (direkt)	4	8,4 km (direkt)	4	8,4 km (direkt)
Mögliche Abnehmer auf Tunnelende	1- mehrere Optionen, 5- keine Optionen	2	Bus, Boot	1	Bus	1	Bus	1	Bus
Verfügbare Fläche									
Grundstückfläche	1- sehr gut, 5- sehr schlecht	1	4,7 ha	1	4,7 ha	1	4,7 ha	1	4,7 ha
Expansionsmöglichkeiten	1- sehr Möglichkeiten, 5- die Möglichkeiten sind eher mangelhaft	1	Fläche angeschlossen	2	Fläche angeschlossen	2	Fläche angeschlossen	2	Fläche angeschlossen
Ausrichtung									
Zustand der öffentlichen Einrichtungen (Strom, Wasser, Versorgungs-einrichtungen)	1- steht zur Verfügung, 5- Schließung ist notwendig	1	Nicht erschlossen (nur 300m)	5	Nicht erschlossen	5	Nicht erschlossen	5	Nicht erschlossen
Umwelt und Umgebung									
Auswirkungen auf die ökologische Landschaft (Erhaltung der ursprünglichen umgebenden Landschaft, Architektur)	1- keine Auswirkungen, 5- große negative Auswirkungen	1	Keine Auswirkungen	5	Keine Auswirkungen	5	Keine Auswirkungen	5	Keine Auswirkungen
Auswirkungen auf die Anwohner	1- positiv (kein Einfluss), 5- negativer Einfluss (insbesondere auf die weniger verdichteten Straßen)	2	56000 Menschen der UWT	3	56000 Menschen der UWT	3	56000 Menschen der UWT	3	56000 Menschen der UWT

Tabelle 10-4: Bewertung Urban-Hub-Standorte

170-075 Unterirdischer Warentransport
Nutzwertanalyse Fördermittel

Kriterium	Bewertung	Gewichtungs- faktor	Tragkettenförderer		Schlepper (Autom. Routenzug)		Elektrotragbahn/ Elektropalettenbahn		Fahrerloses Transportsystem		Schienengebundenes Fördermittel (z.B. CargoCap)	
			Punktzahl	Teilnutzwert	Punktzahl	Teilnutzwert	Punktzahl	Teilnutzwert	Punktzahl	Teilnutzwert	Punktzahl	Teilnutzwert
Auswirkung auf Tunneldurchmesser	+ : Fördermittel hat keinen wesentlichen Einfluss auf den Röhrendurchmesser (Aufbau < 200 mm) o: Fördermittel hat geringen Einfluss auf den Röhrendurchmesser (Aufbau > 200 mm und < 700 mm) - : Röhrendurchmesser wird maßgeblich von Fördermittel beeinflusst (Aufbau > 700 mm) + : Keine Wartung in der Röhre notwendig	16%	2	0,32	2	0,32	2	0,32	2	0,32	2	0,32
Wartungsaufwand in der Röhre	o: Wartung einzelner Komponenten in der Röhre notwendig - : Alle zu wartenden Komponenten in Röhre verbaut + : Bei Ausfall einer Komponente kann System weiter genutzt werden o: System kann bei Ausfall einer Komponente in Teilen weiter betrieben werden - : Ausfall einer Komponente bringt Gesamtsystem zum Stehen	16%	3	0,48	3	0,48	2	0,32	3	0,48	3	0,48
Ausfallfolgen	+ : Kosten < 1,0 Mio € / Jahr o: Kosten > 1,0 Mio € / Jahr und < 2 Mio. € / Jahr - : Kosten > 2,0 Mio € / Jahr	16%	2	0,32	3	0,48	2	0,32	3	0,48	2	0,32
Betriebskosten (qualitativ)	o: Spielzeit > 100 min und < 200 min + : Spielzeit < 100 min - : Spielzeit > 200 min	8%	1	0,08	3	0,24	2	0,16	1	0,08	3	0,24
Durchsatz/ Leistungsfähigkeit	o: Kosten > 1,0 Mio € / km und < 2 Mio. € / km - : Kosten > 2,0 Mio € / km + : Ein Ausfall von Komponenten kann durch geeignete Maßnahmen ausgeschlossen werden o: Die Ausfallwahrscheinlichkeit kann durch regelmäßige Wartung auf ein Minimum reduziert werden - : System verfügt über viele ausfallfähige Komponenten; die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls ist hoch	8%	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16
Investitionskosten pro km (qualitativ)	+ : System lässt sich bei späteren Bauabschnitten ohne wesentliche Auswirkungen auf den Bestand erweitern o: Eine Erweiterung hat deutliche Auswirkungen auf das Bestandsystem - : Eine Erweiterung des Gesamtsystems erfordert eine vollständige Neuplanung des Fördermittel	4%	3	0,12	3	0,12	2	0,08	3	0,12	3	0,12
Ausfallwahrscheinlichkeit	+ : Höhere Förderleistung z.B. durch Zukauf eines weiteren Gerätes problemlos möglich o: Erhöhung der Förderleistung nur durch hohen zusätzlichen Investitionsaufwand möglich - : Erhöhung der Förderleistung nach einmaliger Auslegung des System nicht mehr möglich + : Verzweigungen problemlos und ohne Auswirkung auf dicht nachfolgenden Transport möglich o: Verzweigungen möglich, jedoch evtl. Auswirkungen auf dicht nachfolgende Transporte - : Verzweigungen nicht möglich	4%	1	0,04	3	0,12	2	0,08	3	0,12	2	0,08
Flexibilität bei Änderung der Förderleistung	+ : Verzweigungen problemlos und ohne Auswirkung auf dicht nachfolgenden Transport möglich o: Verzweigungen möglich, jedoch evtl. Auswirkungen auf dicht nachfolgende Transporte - : Verzweigungen nicht möglich	4%	2	0,08	3	0,12	2	0,08	3	0,12	3	0,12
Aufwand bei Verzweigungen												
Summe Nutzwert			☆	2,08	★	2,60	☆	1,92	★	2,44	★	2,24
Platzierung				4		1		5		2		3

günstig = 3 ; bedingt = 2 ; ungünstig = 1

Tabelle 10-5: Nutzwertanalyse zur Vorauswahl der Horizontalförderer

Kostenschätzung Fördermittel

Strompreis Stadt Stuttgart [€]	0,32 €
Personalkosten Betriebspersonal VK [€]	56.000 €
Anzahl Arbeitstage	304
Paletten pro Tag [St.]	5.000
Mittlere Strecke UH-CH [km]	8,9
Durchschn. km pro Tag	89.100

Horizontalförderer				
Investition	Einheit	Schlepper (Autom. Routenzug)	Fahrerloses Transportsystem	Schienegebundenes Fördermittel (z.B. CargoCap)
Kosten Entwicklung	€	500.000 €	500.000 €	5.000.000 €
Kosten Infrastruktur Gesamt	€	5.791.500 €	5.791.500 €	24.948.000 €
Kosten Fahrzeug	€	100.000 €	120.000 €	39.000 €

Operative Kosten pro Jahr	Einheit	Schlepper (Autom. Routenzug)	Fahrerloses Transportsystem	Schienegebundenes Fördermittel (z.B. CargoCap)
Instandhaltung Infrastruktur pro Jahr	€	173.745 €	173.745 €	748.440 €
Instandhaltung Fahrzeug pro Jahr	€	3.000 €	3.600 €	1.170 €
IT und Software pro Jahr	€	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Energiekosten pro Jahr	€	833.194 €	878.951 €	859.181 €
Personal	€	280.000 €	280.000 €	280.000 €
Operative Kosten pro Jahr	€	1.311.939 €	1.357.696 €	1.912.621 €

Operative Kosten pro km	Einheit	Schlepper (Autom. Routenzug)	Fahrerloses Transportsystem	Schienegebundenes Fördermittel (z.B. CargoCap)
Instandhaltung Infrastruktur pro km	€	0,006 €	0,006 €	0,028 €
Instandhaltung Fahrzeug pro km	€	0,000 €	0,000 €	0,000 €
IT und Software pro km	€	0,001 €	0,001 €	0,001 €
Energiekosten pro km	€	0,123 €	0,065 €	0,063 €
Personal pro km	€	0,010 €	0,010 €	0,010 €
Operative Kosten pro km	€	0,141 €	0,082 €	0,102 €

Tabelle 10-7: Kostenschätzung Vertikalförderer

Kostenschätzung Fördermittel

Strompreis Stadt Stuttgart [€]	0,32 €
Personalkosten Betriebspersonal WK [€]	56.000 €
Anzahl Arbeitstage	304
Paletten pro Tag [St.]	5.000
Mittlere Strecke UH-OH [km]	8,9
Durchschn. km pro Tag	89,100

Lastübergabe		
Investition	Tragkettenförderer	Rollenbahn
Herstellungskosten	80.000 €	80.000 €

Operative Kosten	Tragkettenförderer	Rollenbahn
Instandhaltung pro Jahr	2.400 €	2.400 €
TÜV(abschlägig) pro Jahr	100 €	100 €
Energiekosten pro Jahr	770 €	802 €
Personal	- €	- €
Summe Kosten pro Jahr	3.270 €	3.302 €

Operative Kosten pro Tag	Tragkettenförderer	Rollenbahn
Instandhaltung pro Tag	7,9 €	7,9 €
TÜV(abschlägig) pro Tag	0,3 €	0,3 €
Energiekosten pro Tag	2,5 €	2,6 €
Personal pro Tag	- €	- €
Operative Kosten pro Tag	10,8 €	10,9 €

Anwendung Münchner Verfahren

Trassenbreite	5,70 €
Breite Schutzstreifen	10 €

Trassensegment (parallel zu S21)	Alexanderstr.- Fraasstr.	Fraasstr.- Straußweg	Straußweg- Cableberger Hauptstr.	Cableberger Hauptstr.- Jägerhalde	Jägerhalde - Ulmer Straße		
Gradienten (Oberkante)	225	221	208	200	193		m
Gelände	300	345	309	311	224		m
Tiefenlage	75	124	101	111	31		m
Trassenlänge	850	911	352	1.902	180		m
Bodenrichtwert	2.400	2.500	2.200	0	1.100		€/m ²
Wertmindernde Fläche	21.845	23.413	9.046	48.880	4.628		m ²
Wertminderung Basistiefe	3,5%	3,0%	3,5%	0,0%	5,0%		

Tabelle 10-8: Kostenschätzung Lastübergabe

Anwendung Münchner Verfahren

Trassenbreite	5,70 €
Breite Schutzstreifen	10 €

Trassensegment (parallel zu S21)	Alexanderstr.- Fraasstr.	Fraasstr.- Straußweg	Straußweg- Cableberger Hauptstr.	Cableberger Hauptstr.- Jägerhalde	Jägerhalde - Ulmer Straße			
Gradienten (Oberkante)	225	221	208	200	193		m	
Gelände	300	345	309	311	224		m	
Tiefenlage	75	124	101	111	31		m	
Trassenlänge	850	911	352	1.902	180		m	
Bodenrichtwert	2.400	2.500	2.200	0	1.100		€/m ²	
Wertmindernde Fläche	21.845	23.413	9.046	48.880	4.628		m ²	
Wertminderung Basistiefe	3,5%	3,0%	3,5%	0,0%	5,0%			
Wertminderung Tabelle (<15m)	0%	0%	0%	0%	0%		/m ²	
Wertminderung proportional (≥15m)	0,7%	0,4%	0,5%	0,0%	2,4%		/m ²	
	Kein Bodenrichtwert							
Wertminderung	366.996	212.414	103.451	0	123.156		€	
	432	233	294	0	684		€/m	
Gesamt	806.016,67 €							
Mittelwert Laufmeter	352 €						€/m	

Tabelle 10-9: Anwendung Münchner Verfahren zur Grundstücksunterfahrung

Bewertung der verschiedenen Arten von Hubs anhand von Kriterien.							Bewertungskriterien	Kommentare
Kriterium	Leerstehende Immobilien	Grundstücke	Art von Hub		Freiflächen auf Gebäude			
			Parkhäuser/ Tiefgaragen	U-Bahn-Stationen				
Kosten								
1	Betriebskosten (Mietkosten)	5	1	4	2	2	1- sehr gering, 5- sehr hoch	Leerstehende Immobilien: Dies ist der teuerste Typ, da es sich um ein komplettes Gebäude handelt, das an Sanitäranlagen, Heizung, Wasser und Licht angeschlossen ist. Grundstücke: die billigste Variante, da es keinerlei Infrastruktur oder Versorgungsschlüsse gibt. Parkhäuser/ Tiefgaragen und U-Bahn-Stationen: sind schlecht ausgestattet und haben eine geringe Mietnachfrage. Freiflächen auf Gebäude: sind weniger gut ausgestattet, so dass der angemessene Mietpreis niedriger ist als der von leerstehenden Immobilien.
2	Anschaffungskosten (Grundstückskosten)	2	4	3	5	4	1- sehr gering, 5- sehr hoch	Leerstehende Immobilien: Es wird davon ausgegangen, dass Kosten für die Anpassung des Gebäudes für logistische Zwecke erforderlich sind, aber keine vollständige Umwandlung erforderlich ist. Grundstücke: Große Investitionen sind erforderlich, da der Aufbau von Grund auf gemacht wird. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Eine Anpassung des Gebäudes und seiner Versorgungsinfrastruktur ist erforderlich. U-Bahn-Stationen: Die Kosten für den Umbau sind am höchsten, da die Bauarbeiten unterirdisch im Rahmen der bereits vorhandenen städtischen Infrastruktur durchgeführt werden. Freiflächen auf Gebäude: Hohe Kosten für die Versorgung mit Zugang zum Dach des Gebäudes. Die Fläche ist nicht für den Schutz von Waren, Mitarbeitern usw. geeignet.
Geografische Kriterien und Infrastruktur								
3	Natürliche Bedingungen (z.B. überschwemmungsgefährdetes Flussgebiet, Temperatur, Niederschlag, Bodentyp etc.)	3	2	1	2	4	1- wenige mögliche Hindernisse für den Hub-Betrieb, 5- viele mögliche Hindernisse	Leerstehende Immobilien: Laut den Experten der FC-Gruppe hängt dies weitgehend von den Eigenschaften des Gebäudes ab (z. B. Bodenbelastung), aber im Allgemeinen kann dieser Typ für die Erstellung eines Hubs geeignet sein. Grundstücke: Es ist schwierig, mögliche Hindernisse zu identifizieren. Beim Bauen auf unregelmäßigem Boden kann das Problem mit baulichen Lösungen gelöst werden. Parkhäuser/ Tiefgaragen: der Bodentyp ist kein Hindernis bei der Umwandlung eines Parkhauses in einen City-Hub, andere natürliche Bedingungen müssen in jedem Fall individuell berücksichtigt werden. U-Bahn-Stationen: die Eigenschaften dieses Typs sind geeignet, aber es gibt ein Hindernis in Form von parallelen Personenverkehr in der U-Bahn-Station. Freiflächen auf Gebäude: Wahrscheinliches Problem mit der Bodenbelagungsanfrage, kein Wettbewerbsvorteil.
4	Verkehrsinfrastruktur exklusive Straße (Verbindung mit verschiedenen Verkehrsträgern)	4	4	4	3	4	1- gibt mehrere Optionen, 5- keine Optionen	Jeder Einzelfall muss separat bewertet werden. Es wird davon ausgegangen, dass für alle Typen Schienenschlüsse vorhanden sein können. U-Bahn-Stationen haben auch Zugang zum U-Bahn-System, aber die Möglichkeit der Nutzung muss weiter geprüft werden.
5	Verkehrsinfrastruktur - Straße, Erreichbarkeit, Ein- und Ausfahrten.	3	3	2	3	3	1- sehr gut, 5- sehr schlecht	Jeder Einzelfall muss separat bewertet werden. Es kann sowohl eine sehr gute Anbindung an Straßeninfrastruktur und Bundesstraßen als auch eine schlechte Anbindung (z. B. Fußgängerzonen) geben, daher werden alle Typen außer Parkhäusern mit einer durchschnittlichen Note bewertet. Parkhäuser und Tiefgaragen haben immer Ausgänge und Eingänge, die für Autos geeignet sind, daher ist die Punktzahl höher.
6	Distanz zwischen Urban- und City-Hub	3	3	3	3	3	1- sehr nah, 5- sehr weit	Dieser Aspekt wird in jedem Einzelfall beurteilt und ist nicht von der Typologie abhängig. Hier wird allen Typen von Hubs eine durchschnittliche Note von 3 zugewiesen.
7	Nähe, Anbindung zu wichtigen Verbraucherzentren, Kunden	3	3	3	3	3	1- große Anzahl von Verbrauchern in der Nähe, 5- geringe Anzahl von Verbrauchern	Dieser Aspekt wird in jedem Einzelfall beurteilt und ist nicht von der Typologie abhängig. Hier wird allen Typen von Hubs eine durchschnittliche Note von 3 zugewiesen.
Verfügbare Fläche								
8	Abstellplätzeverfügbarkeit, Ausreichend Platz für Fahrzeuge	4	1	3	5	2	1- viele vorhanden, 5- kaum vorhanden	Leerstehende Immobilien: Platz für Fahrzeuge kann in begrenzter Anzahl vorhanden sein oder auch nicht. Grundstücke: Der notwendige Platz für Fahrzeuge kann während des Baus ermittelt werden. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Abhängig von der Größe des Gebäudes wird der notwendige Platz für Fahrzeuge ermittelt. Der Platz ist auf jeden Fall für Fahrzeuge ausgestattet. U-Bahn-Stationen: Platz ist nicht vorgesehen. Freiflächen auf Gebäude: Unter geeigneten technischen Bedingungen kann der Platz für Fahrzeuge in der gewünschten Anzahl angepasst werden.
9	Pufferfläche für Waren	4	1	3	5	2	1- viele vorhanden, 5- kaum vorhanden	Ähnlich mit Kriterium 8 "Abstellplätzeverfügbarkeit, Ausreichend Platz für Fahrzeuge".
10	Höhenbegrenzung für Fahrzeuge	5	1	4	5	2	1- keine Begrenzung, 5- mäßige Höhenbegrenzung	Leerstehende Immobilien: Hohe Wahrscheinlichkeit der Ungeeignetheit des Gebäudes für Fahrzeuge. Grundstücke: hohe Flexibilität, dank eigener Baupläne. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Höhenbegrenzung, die berücksichtigt werden muss. U-Bahn-Stationen: Für Fahrzeuge eher nicht geeignet. Freiflächen auf Gebäude: Es gibt in der Regel keine Begrenzung, aber die technischen Parameter des Gebäudes und die Fahrzeugigenschaften müssen berücksichtigt werden. Leerstehende Immobilien: Hängt von den angrenzenden Bereichen und Gebäuden ab. Grundstücke: Diese Möglichkeit kann im Bauplan vorgesehen werden. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Erweiterung auf Kosten der weiteren Stellplätze und der angrenzenden Fläche. U-Bahn-Stationen: Eher nicht vorhanden. Eine Erweiterung auf Kosten der Oberfläche ist unwahrscheinlich. Freiflächen auf Gebäude: Eher nicht vorhanden. Eine Erweiterung auf Kosten der unteren Ebenen ist unwahrscheinlich.
11	Expansionsmöglichkeiten	4	1	4	5	5	1- gute Möglichkeiten, 5- die Möglichkeiten sind eher geringfügig	Jeder Einzelfall muss separat bewertet werden. Bei leerstehenden Immobilien und Dachflächen besteht eine größere Wahrscheinlichkeit von Einschränkungen aufgrund der Möglichkeit, dass sich Bewohner im Gebäude befinden.
12	Möglichkeit des Zugriffs rund um die Uhr	2	1	1	1	2	1- nicht begrenzt, 5- hoch begrenzt	Jeder Einzelfall muss separat bewertet werden. Bei leerstehenden Immobilien und Dachflächen besteht eine größere Wahrscheinlichkeit von Einschränkungen aufgrund der Möglichkeit, dass sich Bewohner im Gebäude befinden.
Ausstattung								
13	Zustand der öffentlichen Einrichtungen (Strom, Wasser, Versorgungseinrichtungen)	1	5	3	3	3	1- nicht zur Verfügung, 5- Einbau ist notwendig	Leerstehende Immobilien: alle Versorgungseinrichtungen vorhanden sind. Grundstücke: Es gibt keine Versorgungseinrichtungen. Parkhäuser/ Tiefgaragen: sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzliche Arbeiten erforderlich. U-Bahn-Stationen: sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzliche Arbeiten erforderlich. Freiflächen auf Gebäude: sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzliche Arbeiten erforderlich.
14	Ausstattungen für Mitarbeiter	1	5	3	4	4	1- gut ausgebaut, 5- nicht ausgebaut	Leerstehende Immobilien: Es wird davon ausgegangen, dass die notwendigen Einrichtungen für die Mitarbeiter gut ausgebaut sind. Grundstücke: Ausstattungen für Mitarbeiter fehlen komplett. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Höchstwahrscheinlich ist die Ausstattung nur mittelmäßig und nicht ausreichend. U-Bahn-Stationen und Freiflächen auf Gebäude: Höchstwahrscheinlich sind die Ausstattungen nicht ausreichend oder nicht vorhanden.
15	Stromanschlüssen oder Ladestationen für E-Fahrzeuge	5	4	2	5	5	1- gut ausgebaut, 5- nicht verfügbar	Die Ladestationen sind eher nur für die Parkhäuser und Tiefgaragen vorgesehen (die verfügbare und notwendige Anzahl darf nicht damit übereinstimmen). Im Falle von Grundstücken können manche Parkplätze diese Möglichkeit haben.
Umwelt und Umgebung								
16	Auswirkungen auf die ökologische Landschaft (Erhaltung der ursprünglichen Landschaft, Architektur)	1	5	1	1	4	1- keine Auswirkung, 5- große Auswirkung	Leerstehende Immobilien: Es gibt keine Auswirkungen, da das Gebäude bereits gebaut wurde. Grundstücke: Hohe Auswirkungen, da der Neubau definitiv Veränderungen in der Landschaft mit sich bringt. Parkhäuser/ Tiefgaragen und U-Bahn-Stationen: Es gibt keine Auswirkungen, da sie bereits gebaut und keine drastischen Änderungen zu erwarten sind. Freiflächen auf Gebäude: Starke Auswirkung (z. B. durch zusätzliche Strukturen für die Fahrzeugzufahrt), aber geringer als bei leerstehenden Immobilien.
17	Auswirkungen auf die Anwohner	1	5	2	1	5	1- keine/positive Auswirkung, 5- negative Auswirkungen	Leerstehende Immobilien: keine Auswirkungen. Die Nutzung von leerstehenden Immobilien beeinflusst nicht die Lebensqualität der Anwohner. Grundstücke: je nach Verwendungszweck des Grundstücks können die Auswirkungen sehr stark sein, z. B. bei der Besetzung von Grünflächen. Parkhäuser/ Tiefgaragen: Geringe Auswirkung, da es aus Kostengründen unwahrscheinlich ist, dass ein Parkhaus oder eine Tiefgarage von Anwohnern als Dauerparkplatz genutzt wird. Eine Note "1" ist nicht zutreffend, da ein Parkhaus eher von Anwohnern genutzt wird als eine leerstehende Immobilie oder eine U-Bahn-Station (bei getrenntem Transport von Personen und Gütern). U-Bahn-Stationen: keine Auswirkungen. Bei der Platzierung eines City-Hubs wird die Trennung von Personen- und Güterverkehr vorausgesetzt. Freiflächen auf Gebäude: Starke Auswirkung, besonders wenn sich in der Nähe Wohnräume befinden.
18	Einfluss auf die Verkehrsbelastung	1	1	1	1	1	1- positiver Einfluss, 5- negativer Einfluss	Dieser Aspekt wird in jedem Einzelfall beurteilt und ist nicht von der Typologie abhängig. Ein positiver Einfluss auf die Verkehrsbelastung wird bei der Implementierung des UWT-Systems angenommen.
19	Schädigung des historischen Erbes	1	5	1	1	4	1- keine/positive Auswirkung, 5- negative Auswirkungen	Die Begründung ist identisch mit der für Kriterium 16 "Auswirkungen auf die ökologische Landschaft (Erhaltung der ursprünglichen umgebenden Landschaft, Architektur)".
Qualität								
20	Sicherheit (Diebstahl und Vandalismus)	1	1	1	1	1	1- hohe Sicherheitsstufe, 5- niedrige Sicherheitsstufe	Dieser Aspekt wird in jedem Einzelfall beurteilt und ist nicht von der Typologie abhängig. Laut dem jährlichen Polizeilichen Kriminalstatistikbericht 2020 ist Stuttgart eine der sichersten Großstädte in Deutschland. (Laut Polizeiliche Kriminalstatistik Stuttgart 2020)
Gesamtbewertung der Kriterien		54	56	49	59	63		

Abbildung 10.3: Ergebnisse der Bewertung möglicher Standorttypen für City-Hubs

In Zusammenarbeit:



Firma: _____

 Filiale/Adresse: _____

1. Wie viele **Anlieferungen** erhalten Sie durchschnittlich pro Tag/Woche/Monat/Jahr?
 Anzahl Lieferfahrzeuge: _____ / Tag _____ / Woche
 _____ / Monat _____ / Jahr

Größenklasse des Lieferfahrzeugs: _____

2. Von welchem **Distributionszentrum** werden Sie beliefert?

Adresse: _____

3. An welchen **Tagen** wird die Ware typischerweise angeliefert? An bestimmten Wochentagen: _____ Täglich An wechselnden Wochentagen

4. Auf welcher Art von Ladeinheit (Palette etc.) wird Ihre Ware angeliefert?

5. Wie hoch ist das durchschnittliche Frachtgewicht je Anlieferung?

6. Wie hoch ist die durchschnittliche Auslastung der Lieferfahrzeuge?

Abbildung 10.4: Fragebogen zur Abfrage des Anlieferverhaltens im Handel in Anlehnung an (CargoCap GmbH 2021)

In Zusammenarbeit:



Firma: _____

Filiale/Adresse: _____

1. Wie viele **Auslieferungen** tätigen Sie durchschnittlich pro Tag/Woche/Monat/Jahr?

Anzahl Lieferfahrzeuge: _____ / Tag _____ / Woche

_____ / Monat _____ / Jahr

2. Größenklasse der Lieferfahrzeuge:

Fahrzeugklasse	Ø Anzahl Pakete je Fahrzeug	Volumen je Fahrzeugklasse

3. Wie hoch ist die durchschnittliche Auslastung der Lieferfahrzeuge?

4. Wie hoch ist das durchschnittliche Gewicht je Paket? _____

5. Von welchem **Depot** wird Stuttgart beliefert?

Adresse: _____

6. Betreiben Sie bereits Mikro Depots in Stuttgart? (Wenn ja, bitte die Adresse(n) angeben)

 Ja Nein

Abbildung 10.6: Fragebogen zur Abfrage des Anlieferverhaltens in der KEP-Branche in Anlehnung an (CargoCap GmbH 2021)

Branche	Betrachtete Elemente	Paletten p.a. [Anzahl]	Paletten p.d. [Anzahl]
Verarbeitende Industrie (außerhalb des KR)	Unternehmen 1	3.087.088	12.250
	Unternehmen 2	2.310.946	9.170
	Unternehmen 3	216.940	861
KEP	MG	934.972	3.065
	KR	272.186	892
	CR	19.129	63
Bau	MG [49 Baustellen]	76.507	251
	KR [22 Baustellen]	34.350	113
	CR [8 Baustellen]	12.491	41
Einzelhandel (innerhalb KR)	Baumarkt	33.785	111
	Elektronik	104.342	342
	Handwerksladen	1.771	6
	Haushaltswaren	1.771	6
	Kaufhaus	58.573	192
	Kleidung	167.329	549
	Schuhe	34.528	113
	Drogerie	58.440	192
	Getränkemarkt	83.676	274
	Supermarkt	537.778	1.763
Gesamt (innerhalb KR)		1.401.021	4.594

Tabelle 10-10: Ergebnis des Abnehmermodells inklusive MG

A Projektpartner

Das Projektteam setzt sich aus der FC-Gruppe, dem Karlsruher Institut für Technologie, der Hochschule für Technik Stuttgart und der Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft zusammen.

A.1 FC-Gruppe

Die FC-Gruppe ist ein inhabergeführtes Ingenieurunternehmen mit über 350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, das über mehr als 20 Jahre Erfahrung und über 16 Standorte (u. a. in Stuttgart) verfügt. Als unabhängige Unternehmensgruppe beschäftigt sich die FC-Gruppe mit den Geschäftsfeldern Planen, Steuern, Beraten, Überwachen und Digitalisieren. Die FC-Gruppe plant Technik, Infrastruktur, Logistiksysteme und Gebäude, steuert und überwacht Projekte und Baumaßnahmen. Sie berät Unternehmen und die öffentliche Hand. Die FC-Gruppe übernimmt die Gesamtkoordination des Projektteams und bringt sich u. a. maßgeblich in den Bereichen Fördertechnikplanung und Bautechnik ein.



Abbildung 10.7: Logo der FC-Gruppe

An der Erstellung der Studie haben von Seiten der FC-Gruppe folgende Personen mitgewirkt:

- Herr Dipl.-Ing. (FH) Michael Hoffmann (Projektleitung)
Geschäftsführer FC-Gruppe
m.hoffmann@fc-gruppe.de
+49 721 96196 1124
- Herr Matthias Heusser
- Herr Tilman Roth
- Herr Benjamin Wendschlag
- Herr Christian Seeger
- Herr Michael Walz
- Herr Jan Schmidt-Rohr
- Frau Laura Müller
- Frau Karen Unverfärth

A.2 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist ‚Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft‘. Als einzige deutsche Exzellenzuniversität mit nationaler Großforschung wird hier im Bereich der Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts-, Geistes- und Sozialwissenschaften geforscht. Das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des KIT wurde 1901 gegründet und zählt zu den ältesten Instituten im Bereich der technischen Logistik. Über 25 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten an Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit Schwerpunkt auf der Analyse von Materialfluss-, Lager- und Distributionssystemen, auf der Konstruktion, Entwicklung und Gestaltung neuer intralogistischer Fördersysteme sowie auf dem Zusammenhang zwischen Logistik und Verkehr. Methodisch wird durchgängig auf Simulationen, Optimierungsverfahren des Operations-Research und analytischen Modellen aufgebaut. Das Team des IFL um Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans unterstützt das Projektteam in den Bereichen Logistik- und Materialflussplanung sowie bei der Entwicklung des Zukunftsmodells für das UWT.



Abbildung 10.8: Logo des IFL am KIT

Seitens des IFL waren folgende Personen an der Studie beteiligt:

- Herr Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans (Projektleitung)
Leiter Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme
kai.furmans@kit.edu
+49 721 608 - 48600
- Herr Dr.-Ing. Jan Oellerich
- Herr Felix Rauscher
- Herr Keno Jann Büscher
- Herr Thomas Hodes

A.3 Hochschule für Technik Stuttgart

Im Herzen Stuttgarts befindet sich die Hochschule für Technik Stuttgart. Durch die angebotenen Studiengänge und fachliche Kompetenz bringt die Hochschule als Teil des Projektteams u. a. Erfahrungen für nachhaltige Entwicklung der Logistik mit. So übernimmt die Hochschule für Technik Stuttgart mit der Etablierung des deutschlandweit ersten Master-Studienganges in umweltorientierter Logistik eine Vorreiterrolle bei der Mitgestaltung einer zukunftsorientierten und umweltverträglichen Logistik. Durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Dehdari, Professor für umweltorientierte Logistik, und dessen Team fließen diese innovativen Konzepte in die Machbarkeitsstudie mit ein. Zudem unterstützt die Hochschule für Technik Stuttgart das Projektteam im Bereich Stakeholdermanagement.



Abbildung 10.9: Logo der Hochschule für Technik Stuttgart

Von der Hochschule für Technik Stuttgart wirkten folgende Personen an der Machbarkeitsstudie mit:

- Herr Prof. Dr.-Ing. Payam Dehdari (Projektleitung)
Professor für umweltorientierte Logistik
Payam.Dehdari@hft-stuttgart.de
+49 711 8926 2738
- Herr Prof. Dr. Thomas Bäumer
- Frau Verena Glück
- Herr Nils Sikora
- Frau Marion Wuhler
- Frau Katharina Zimmermann

A.4 Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

Schüssler-Plan ist ein inhabergeführtes Ingenieurunternehmen mit über 900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, 20 Standorten und 60 Jahren Erfahrung. Die Kernkompetenzen von Schüssler-Plan sind die Verkehrsinfrastrukturplanung, die Objekt- und Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken sowie Bau- und Projektmanagementleistungen. Die Tätigkeitsfelder erstrecken sich über die Typologien Brücken, Tunnel, Hochbau, Straßen und Schienenwege sowie Flughäfen und Bahnhöfe. Durch die langjährige Erfahrung mit den örtlichen Gegebenheiten in Stuttgart, bspw. für Stuttgart 21 (S21), kann Schüssler-Plan die Erkenntnisse der bisherigen Untersuchungen unterstützend in den Bereichen Trassenführung und Bautechnik in die Studie mit einbringen.



Abbildung 10.10: Logo der Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

Folgende Personen von Schüssler-Plan unterstützten das Projektteam im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung:

- Herr Philipp Jestaedt
- Herr Christian Baehrecke
- Herr Michael Richter
- Herr Jürgen Heling
- Herr Hans-Günter Weiler

A.5 Weitere Projektunterstützer

Aufrecht, Ines	LHS Abteilung Koordination S21/Rosenstein und Zukunftsprojekte
Bauer, Wulf Kristian	REWE Group
Bopp, Götz	Industrie- und Handelskammer (IHK) Region Stuttgart
Büttner, Judith	Alnatura Produktions- und Handels GmbH
Dillner, Heiko	Logistikspezialist
Fischer, Rudolf	Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Forderer, Wolfgang	LHS Abteilung Mobilität
Gab, Benjamin	LHS Abteilung Städtebauliche Planung Rosenstein
Hägele, Frank	Stadtwerke Stuttgart GmbH
Hauck, Claus-Dieter	LHS Stadtbahn, Brücken und Tunnelbau
Haug, Simone	LHS Abteilung Mobilität
Heinzelmann, Jonas	Hochschule Heilbronn
Heitkamp, Bertrand	LHS Immissions-, Bodenschutz-, Wasserrechts- und Abfallrechtsbehörde
Hillmann, Andreas	REWE Group
Hüftle, Heiko	WOLFF & MÜLLER Holding GmbH & Co. KG
Jung, Stefan	Ed. Züblin AG

Kapp, Rainer	LHS Stadtklimatologie
Karow, Johannes	SCHMALZ+SCHÖN Holding GmbH
Knödler, Rainer	Ed. Züblin AG
Lehmann, Thomas	Märkte Stuttgart GmbH
Lesemann, Leonie	Hochschule Heilbronn
Litauer, Rebecca	Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Mauch, Lars	Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Meyer, Fabian	Alnatura Produktions- und Handels GmbH
Mönnink, Henner	Lidl Stiftung & Co. KG
Mutz, Jürgen	LHS Tiefbauamt mit Eigenbetrieb Stadtentwässerung (SES)
Nestler, Marvin	SVG GARAGE (im Auftrag von SVG Süd)
Oehler, Stephan	LHS Verkehrsplanung, Stadtgestaltung
Picha, Marlene	LHS Integrierte Verkehrsleitzentrale (IVLZ)
Prohaska-Haug, Kerstin	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM)
Stein, Dietrich	CargoCap GmbH
Visser, Jan	Technische Universität Delft
Welsch, Michael	SSP Consult, Beratende Ingenieure GmbH
Widmeyer, Bernd	Robert Bosch GmbH
Zirkwitz, Benjamin	LHS Amt für Umweltschutz

