

MACHBARKEITSSTUDIE UNTERIRDISCHER WARENTRANSPORT  
ABSCHLUSSPRÄSENTATION



## VORSTELLUNG PROJEKTTEAM

### PROJEKTLEITUNG



Dipl.-Ing. (FH) Michael Hoffmann (FC-Gruppe)



Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans (KIT IFL)



Prof. Fr.-Ing. Payam Dehdari (HfT Stuttgart)

### REFERENTEN



Dipl.-Ing. Matthias Heusser (FC-Gruppe)



Michael Walz, M.Sc. (FC-Gruppe)



Felix Rauscher, M.Sc. (KIT IFL)

## WEITERE PROJEKT BETEILIGTE UND ANSPRECHPARTNER



WIR DANKEN ALLEN BETEILIGTEN:



## INHALT



1. KONZEPTEINFÜHRUNG UND VORGEHEN DER STUDIE
2. IST-SITUATION IN STUTTGART – TRANSPORTAUFKOMMEN UND ABNEHMERMODELL
3. ERSCHLIEßUNG DES STADTGEBIETS – STANDORTPLANUNG UND TRASSENPLANUNG
4. MATERIALFLUSS UND FÖRDERTECHNIK
5. BAUTECHNIK
6. STAKEHOLDERMANAGEMENT
7. ZUKUNFTSMODELL DES UNTERIRDISCHEN WARENTRANSPORTS
8. FAZIT UND AUSBLICK

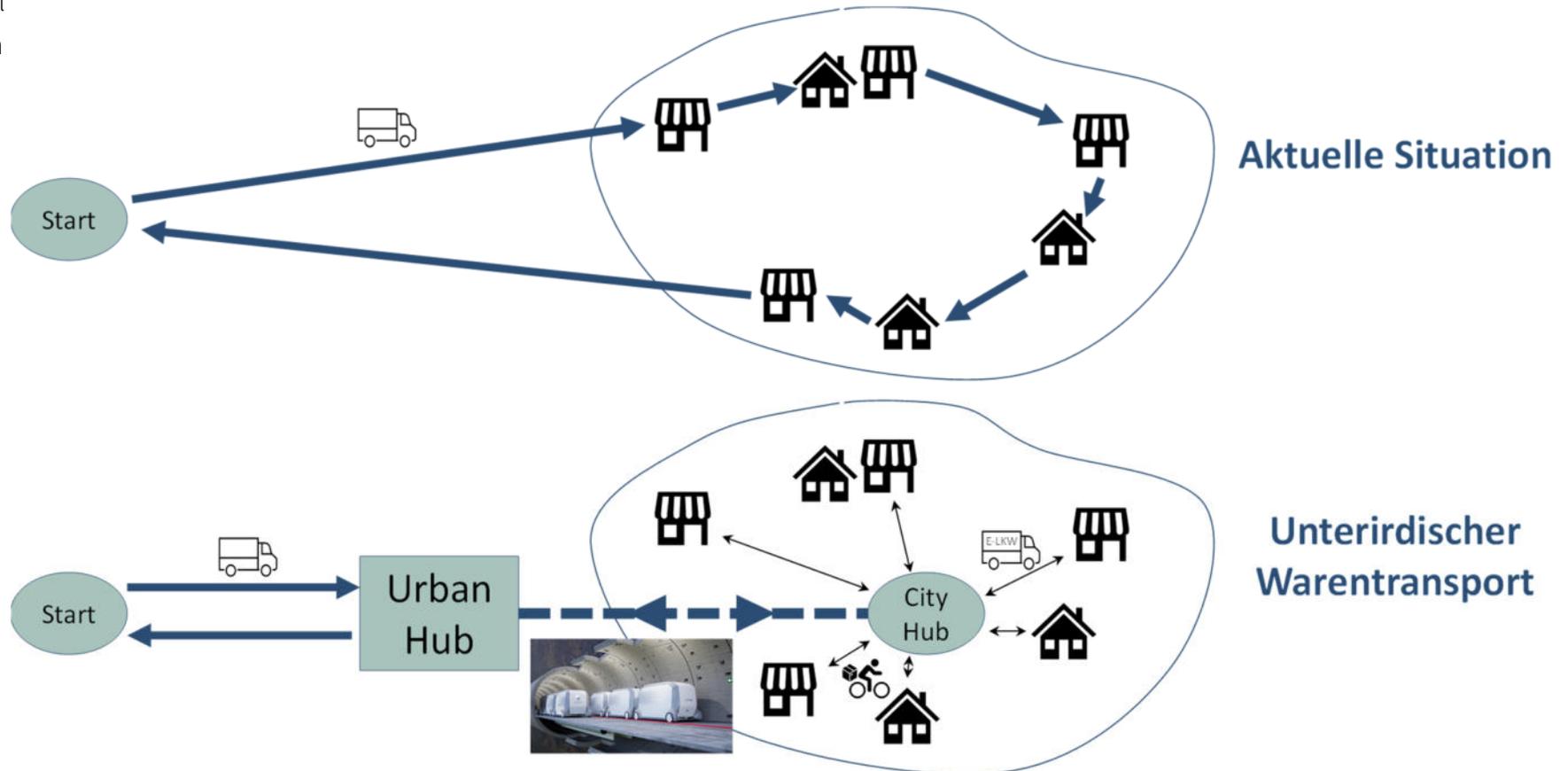
## KONZEPTEINFÜHRUNG UND VORGEHEN DER STUDIE

- 1.1 Vorstellung des Konzepts eines unterirdischen Warentransports
- 1.2 Vorgehensweise der Studie

## VORSTELLUNG DES KONZEPTS EINES UNTERIRDISCHEN WARENTRANSPORTS

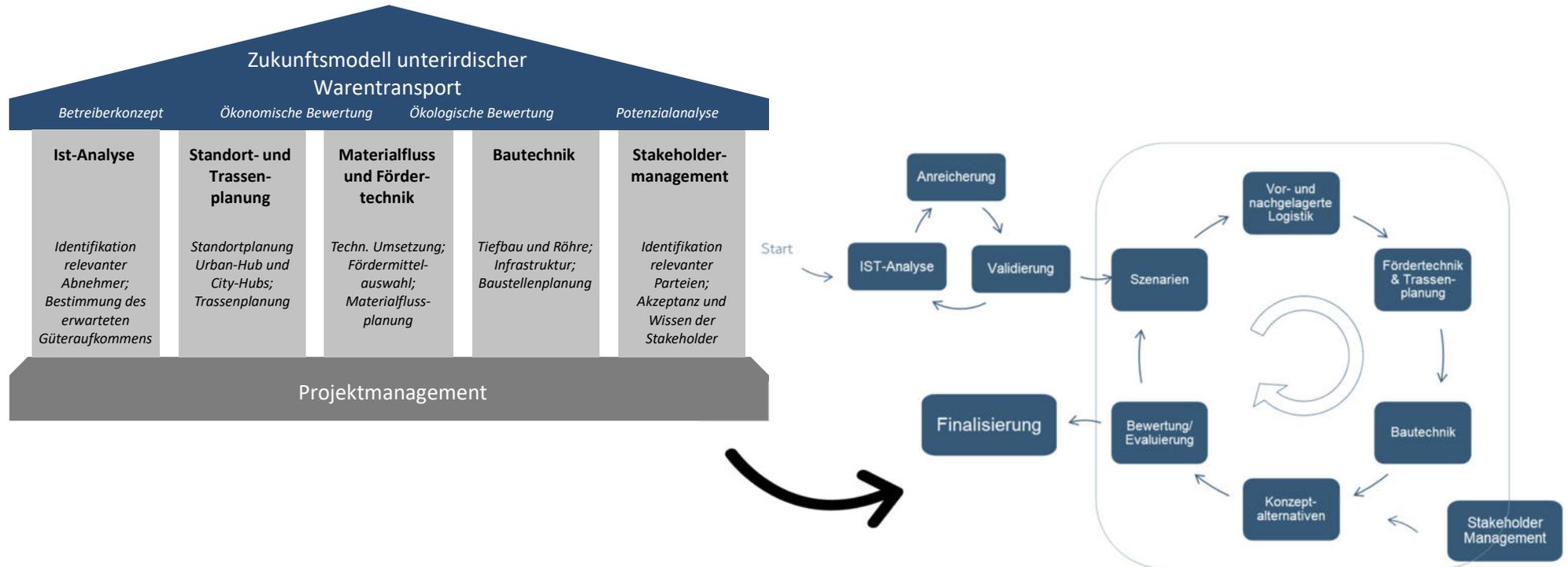
### UNTERSUCHUNG DER MACHBARKEIT EINES UNTERIRDISCHEN WARENTRANSPORT FÜR DIE LANDESHAUPTSTADT STUTTGART

- ... unabhängig
- ... herstellerneutral
- ... wissenschaftlich
- ... ergebnisoffen



## VORGEHENSWEISE DER STUDIE

Durch die vielschichtigen Abhängigkeiten wurde sich für eine iterative Vorgehensweise entschieden:



Bei der Bearbeitung der unterschiedlichen Teilarbeitspakete kommen eigene Modelle und Werkzeuge zum Einsatz.

## **IST-SITUATION IN STUTTGART – TRANSPORTAUFKOMMEN UND ABNEHMERMODELL**

2.1 Abnehmermodell

2.2 Verkehrsmodell

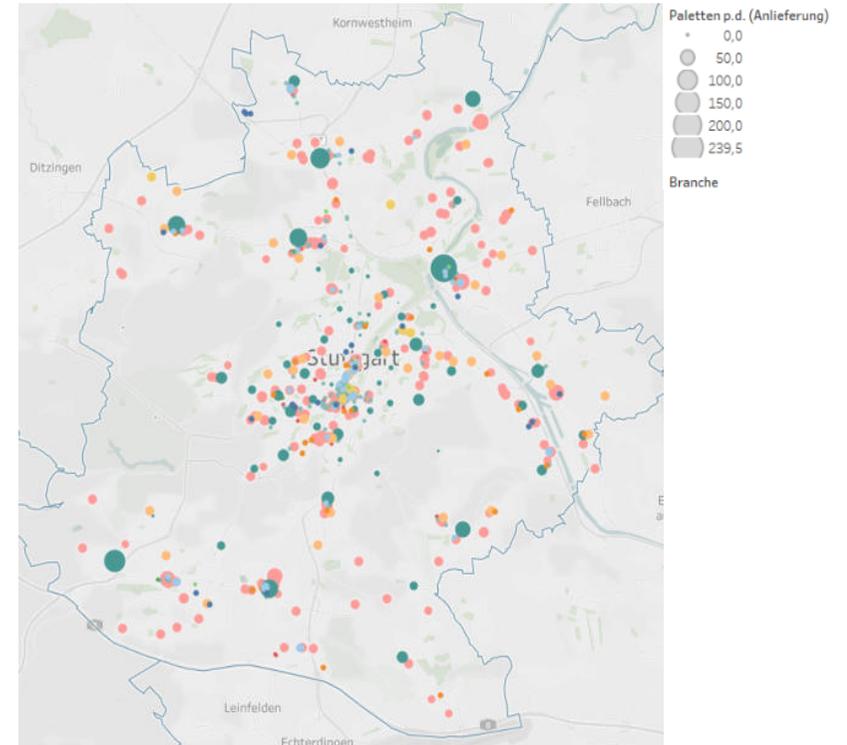
2.3 Ergebnisse der IST-Analyse

## ABNEHMERMODELL

- Definition **relevanter Branchen** (verarbeitende Industrie, KEP, Bau, stationärer Einzelhandel)
- Stichproben über **Fragebogen** bzw. **direkten Austausch** (Industrie, Bau)
- Anreicherung über **OSM-Datenbank** bzw. **Online-Recherche** (KEP, stationärer Einzelhandel)

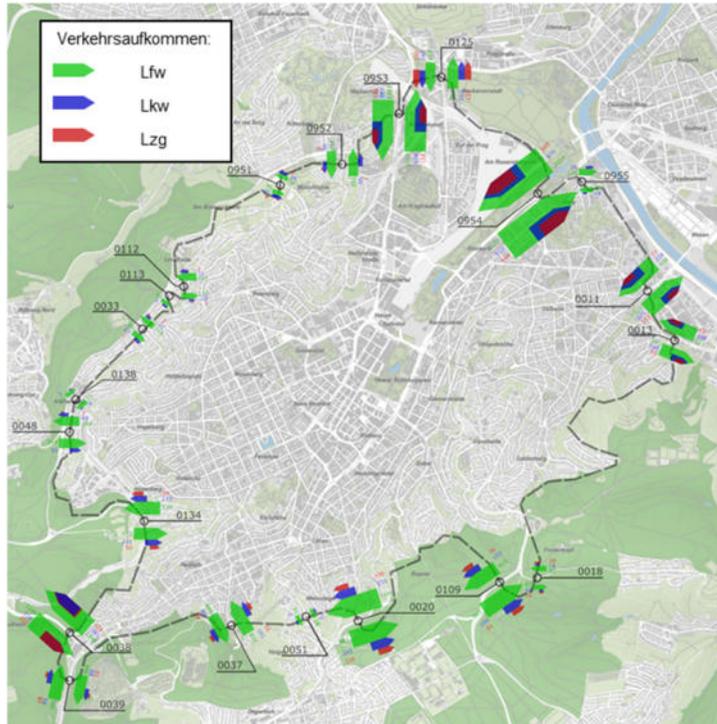
### Ansatz 1: Abnehmermodell

Wer sind die potenziellen Abnehmer (Branchen)?  
Wo sind potentielle Abnehmer in Stuttgart?  
Wie sind diese gewichtet? → Paletten p.a. pro Verbraucher



Die gesamte Datenbank des Abnehmermodells umfasst 729 Einträge, die mit Namen, Branche, Koordinaten, Gewichtung und Zuordnung zu City-Ring, Kesselrand oder Markungsgrenze klassifiziert.

## VERKEHRSMODELL



### Ansatz 2: Verkehrsmodell

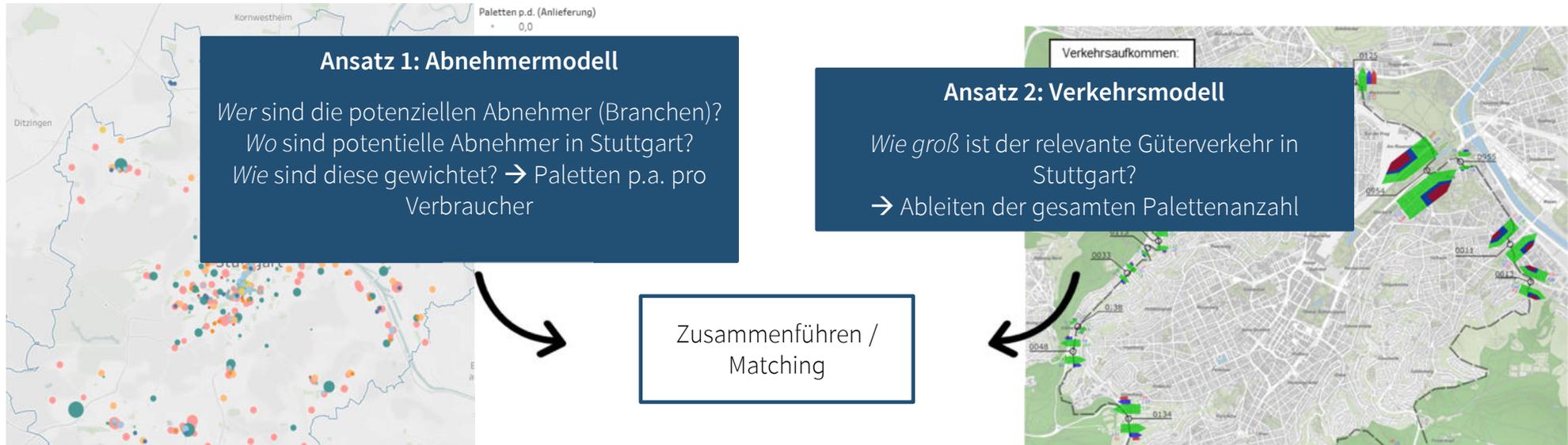
Wie groß ist der relevante Güterverkehr in Stuttgart?

→ Ableiten der gesamten Palettenanzahl

- Über Hochrechnungen auf Basis von **Verkehrszählungen** und **automatischen Zählstellen** wird der Güterverkehr (mit Schwerpunkt des KR) ermittelt.
- Weitere Faktoren wie **Branchenrelevanz**, **Leerfahrtenanteil**, **Durchfahrten** und **Handwerkerverkehr** reduzieren den relevanten Güterverkehr.

Der durch das UWT-System substituierbare Güterverkehr beträgt ca. 4,5 % des gesamten Güterverkehrs innerhalb des Kesselrands der LHS. Mit ca. 25% geht der Großteil des innerstädtischen Güterverkehrs über die Canstatter Straße in die Stuttgarter Innenstadt ein.

**ERGEBNIS DER IST-ANALYSE**



	Paletten p.a.	Paletten p.d.
<b>Verkehrsmodell</b>	1.572.591	5.156
<b>Abnehmermodell</b>	1.401.021	4.594

**Beide Modelle schätzen unabhängig voneinander ein ähnliches Beförderungspotential des UWT-Systems ab. Dies entspricht in etwa 152 vollbeladenen Lastzügen pro Tag.**



## **ERSCHLIEßUNG DES STADTGEBIETS – STANDORTPLANUNG UND TRASSENPLANUNG**

- 3.1 Allgemeine Vorgehensweise
- 3.2 Standortplanung des Urban-Hubs
- 3.3 Standortplanung der City-Hubs
- 3.4 Verbindung der Standorte mit einer technisch realisierbaren Trasse

## ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

### DER AUFBAU EINES TRANSPORT-NETZWERKS: VON KNOTEN ÜBER KANTEN ZUM FUNKTIONIERENDEN MATERIALFLUSS



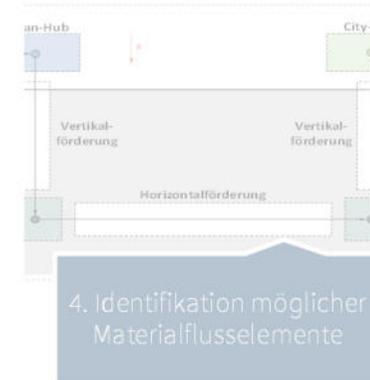
1. Identifikation möglicher Urban-Hub bzw. City-Hub Standorte



2. Bewertung und Auswahl der Standorte



3. Verbindung der Standorte mit einer technisch realisierbaren Trasse



4. Identifikation möglicher Materialflusselemente



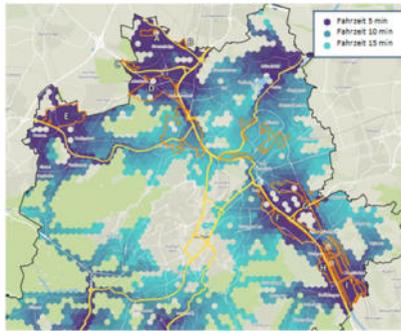
5. Auslegung des Materialflusssystem

Für das Transportnetzwerk müssen zunächst die Knotenpunkte bzw. Standorte bestimmt werden. Anschließend werden diese über eine geeignete Trasse und einen technisch realisierbaren Materialfluss miteinander verbunden.

## STANDORTPLANUNG DES URBAN-HUBS UND DER CITY-HUBS

### IDENTIFIKATION MÖGLICHER HUB-STANDORTE

9 potenzielle Gewerbegebiete betrachtet



Urban-Hub

### BEWERTUNG VERFÜGBARER HUB-STANDORTE

anhand der Kriterien: Kosten, Geographie, Infrastruktur, Fläche, Umwelt und Umgebung

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

### AUSWAHL DES HUB-STANDORTS



SVG-Süd-Autohof

### BEWERTUNG DER MÖGLICHEN STANDORTTYPEN

anhand der Kriterien: Kosten, Geographie, Infrastruktur, Fläche, Umwelt und Umgebung

Standorttyp	Bewertung
Leerstehende Immobile	2,7
Grundstück	2,8
<b>Parkhaus / Tiefgarage</b>	<b>2,5</b>
U-Bahn-Station	3,0
Freifläche auf Gebäude	3,2

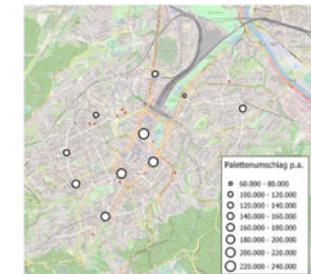
City-Hub

### IDENTIFIKATION DER STANDORTE

32 potenzielle Standorte betrachtet

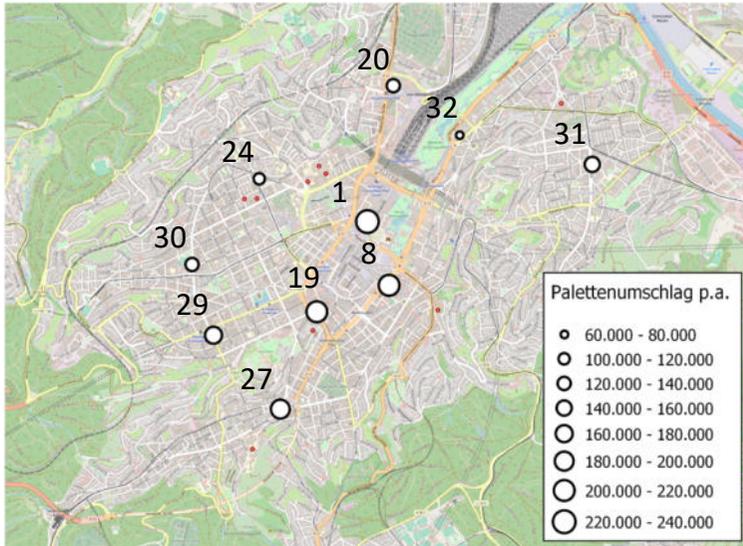


### KOSTENMINIMALE STANDORTPLANUNG

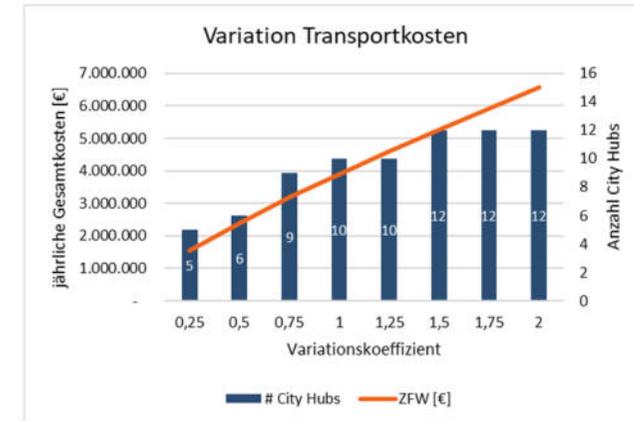
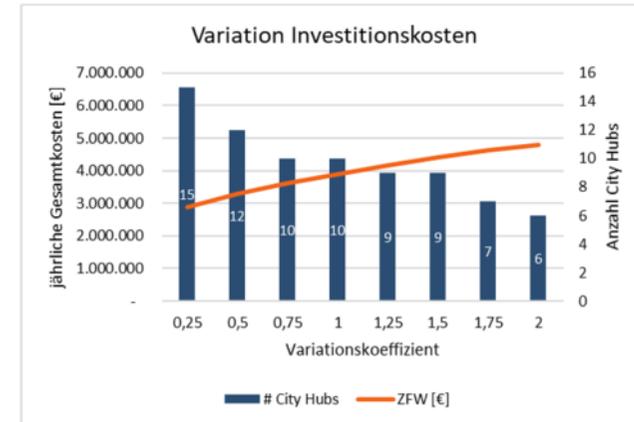


**SVG-Süd-Autohof als Standort des Urban-Hubs. Tiefgaragen und Parkhäuser zur Integration von City-Hubs in der Innenstadt. Kostenminimierung durch Berücksichtigung von Transport- und Fixkosten.**

## DISKRETE STANDORTPLANUNG DER CITY-HUBS



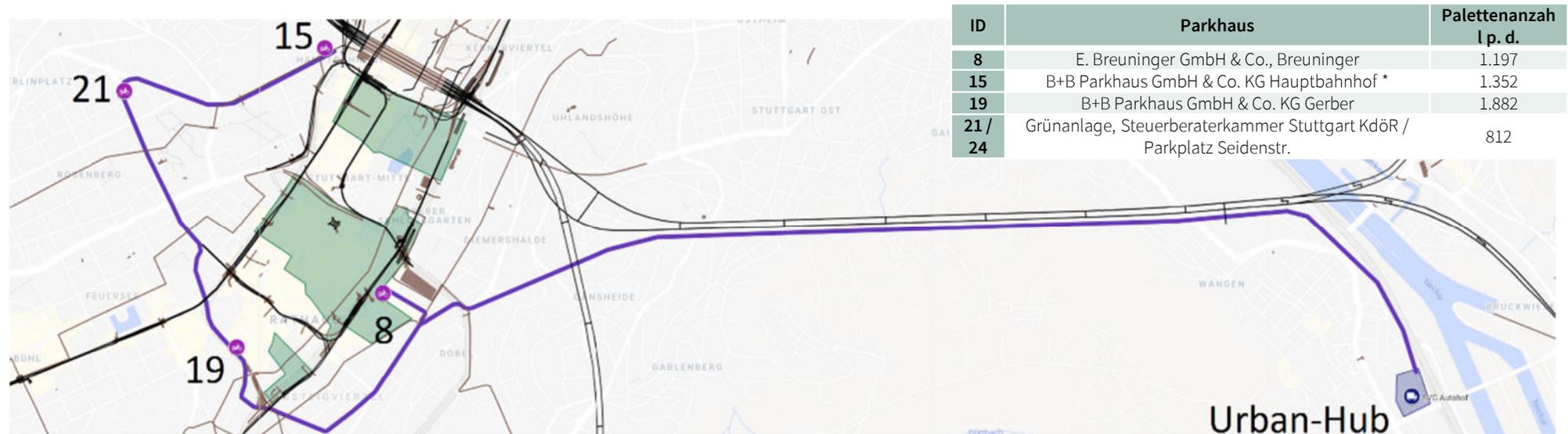
ID	Parkhaus	Palettenanzahl [p. d. [Stk.]
1	APCOA PARKING Deutschland GmbH, Königsbau-Passagen	752
8	E. Breuninger GmbH & Co., Breuninger	676
19	B+B Parkhaus GmbH & Co. KG, Gerber	676
20	APCOA PARKING Deutschland GmbH, Parkhaus Milano	407
21 / 24	Grünanlage, Steuerberaterkammer Stuttgart KdöR / Parkplatz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



**Ohne Berücksichtigung der Trassenplanung wären 10 City-Hub Standorte die kostenoptimale Lösung.**

## VERBINDUNG DER STANDORTE MIT EINER TECHNISCH REALISIERBAREN TRASSE

- Einige zuvor identifizierte City-Hub-Standorte können aufgrund **hydrogeologischer Einschränkungen** bzw. **vorhandener Untergrundinfrastruktur** nicht erreicht werden. Die Standortplanung muss diese reduzierte Auswahl berücksichtigen.
- Die **Trasse entlang des Bahnprojekts S21** vom Urban-Hub (SVG Süd) bis zur Innenstadt ist **technisch machbar** und wäre im Vergleich zu den Alternativen günstig.
- Dabei kann auf bereits vorhandene geologische Untersuchungen und Erfahrungen zurückgegriffen und die technische Realisierung der Trasse abgesichert werden.



**Mit Berücksichtigung der Trassenplanung sind 4 City-Hub Standorte die kostenoptimale Lösung.**

\* Das 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 diesem Areal, ggf. an veränderter Position, wird empfohlen und ist im Rahmen weiterer Planungen abzustimmen.



## MATERIALFLUSS UND FÖRDERTECHNIK

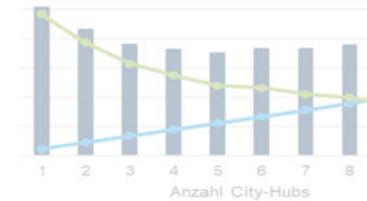
- 4.1 Allgemeine Vorgehensweise
- 4.2 Normmodell des UWT
- 4.3 Vorauswahl der Fördertechnik
- 4.4 Materialflussplanung

## ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

### DER AUFBAU EINES TRANSPORT-NETZWERKS: VON KNOTEN ÜBER KANTEN ZUM FUNKTIONIERENDEN MATERIALFLUSS



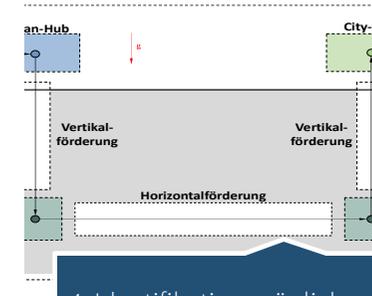
1. Identifikation möglicher Urban-Hub bzw. City-Hub Standorte



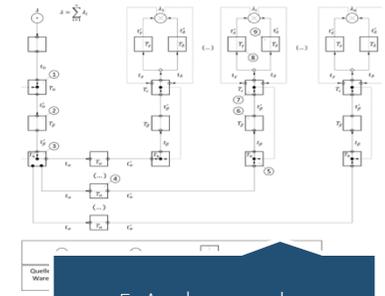
2. Bewertung und Auswahl der Standorte



3. Verbindung der Standorte mit einer technisch realisierbaren Trasse



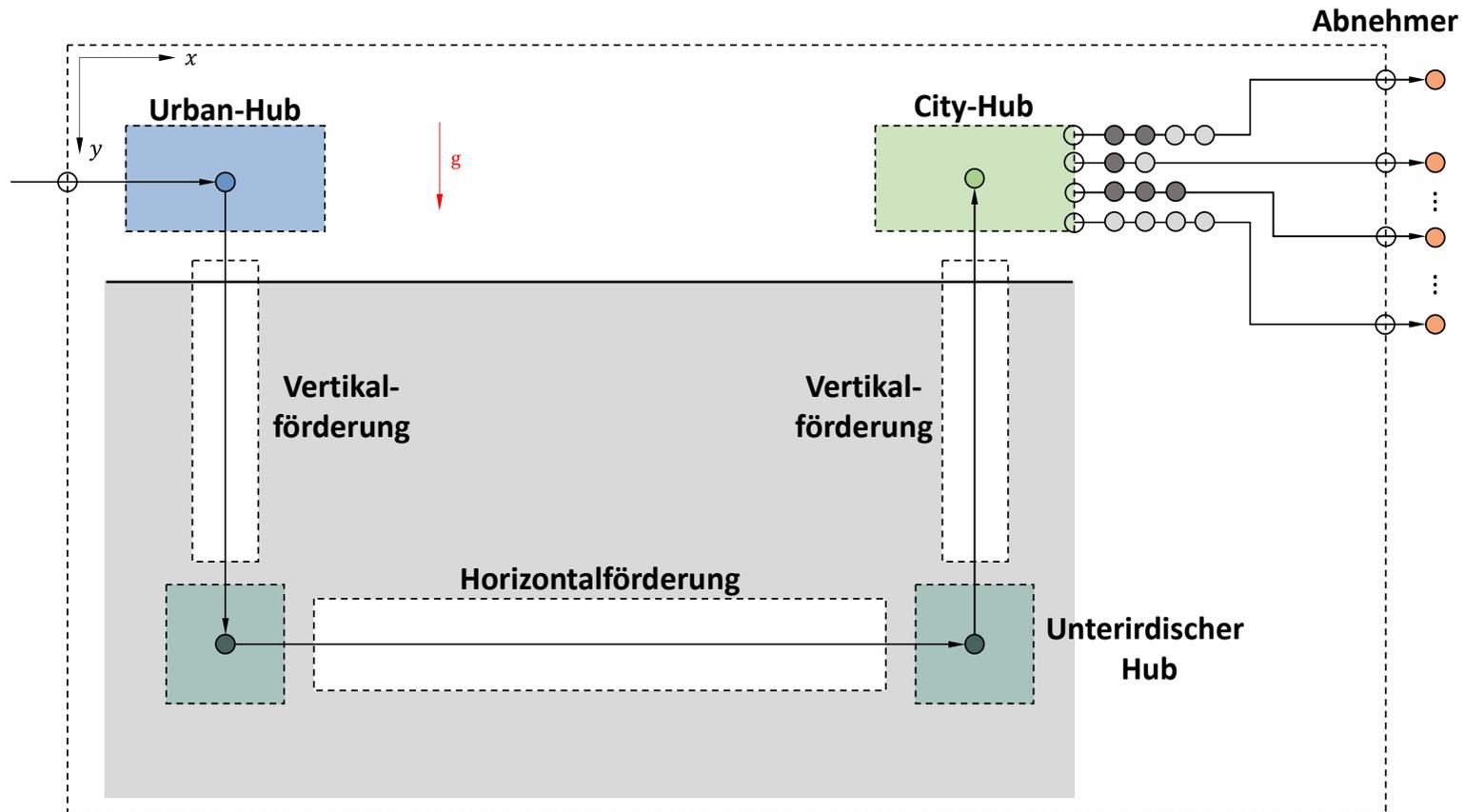
4. Identifikation möglicher Materialflusselemente



5. Auslegung des Materialflusssystem

Ausgehend der zuvor definierten Knotenpunkte bzw. Standorte wird ein Materialflusssystem ausgelegt, mit dem Ziel das UWT-Systems hinsichtlich der eingesetzten Fördertechnik und der benötigten Flächen zu dimensionieren.

Abbildung des UWT-Prozesses mittels **Normmodell**. Mit dem Normmodell wird der UWT-Prozess zwischen einem Urban-Hub und einem City-Hub allgemein beschrieben, um daraus ein mathematisches Modell zur Materialflussberechnung aufzustellen.



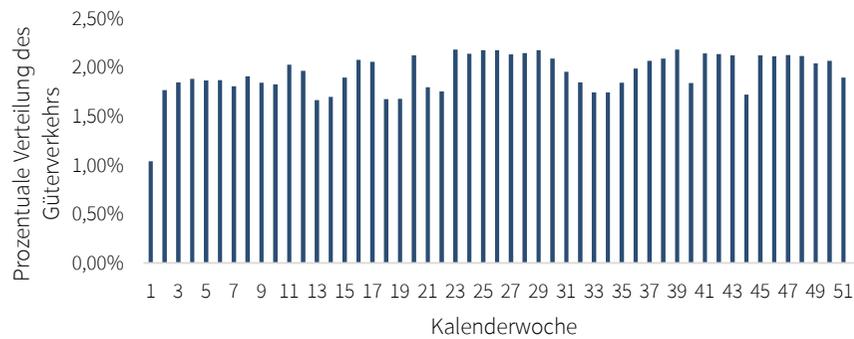
## ÜBERSICHT RELEVANTER ANBIETER ZUM WARENTRANSPORT IN RÖHREN

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

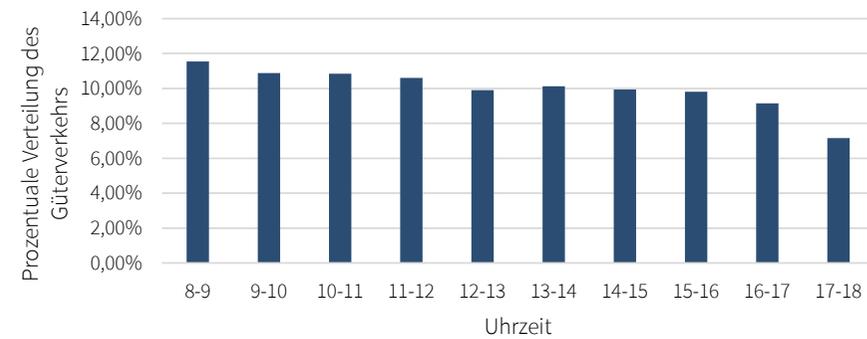
**Bei der Fördertechnik kann auf bewährte Alternativen gesetzt werden. Die Berechnung des Materialflussmodells ergab, dass ein autonomer Schleppzug für den horizontalen Transport als geeignetsten erscheint.**

Die Auslegung des Materialflusssystem erfolgt auf Basis der Ermittlung des **Betriebspunkts** des Gesamtsystems. Dieser wird unter der Annahme eines **95%-Service-Level** und eines normalverteilten Güterverkehrsaufkommens ermittelt.

Verteilung des wöchentlichen Güterverkehrsaufkommen



Verteilung des stündlichen Güterverkehrsaufkommen



95%-Service-Level

**Betriebspunkt:**

7.522 Paletten pro Tag

95%-Service-Level

**Auslegung des  
Materialflusssystem**

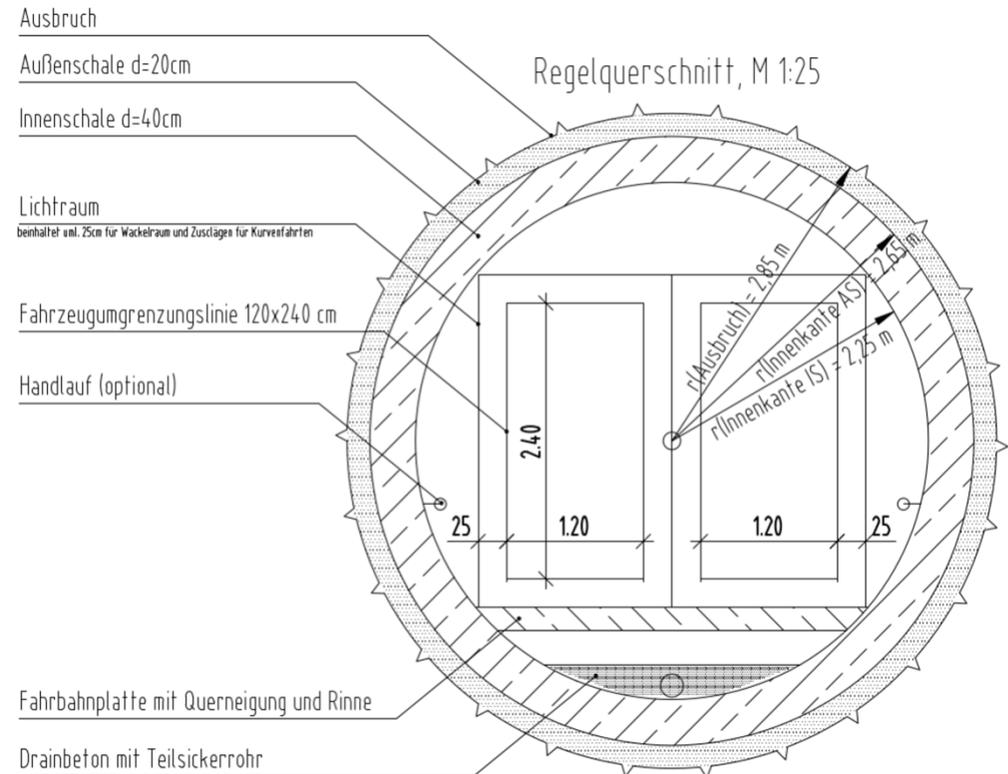
Das ausgelegte Materialflusssystem muss 7.522 Paletten pro Tag transportieren können, um ein 95%-Service-Level zu erreichen. Der Grenzdurchsatz wird vornehmlich durch die Dimensionierung der Lastübergabe an den Horizontalförderer am Urban-Hub bestimmt.



## BAUTECHNIK

- 5.1 Tiefbau und Röhre
- 5.2 Urban-Hub/ City-Hub
- 5.3 Kosten und Termine

- In Zusammenarbeit mit sachkundigem ortsansässigem Fachpersonal (Schüssler Plan), das langjährige Erfahrung im Projekt S21 hat, wird der **konventionelle bergmännische Vortrieb** mit gebirgsschonendem Teilausbruch (Kalottenvortrieb) empfohlen.
- Größte Herausforderung sind die **anhydritführende Geologie** sowie die Berücksichtigung der **Heilquellen**.
- Zweispurige Nutzung mit 120 x 240 cm Lichtraum pro Fahrzeug. Daraus ergibt sich ein lichter **Tunneldurchmesser von ca. 4,5 m**.
- Aufgrund der **ähnlichen Trassierung wie im Projekt Stuttgart 21** zwischen dem Neckar und dem Stuttgarter Stadtzentrum können die geologischen Aufschlüsse des Tunnels Ober-/Untertürkheim (PFA 1.6A) herangezogen werden.
- Der **Kostenfaktor** wurde mit **ca. 22.500 €/m** angesetzt, was dem oberen Grenzwert für die Variante mit einem Innendurchmesser von 4,5 m entspricht.



**Eine Detailanalyse zur innerstädtischen Tiefenlage bei kleineren Bauwerken muss in weiteren Untersuchungen genauer durchgeführt werden.**

### URBAN-HUB

- 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 m<sup>2</sup>** 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.
- Anhand vergleichbarer Projekte wurden die Kosten für das Errichten des Urban-Hubs mit einem **Kostenfaktor von 1.444 €/m<sup>2</sup> BGF** angesetzt.
- Zusätzlich fallen schätzungsweise **ca. 10 Mio. €** Kosten für die **Lagertechnik**, sowie **ca. 5 Mio. €** Kosten für die **Sortiertechnik** im Urban-Hub an.

### CITY-HUB

- Für die City-Hubs wurden **vorhandene Parkplätze und -häuser sowie Tiefgaragen** betrachtet.
- Die **Kosten für die Umbaumaßnahmen** und die baulichen Aspekte innerhalb der City-Hubs wurden pauschal **je City-Hub mit einmalig ca. 150.000 €** 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 dreispurig aufgewertet, um das zu entladende Fahrzeug aus dem Hauptstrom auszuschleusen.
  - Tiefgaragen werden unterirdisch durch eine horizontale Öffnung angebunden und die Waren mittels Vertikalförderer auf das Straßenniveau befördert.
- Die Kosten, die für die Anbindung eines City-Hubs entstehen, werden **pro City-Hub pauschal auf ca. 1.200.000 €** geschätzt.

## KOSTEN

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

## TERMINE

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

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

**Tiefbau der Röhre und Umbau bzw. Anbindung der Parkhäuser an das UWT-System bautechnisch machbar. Die Investitionskosten für das UWT belaufen sich schätzungsweise auf 322 Mio. €.**

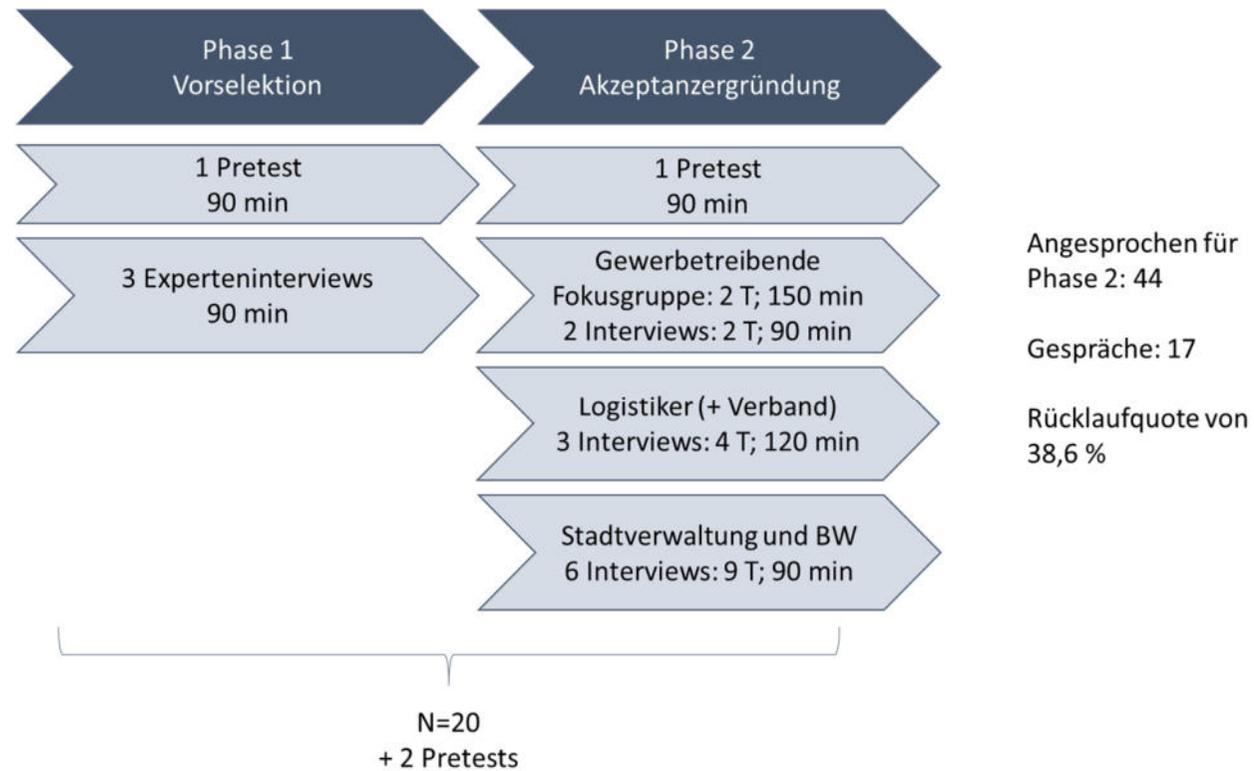
# 6

## STAKEHOLDERMANAGEMENT

6.3 Vorgehensweise

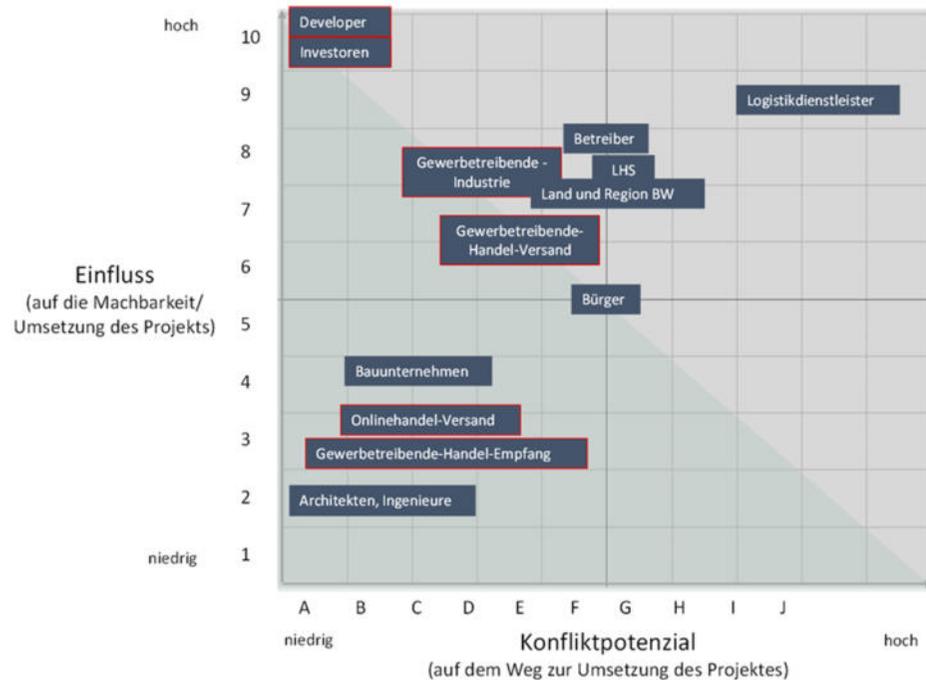
6.5 Ergebnisdarstellung

WAHL EINES ZWEISTUFIGES VORGEHEN:

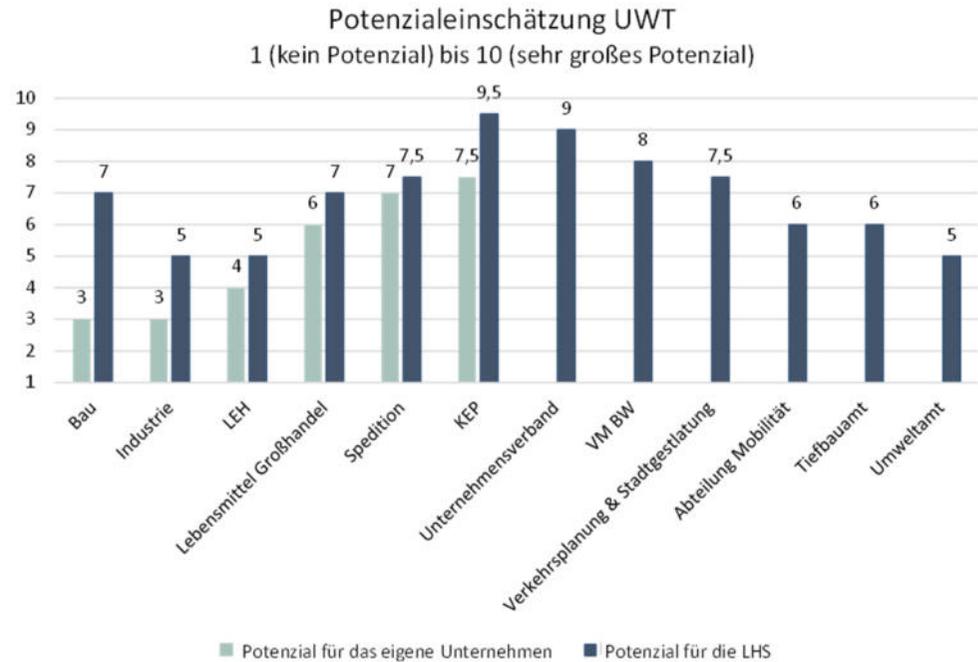


Ziel des Stakeholdermanagements ist, die für das Projekt des UWT-Systems relevanten und einflussnehmenden Stakeholdergruppen zu identifizieren und den Grad ihrer jeweiligen Akzeptanz zu erfassen.

PHASE 1: Vorselektion der Stakeholder



PHASE 2: Akzeptanzergündung der zentralen Gruppen



Alle befragten Stakeholder empfinden die Idee des UWT-Systems als interessant und sehen ein Potenzial für die LHS. Aktuell sehen die Stakeholdergruppen noch diverse Unsicherheiten, Risiken und offene Fragen, die im Vorfeld weiterer Planungsschritte geklärt werden müssen.

## ZUKUNFTSMODELL DES UNTERIRDISCHEN WARENTRANSPORTS

- 7.1 Ökologische Betrachtung
- 7.2 Ökonomische Betrachtung
- 7.3 Potenziale

## ÖKOLOGISCHE BETRACHTUNG



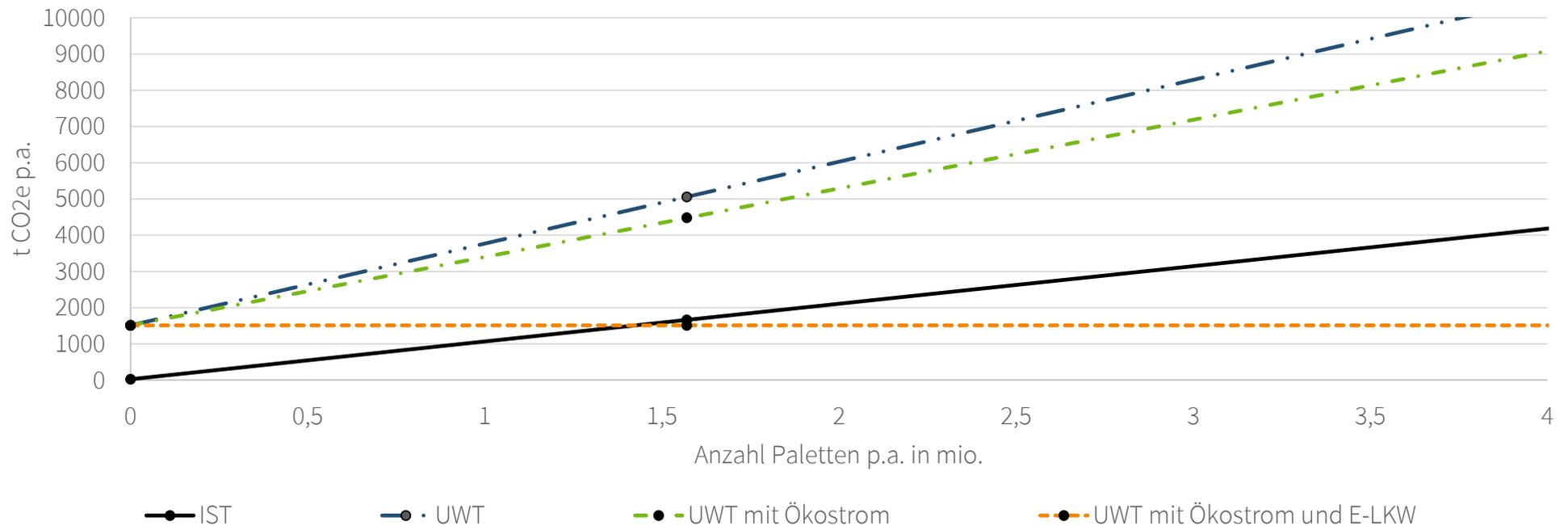
- Mit UWT-System müssen die Lkw und Lastzüge im Vergleich zum Status-Quo einen größeren **Umweg zum Urban-Hub** fahren. Dies führt zu einer **deutlichen Erhöhung der CO<sub>2</sub>e Emissionen** in SB1 (direkter Ausstoß) und SB2 (Emissionen zur Herstellung der Energiequelle).
- In SB4 (Emissionen beim Bau) entstehen **erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub>e** durch den im Tunnel verbauten Zement im **Beton** sowie den **Stahl**. Bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 40 Jahren entstehen so umgerechnet 1.508 t CO<sub>2</sub>e p.a.
- Der Einsatz eines UWT-Systems führt ganzheitlich betrachtet zu erhöhten Emissionen.

Systemgrenzen (SB)	Status Quo	Mit UWT-System	Diff
SB1, 2	1.630 t CO <sub>2</sub> e p.a.	3.547 t CO <sub>2</sub> e p.a.	+118%
SB4	33 t CO <sub>2</sub> e p.a.	1.508 t CO <sub>2</sub> e p.a.	+4.469%
SB1, 2 & 4	1.663 t CO <sub>2</sub> e p.a.	5.055 t CO <sub>2</sub> e p.a.	+203%

Durch die ganzheitlich betrachtet erhöhte Lkw-Fahrleistung führt ein UWT-System zu erhöhten Emissionen.

## SZENARIENBETRACHTUNG

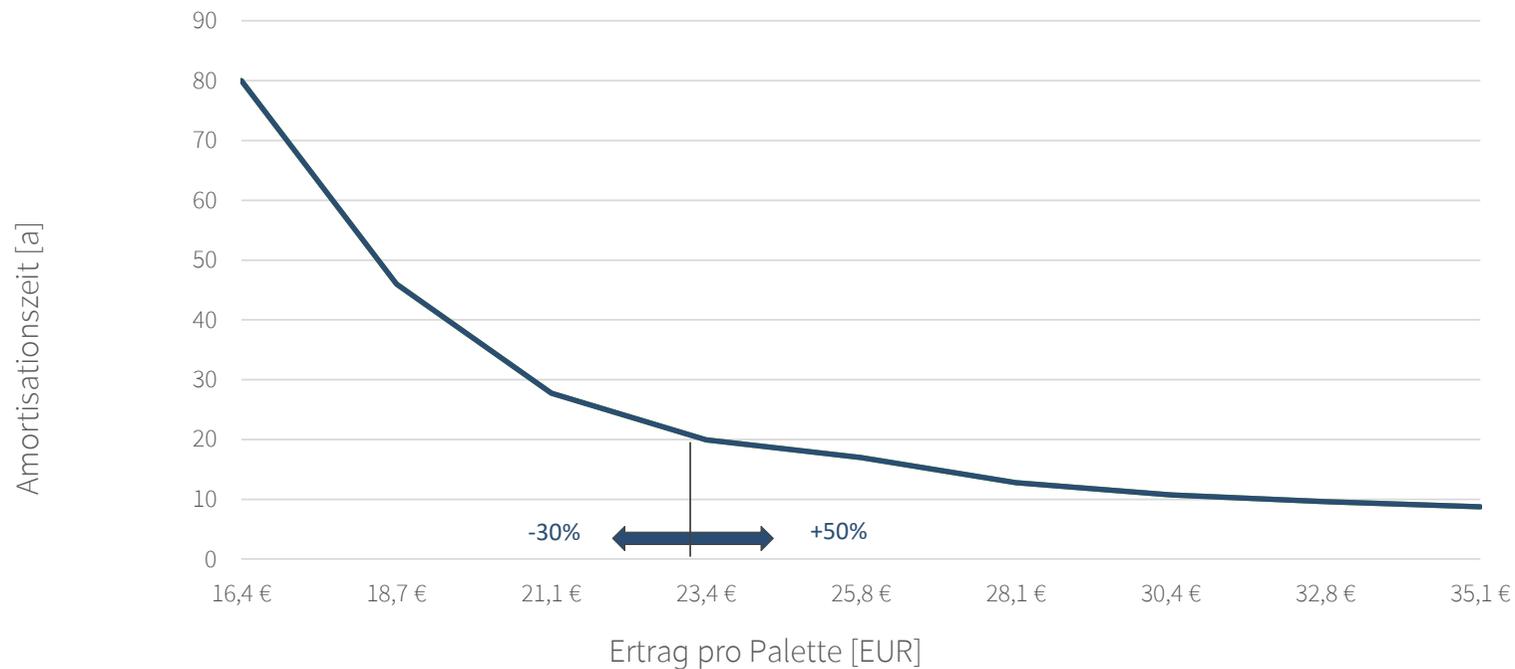
- Im Szenario mit Ökostrom und E-Lkw werden Mehremissionen dadurch vermieden, dass die konventionellen Lkw keine Umwege fahren, da deren Güter am Rande der Stadt auf E-Lkw umgeladen werden.



Bei der Annahme, dass sowohl das UWT-System als auch die elektrifizierten Lkw mit Öko-Strom betrieben werden, ergibt sich ab ca. 1,5 Mio. Paletten pro Jahr ein ökologischer Vorteil des UWT-Systems ggü. dem Status Quo.

## ÖKONOMISCHE 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 veranschlagt sind.
- Je nach Ertrag pro transportierte Palette kann der ‚**Break-Even**‘ nach **10 – 40 Jahren** erreicht werden.



**Trotz eher konservativer Annahmen ist das UWT-System bei einem Ertrag von 20 – 32 € pro Palette aus ökonomischer Sicht durchaus wettbewerbsfähig.**



## FAZIT UND AUSBLICK

## DAS UWT-SYSTEM KÖNNTE EIN BAUSTEIN HIN ZU EINER LEBENSWERTEREN INNENSTADT SEIN



-  Das UWT-System würde im Betrachtungshorizont von 40 Jahren zu einer dreifachen CO<sub>2</sub>e Menge führen.  
(Unter der Annahme, dass sowohl das UWT-System als auch die elektrifizierten Lkw mit Öko-Strom betrieben werden, ergibt sich ab ca. 1,5 Mio. Paletten pro Jahr ein ökologischer Vorteil des UWT-Systems ggü. dem Status Quo)
-  Insbesondere die Umwege zur Anfahrt des Urban-Hubs und der Bau der Tunneltrasse führen zu erhöhten CO<sub>2</sub>e Emissionen.
-  UWT-Systeme bieten Verbesserungspotenziale hin zu einer lebenswerteren Innenstadt durch die Verringerung der Güterverkehrsströme und der geringeren Geräuschbelastung im städtischen Raum.
-  Die technische Machbarkeit des Materialflusses und des Baus wurde bestätigt.
-  Trotz hoher Investitionskosten kann bei einem Preis von 23,4 € pro Palette eine Amortisationsdauer von 20 Jahren angestrebt werden. Das untersuchte UWT-System kann wirtschaftlich dargestellt werden.

**Das UWT-System sollte als Alternative zum bestehenden Warentransport auf der Straße weiterhin nicht ausgeschlossen werden. Eine weitere eingehende Untersuchung des Risikos, Aufwands und Nutzen sowie der Vergleich mit alternativen Konzepten wird jedoch empfohlen.**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**