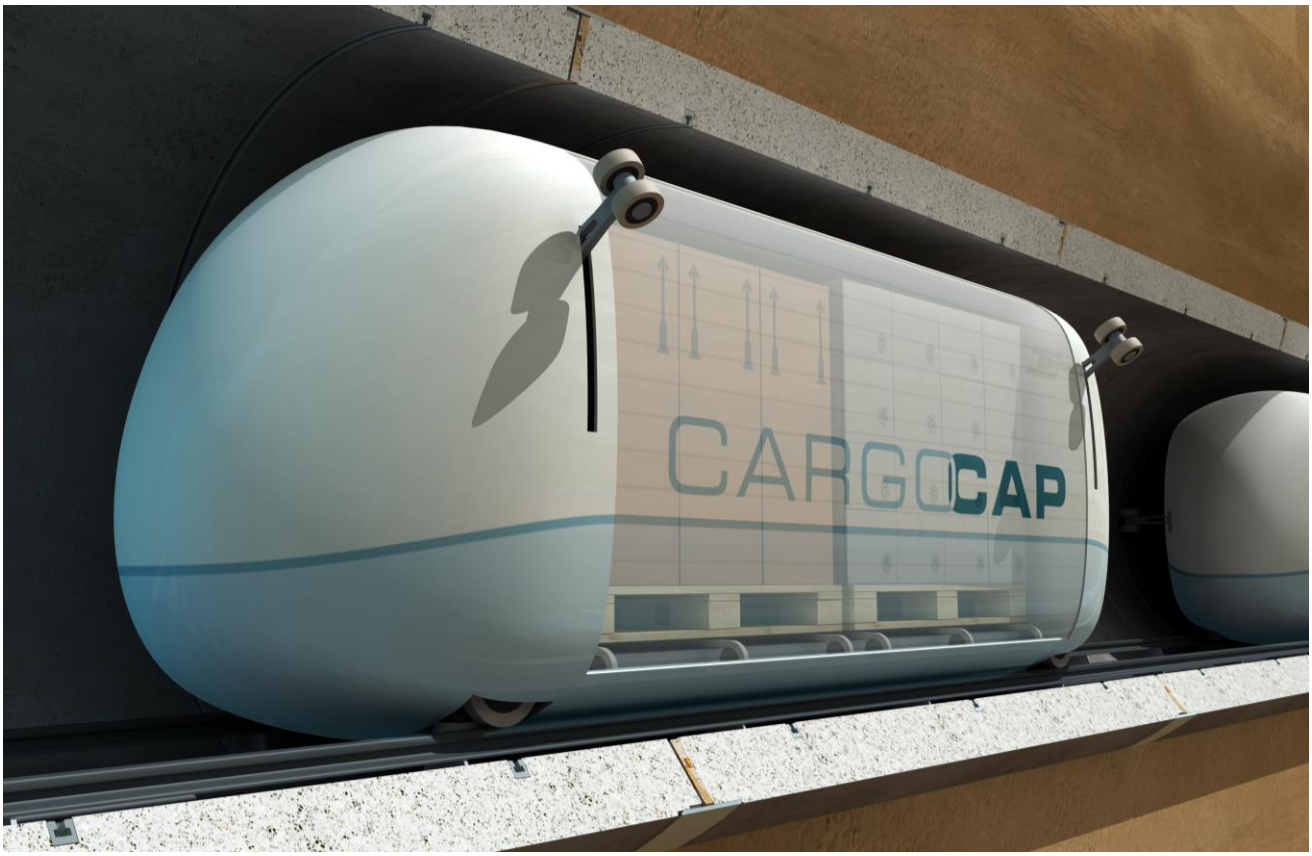

PRÜFUNG ZUR ÖKOLOGISCHEN UND ÖKONOMISCHEN UMSETZUNG DES CARGOCAP-SYSTEMS AM STANDORT BERGISCH GLADBACH

Kurzversion des anonymisierten Schlussberichtes

Bochum, 09. Juni 2021

gefördert durch

DBU

Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Inhalt

1 Veranlassung 3
2 Klärung der Logistikaufgabe 6
3 Planungskonzept 10
3.1 CargoCap-System 10
3.2 Fahrrohrleitung 12
3.3 Abmessungen der Fahrrohrleitung 14
3.4 Streckenführung und Stationen 16
4 Investitionskosten 20
5 Umsetzungszeitraum 21
6 Betriebswirts- und volkswirtschaftliche Bewertung 21
7 CargoCap-Van 24

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Stein, STEIN Ingenieure GmbH
Tel.: +49 (0) 234 51 67 110
E-Mail: dietrich.stein@stein.de

Prof. Dr. Carsten Deckert, Hochschule Düsseldorf
Tel.: +49 (0) 211 4351 3030
E-Mail: carsten.deckert@hs-duesseldorf.de

1 Veranlassung

Kommunen und Industriestandorte sind von zuverlässigen und leistungsfähigen Transport- und Logistikdienstleistungen abhängig. Dabei ist es wichtig, sowohl den Anforderungen der gewerblichen Verkehre als auch den Bedürfnissen der Bevölkerung mit zunehmenden Warenmengen gerecht zu werden. Flankierend sind logistische Herausforderungen in Folge der zunehmenden Urbanisierung, der Zuspitzung der Verkehrssituation sowie die Umwelt-, Gesundheits- und Klimaschutzziele zu beachten.

Diesen Herausforderungen ist die derzeit existierende Infrastruktur sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene nicht gewachsen.

Neue Lösungsansätze sind gefragt, die eine möglichst schnelle Entlastung bestehender Verkehrswege in Städten und Ballungsräumen erlauben, die Bedienung der dort ansässigen Unternehmen auch in der Zukunft sicherstellen, umweltentlastender Natur sind und zugleich eine nachhaltige Verbesserung der Verkehrssituation bewirken.

Als innovative Lösung bietet sich das CargoCap-System (CC-System) an, d. h. der automatische Gütertransport im Untergrund. Der Transport erfolgt in unterirdischen Fahrrohrleitungen mit einem Durchmesser, abhängig von der Ladehöhe, von bis zu 3,00 m durch elektrisch angetriebene, autonom fahrende Transportfahrzeuge (Caps), die mit bis zu drei Euro-Paletten oder standardisierten Behältern beladen sind. Die Ladung wird an CC-Stationen dem Empfänger zur Verfügung gestellt. Diese Stationen können sowohl mitten in Städten als auch punktgenau in/unter Unternehmen errichtet werden.

Das CargoCap-System sorgt durch die Verlagerung des Güterverkehrs in den Untergrund für eine Entlastung bestehender Verkehrswege und ist darüber hinaus witterungsunabhängig, flexibel und zeitgenau. Gleichzeitig ist es durch den emissionsfreien Betrieb absolut umweltfreundlich. Der Betrieb ist innerhalb der Stadt nicht bemerkbar (man hört, sieht, riecht und spürt ihn nicht). Das bedeutet gegenüber einem Lkw-Verkehr eine erhebliche Verbesserung der Lebensqualität im Einzugsbereich. Aus diesem Grunde wird dieses Vorhaben normalerweise wenig Widerstand bei der Bevölkerung hervorrufen. Auch in der Bewilligungsphase ist durch den Einsatz der unterirdischen Bauweise der Fahrrohrleitungen nur ein sehr geringes juristisches Konfliktpotential zu erwarten.

Die Stadt Bergisch Gladbach ist bereit, anstelle von Lkw-Vorzugsrouten, die weltweit erste Anwendung des CargoCap-Systems in Form eines Pilotprojektes zu überprüfen und damit den Nutzen des Konzeptes zu zeigen und nachvollziehbar zu machen. Die entsprechenden Beschlüsse des Rates sowie eine Vorkaufsrechtssatzung liegen vor.

Der mögliche Anwendungsfall sieht vor, ein Güterverteilzentrum (GVZ) im Süden der Stadt an der A4 (Abfahrt Frankenforst) zu errichten und von dort aus die ankommenden Waren unterirdisch per Caps in die Innenstadt zu einem neu zu errichtenden City-Hub und/oder direkt anzuschließenden Kunden und umgekehrt, Fertigprodukte, aber auch Abfälle, auch wieder aus der Stadt heraus zu transportieren (s. Abbildung 1).

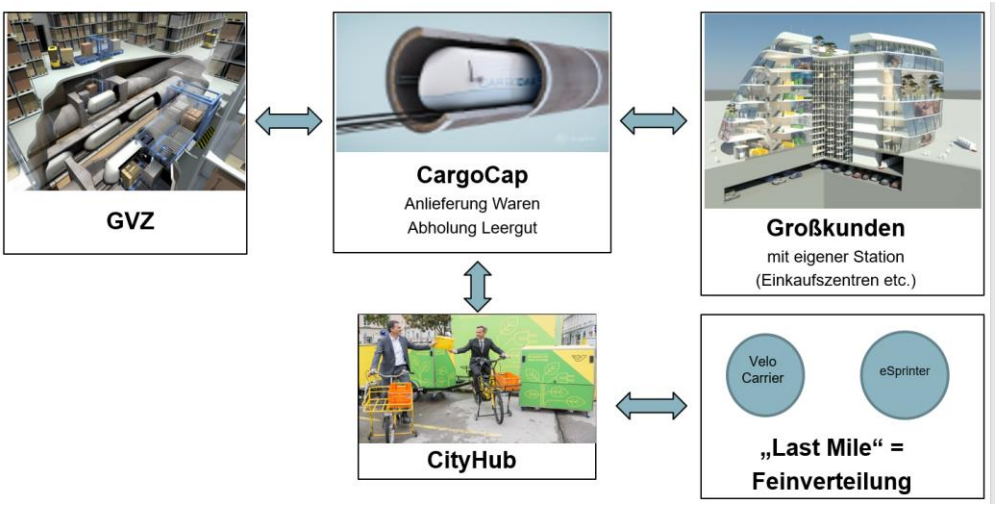

Abbildung 1: Citylogistik mit CargoCap - Anwendungsfall Bergisch Gladbach [Computergrafik: visaplan GmbH]

Mit dieser Konzeption sieht der Rat der Stadt auf Grundlage des im Jahre 2016 beschlossenen Mobilitätskonzeptes (Mobik) die Möglichkeit, den Schwerverkehrsanteil von 7 % am städtischen Verkehr und die damit verbundenen Belastungen der Bevölkerung durch Lärm, Stau, Unfälle, Feinstaub, Stickoxide und andere Gase drastisch zu reduzieren.

Zur Prüfung, ob der zu untersuchende Anwendungsfall des CargoCap-Systems in Bergisch Gladbach aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht möglich und rentabel ist, wurde von der Stadt Bergisch Gladbach eine Machbarkeitsstudie initiiert. Die Ergebnisse sollten darüber hinaus als Grundlage für die weitergehende Planung und zur Formulierung und Bewerbung eines Fonds-Produktes für einen potenziellen Investor verwendet werden.

Die Prüfung beinhaltete folgende Schritte:

- Abstimmungen der Zielvorstellungen und Rahmenbedingungen für die Errichtung und den Betrieb des CargoCap-Systems mit der Stadt Bergisch Gladbach, möglichen Investoren, Betreibern und Kunden/Nutzern
- Klärung der Logistikaufgabe auf Grund der Vorgabe oder der Bedarfsplanung der Stadt Bergisch Gladbach und von Konsultationen und Besichtigungen vor Ort unter Einbeziehung von Handel, KEP, Industrie, Entsorgern, Spediteuren u.a.
- Erarbeitung eines Planungskonzeptes einschließlich Untersuchung alternativer Lösungsmöglichkeiten auf der Basis von Straßenfahrzeugen mit gleichen Anforderungen, Dokumentation und Bewertung
- Integrieren der Leistungen anderer fachlich Beteiligter inklusive Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten
- Betriebswirtschaftliche Bewertung
- Volkswirtschaftliche Bewertung
- Abschlussdokumentation

Die Erarbeitung der Machbarkeitsstudie wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) - AZ 34750/01-23 und der Stadt Bergisch Gladbach finanziell gefördert.

An ihrer Erstellung haben mitgewirkt:

Bewilligungsempfänger / Ansprechpartner:

Hochschule Düsseldorf
Prof. Dr. Carsten Deckert

Kooperationspartner / Ansprechpartner:

CargoCap GmbH und STEIN Ingenieure GmbH
Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein
Dr.-Ing. Dietmar Beckmann

Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik (RUFIS)
Prof. Dr. Helmut Karl

DLR Institut für Verkehrsforschung
Gunnar Knitschky

Stadt Bergisch Gladbach
Harald Flügge
Michael Zalfen
Willi Schmitz
Martin Westermann

2 Klärung der Logistikaufgabe

Zielvorstellungen und Rahmenbedingungen zur Klärung der Logistikaufgabe wurden im Rahmen eines runden Tisches mit Vertretern der Stadt Bergisch Gladbach festgelegt. Dabei wurden insgesamt drei logistische Szenarien unterschieden: Industrie, Handel und KEP (Kurier, Paket und Express) (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Logistische Szenarien

	Industrie	Handel	KEP
Anlieferort Cap	Direktzugang Unternehmen / Gewerbegebiet	City-Hub oder Direktzugang (Einkaufscenter)	City-Hub
Weiterverteilung	nein	teilweise	ja
Entbündelung	nein	teilweise	ja
Transportmittel Weiterverteilung	keines	Elektrofahrzeug o.ä.	E-Cargo Bike o.ä.
Zielort	1	1 oder mehrere	viele

Im Szenario Industrie wurde auf Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes aus den Gewerbegebieten Bergisch Gladbachs fokussiert. Es wurde davon ausgegangen, dass für Großunternehmen ein Direktzugang zum CargoCap-System eingerichtet wird, was eine Weiterverteilung der Ware oder eine Entbündelung ausschließt. Für kleinere Unternehmen kann ggf. ein Zugang für das Gewerbegebiet erfolgen.

Das Szenario Handel konzentrierte sich auf Groß- und Einzelhändler. Während Großhändler in der Regel in Gewerbegebieten sitzen, sind die Einzelhändler über das gesamte Stadtgebiet verteilt, mit einem Schwerpunkt im westlichen Teil Bergisch Gladbachs. Händler können direkt an das CargoCap-System angeschlossen werden (z.B. Einkaufscenter), oder die Waren werden an einen City-Hub gesendet und danach mit Elektrofahrzeugen o.ä. weiterverteilt (Abbildung 1). Da für das City-Hub bisher kein konkreter Standort angegeben werden konnte, konnte die Weiterverteilung derzeit nicht konkret konzipiert werden.

Im Segment KEP (Kurier, Paket und Express) wurde auf die Paketdienstleister fokussiert. Die Pakete werden in diesem Szenario mit CargoCap zum City-Hub transportiert und von dort mit Lastenfahrrädern an die Kunden ausgeliefert. Dabei dient das City-Hub als so genanntes Mikro-Depot. Ein Mikro-Depot ist ein vorübergehender Lagerort in der Stadt, der die letzte Meile der KEP-Lieferung in eine vorletzte Meile (vom Depot des KEP-Dienstleisters zum Mikro-Depot) und eine allerletzte Meile (vom Mikro-Depot zum Endkunden) aufteilt. Es verknüpft dabei die Transportbündelung der Lieferung

zum Mikro-Depot mit dem Einsatz umweltfreundlicher Transportmittel mit geringerer Kapazität wie beispielsweise Lastenfahrräder, um gleichzeitig die innerstädtische Verkehrsinfrastruktur zu entlasten und Emissionen zu reduzieren. In diesem Fall wird die vorletzte Meile noch einmal aufgeteilt in eine Lieferung der Pakete vom Depot des KEP-Dienstleisters an die Einstiegsstation des CargoCap-Systems und eine Lieferung mit dem CargoCap-System zum City-Hub. Es wurde davon ausgegangen, dass die Pakete in Fahrradboxen angeliefert werden, die im Güterverteilzentrum palettiert werden können.

Die Unternehmen wurden je nach Szenario unterschiedlich ausgewählt. Zur Untersuchung der Unternehmen im Szenario Industrie wurden die wesentlichen Gewerbegebiete in Bergisch Gladbach betrachtet: Kradepohl, West, Gohrsmühle, Zinkhütte und Frankenforst (Abbildung 2). Das Gewerbegebiet Gohrsmühle stellt dabei lediglich ein Flächenpotential dar, und das Gewerbegebiet Kradepohl ist ohne nennenswertes Volumen. Das Gewerbegebiet Frankenforst befindet sich direkt an der Autobahn A4 und ist damit ein potenzieller Einstiegspunkt für das CargoCap-System. Damit verblieben für die weitergehende Analyse lediglich die Gewerbegebiete West und Zinkhütte.

Aus diesen beiden Gewerbegebieten wurden Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes zur weiteren Betrachtung recherchiert. Es wurden 22 relevante Unternehmen in den Gewerbegebieten West und Zinkhütte ermittelt. Anschließend wurden die zu den Unternehmen zugehörigen bilanzierten Vorräte und Umsätze anhand der Daten des Bundesanzeigers über die zentrale Plattform für die Speicherung von Unternehmensdaten (www.unternehmensregister.de) recherchiert. Anhand dieser wirtschaftlichen Daten der Unternehmen konnte eine Vorauswahl der anzusprechenden Unternehmen getroffen werden. Außerdem wurden die Daten zur Abschätzung der Paletten-Anzahl für die Unternehmen genutzt, für die keine Angaben zu Warenmengen ermittelt werden konnten. Es wurde dabei angenommen, dass die Höhe der Vorräte proportional zu den Mengen im Wareneingang und -ausgang ist.

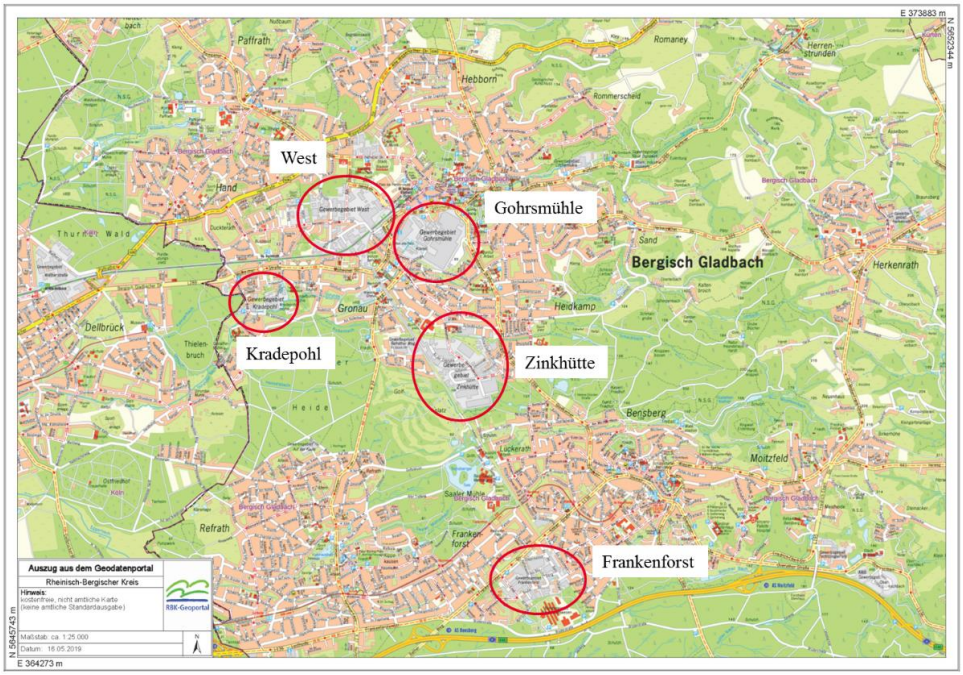

Abbildung 2: Gewerbegebiete in Bergisch Gladbach

Das Szenario Handel fokussiert auf die Segmente Lebensmittel und Drogerie, Technik und Elektronik sowie Baumarkt, da hier eine höhere Konzentration auf Marktteilnehmer herrscht als bei den verbleibenden Segmenten persönlicher Bedarf, Bekleidung und Möbel. Damit kann auf eine verstärkte Bündelung von Waren und die Anlieferung auf Paletten geschlossen werden. Zudem ist mit dem Segment Lebensmittel und Drogerie das mit Abstand umsatzstärkste Einzelhandelssegment vertreten. Durch das Einbeziehen von Waren- und Kaufhäusern besteht außerdem eine Überschneidung zu den Segmenten persönlicher Bedarf und Bekleidung. Zur Ermittlung der Unternehmen im Segment Handel wurden die Filialisten relevanter Supermärkte, Discounter, SB-Warenhäuser, Waren- und Kaufhäuser, DIY-Unternehmen und sonstige Einzelhandelsunternehmen anhand statistischer Daten wie Umsatz, Bekanntheitsgrad etc. ermittelt. Anschließend wurden diese Händler anhand der Filialsuche auf ihren Websites in Bergisch Gladbach lokalisiert. Es ergab sich eine weit verstreute Verteilung der Händler (Abbildung 3), jedoch ist bereits hier eine Anhäufung von Handelsunternehmen im Zentrum Bergisch Gladbachs zu erkennen.

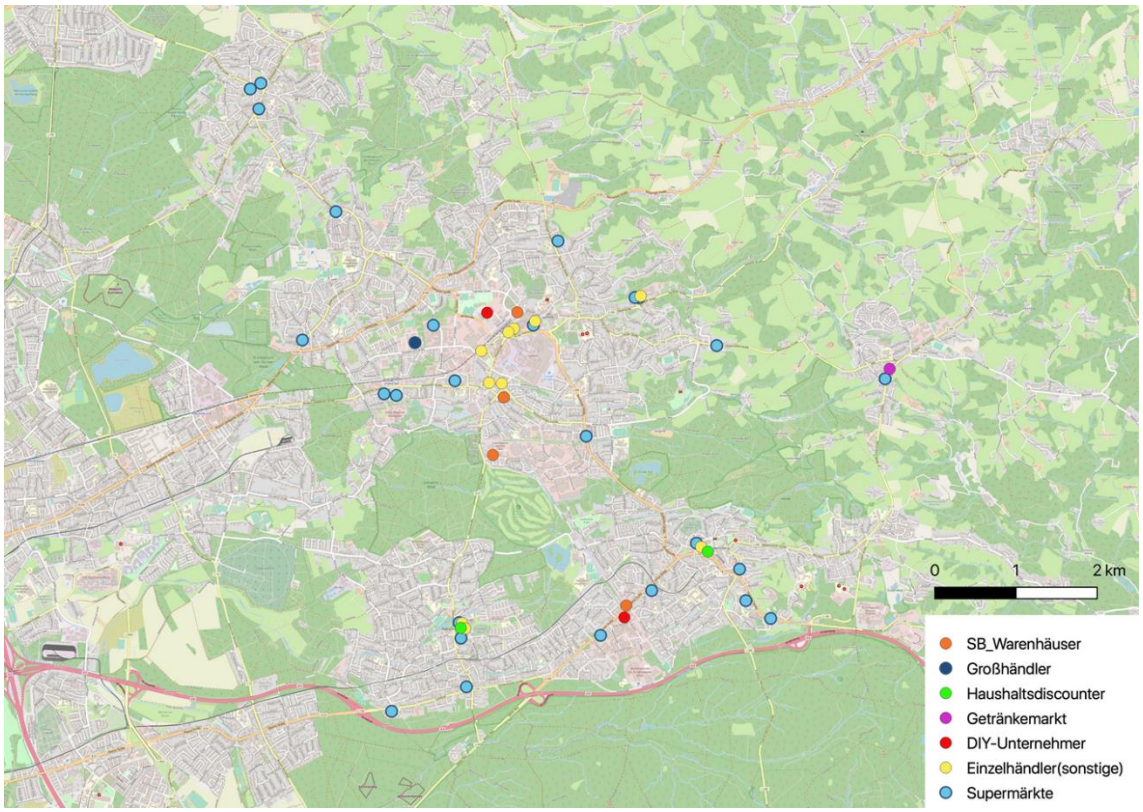

Abbildung 3: Handelsunternehmen in Bergisch Gladbach

Der Paketmarkt im Szenario KEP (Kurier, Paket und Express) ist geprägt durch fünf große Unternehmen, die den deutschen Markt unter sich aufteilen: DHL, DPD, Hermes, UPS und GLS. Anhand der Marktanteile wurden die Mengen der Unternehmen berechnet, von denen keine Daten erhoben werden konnten.

Die Unternehmen wurden in zwei Informationsveranstaltungen über die Wirtschaftsförderung der Stadt Bergisch Gladbach und das Wirtschaftsgremium Bergisch Gladbach der IHK Köln angesprochen. Außerdem wurden die Unternehmen über bestehende Kontakte der Stadt Bergisch Gladbach und der Projektpartner direkt angesprochen.

Insgesamt wurden auf diese Weise 32 Unternehmen aus den drei Szenarien kontaktiert, von denen 10 für Interviews zur Verfügung standen und Daten im Rahmen der Datenerhebung lieferten.

Die Logistikdaten von Unternehmen in den Bereichen Industrie, Handel und KEP-Dienstleistern wurden durch fragebogengestützte Interviews erhoben und durch Statistiken und Hochrechnungen ergänzt. Die logistische Bewertung wurde anhand der Komponenten der Logistikleistung vorgenommen. Es zeigte sich, dass das CargoCap-System in den Stadtteilen an der A4 zu Nachteilen bei der Lieferzeit führt. Die Industriegebiete Zinkhütte und West besitzen das größte Liefervolumen, gefolgt vom Handel, der jedoch räumlich stärker verteilt ist und einen nicht zu vernachlässigenden Anteil gekühlter Ware empfängt. Es werden eine hohe Vielfalt an Palettentypen sowie möglichst hohe Palettenladehöhen verwendet.

3 Planungskonzept

3.1 CargoCap-System

Das untersuchte Transport-Konzept basiert auf dem patentierten CargoCap-System, das an die vorliegende Transportaufgabe in Bergisch Gladbach angepasst werden musste.

Das CargoCap-System ist die 5., ergänzende Transportalternative zu Straße, Schiene, Wasser und Luft, um Güter von Konsolidierungszentren an der Peripherie von Städten oder Ballungsräumen in die einzelnen Stadtteile oder zu Städten, Großkunden, Logistikzentren etc. im Ballungsraum automatisiert durch unterirdische Fahrrohrleitungen schnell, wirtschaftlich, zuverlässig und umweltfreundlich zu transportieren Es ist als eigenständiges, leistungsfähiges und problemlos erweiterbares System konzipiert, das betriebliche Rentabilitätsanforderungen erfüllt, sich einfach in traditionelle Verkehrssysteme und Logistikkonzepte implementieren (Abbildung 4) und schnell technisch und rechtlich ohne Verletzung von Bürgerinteressen realisieren lässt.

System und Aufgabe enden an den Schnittstellen zum Kunden (GVZ, Hubs, Einkaufscentren etc.), d. h. am Übergang der CargoCap-Fördertechnik zur Anschlusslogistik des Kunden.

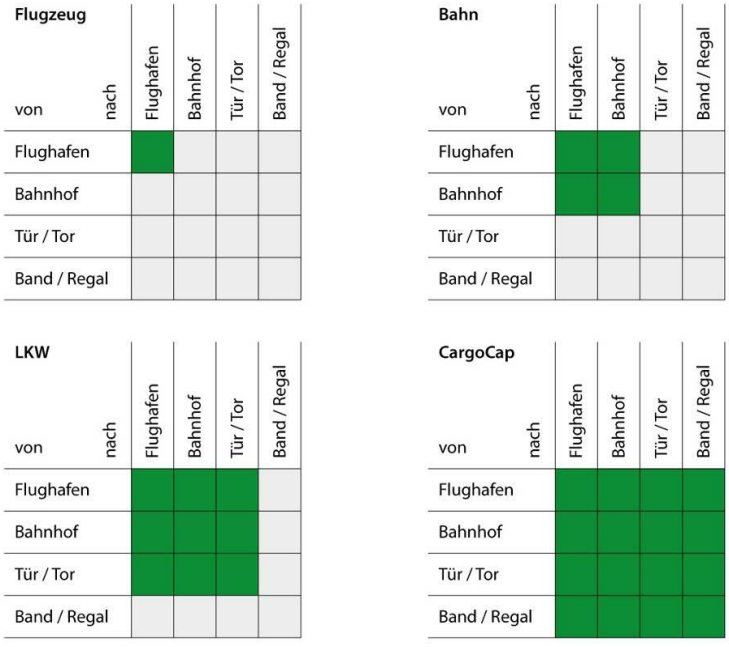

Abbildung 4: Einordnung von CargoCap in die traditionellen Transportverbindungen [Computergrafik: visaplan GmbH]

Beim ursprünglichen CargoCap-System (www.cargocap.de) fahren in unterirdischen Rohrleitungen (Fahrrohrleitungen) mit einem Innendurchmesser von nur 2,20 Meter unabhängig von Verkehrsstaus und Witterungsbedingungen vollautomatisch elektrisch angetriebene, auf Schienen geführte Transportfahrzeuge, die so genannten Caps

(Abbildung 5 links). Diese Zero-Emissionsfahrzeuge sind beladen mit jeweils zwei Ladungsträgern, in der Regel Euro-Paletten (EUL 1) mit den Abmessungen B x L x H = 0,80 m x 1,20 m x 1,20 m. Auf den Strecken bilden mehrere Caps Fahrverbände, in denen diese abstandsgeregelt in engen Abständen hintereinanderfahren.

Der Innenausbau der Fahrrohrleitung besteht aus Trag- und Führungsschienen, der Energieversorgung, der Informationstechnik sowie RFID-Transpondern zur Ortung der Fahrzeuge.

Die Fahrzeuge kommunizieren untereinander und mit der übergeordneten Betriebsleittechnik über ein WLAN-Tunnelfunksystem. Hierbei stellen Access-Points mit je zwei angeschlossenen Leckwellenleitern, die entlang der Strecke verlegt sind und ein linienartiges Kommunikationsnetz aufbauen, einzelne Kommunikationsbereiche dar. Diese wiederum sind mittels marktüblicher Netzwerkkomponenten ausreichender Bandbreite untereinander vernetzt.

Auf diese Weise können die aerodynamischen Vorteile der Verbandsfahrt ausgenutzt und der betriebliche Energieverbrauch weiter gesenkt werden.

Die Ladung der Caps wird an den Stationen bei Direktanschluss unmittelbar dem Empfänger zur Verfügung gestellt, z.B. an der Rampe von Warenhäusern oder punktgenau am Fließband einer Fabrik. Nur an diesen Stationen gibt es eine Verbindung zur Oberfläche.

In Innenstädten können, je nach deren Struktur und Aufbau, die Güter darüber hinaus an einen zentralen Punkt (City-Hub) oder an mehrere zentrale Punkte (City-Hubs) ungehindert geliefert werden, von denen dann jeweils die Weiterverteilung z.B. mit umweltfreundlichen E-Karren oder Lastenfahrrädern an den in der Umgebung ansässigen Groß- und Einzelhandel erfolgen kann. Alle zurzeit diskutierten neuen Verteil- und Abholkonzepte lassen sich in dieser Form realisieren. Auf diese Weise werden die Warenzufuhr und -verteilung nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich entzerrt. Belieferungszeit und -frequenz hängen ausschließlich von den jeweiligen Anforderungen und Möglichkeiten des angeschlossenen Geschäftes/Kunden ab.

Zum Be- und Entladen der Paletten kommt herkömmliche Fördertechnik zum Einsatz. Die im Cap vorhandenen Rollenbahnen schließen sich direkt an Rollenbahnen der Stationen an. Vertikal- und/oder Horizontalförderer bringen dann die Paletten unmittelbar an ihr Ziel (Abbildung 5, rechts).

Abbildung 5: Transporteinheit (Cap) im Fahrrohr (links), automatisierte Be- und Entladung eines Caps über konventionelle Rollenbahnen (rechts) [Computergrafik: visaplan GmbH]

3.2 Fahrrohrleitung

Der unterirdische **Fahrweg** des CargoCap-Systems (Fahrrohrleitungen) besteht aus Stahlbeton-Rohrleitungen, wie sie beim Bau von Kanalisationen in unseren Städten verwendet werden. Die Fahrrohrleitungen werden in bebauten Gebieten soweit wie möglich im öffentlichen Straßenraum neben, unter oder über vorhandenen Ver- und Entsorgungsleitungen, Strom- und Telekommunikationskabeln, U-Bahn- oder Straßentunnel und anderen Tiefbauwerken verlegt (Abbildung 6). Dies erfolgt umweltfreundlich, grabenlos (unterirdisch) nach dem Prinzip des Rohrvortriebs ohne dauerhafte Inanspruchnahme und Versiegelung von Flächen.

Abbildung 6: Positionierung der CargoCap-Fahrrohrleitung im öffentlichen Straßenraum neben bestehenden Infrastruktureinrichtungen [Computergrafik: visaplan GmbH]

Beim Rohrvortrieb werden von einem Startschacht aus mit Hilfe einer Hauptpressstation vorgefertigte Vortriebsrohre durch den Baugrund bis in einen Zielschacht vorgetrieben. Der anstehende Boden oder Fels wird an der Ortsbrust mechanisch abgebaut und durch den vorgetriebenen Rohrstrang nach über Tage abgefördert. Eine steuerbare Schildmaschine, die dem ersten Rohr vorgeschaltet ist, ermöglicht den genauen Vortrieb in gerader oder gekrümmter Linienführung (Abbildung 7).

Durch die unterirdische Streckenführung und die grabenlose Verlegung der Fahrrohrleitungen kann das CargoCap-System jederzeit und uneingeschränkt ohne Inanspruchnahme wertvoller städtischer Flächen erweitert und damit die Transportkapazität gesteigert werden. Der Platzbedarf an der Oberfläche während der Bauarbeiten ist gering. Die Anwohner sowie der Verkehr werden, wenn überhaupt, nur partiell geringfügig und zeitlich befristet gestört. Schäden an angrenzenden Bauwerken, Bäumen, Bewuchs und Leitungen werden vermieden. Vorhandenes Grundwasser muss nicht abgesenkt werden.

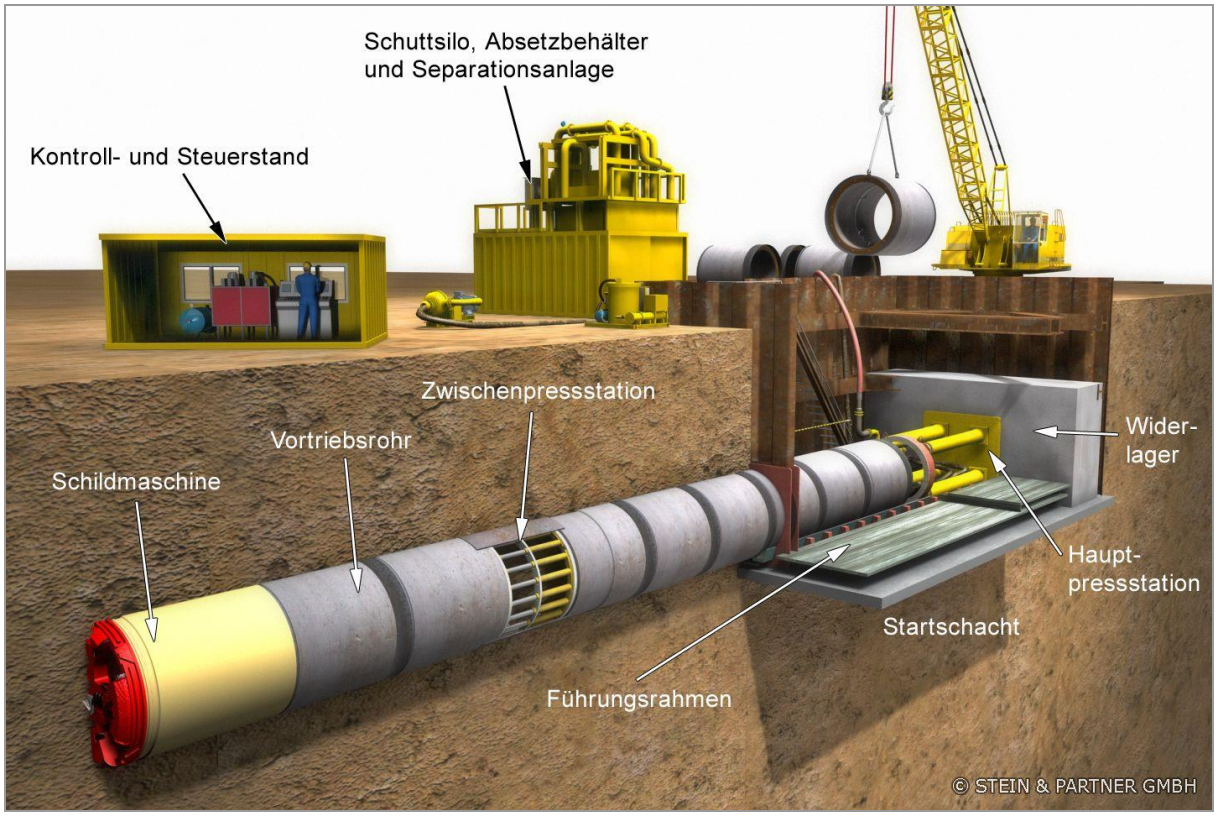

Abbildung 7: Prinzipdarstellung des gesteuerten Rohrvortriebs [Computergrafik: visaplan GmbH]

Die Etablierung dieses Bauverfahrens im Leitungsbau stellt das eigentlichen Zeitfenster für die technische Realisierung des CargoCap-Systems durch unsere Generation dar. Zahlreiche, vorwiegend mittelständische Bauunternehmungen des Leitungsbaus haben sich hierauf spezialisiert und können umfangreiche Referenzen vorweisen. Damit, aber auch aus Sicht der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen besteht im vorliegenden Anwendungsfall beim Bau des Fahrrohrleitungsnetzes kein erhöhtes technisches, finanzielles und juristisches Risiko.

3.3 Abmessungen der Fahrrohrleitung

Ein entscheidender Parameter für die Kompatibilität mit der vor- und nachlaufenden Logistik ist die Ladehöhe der zu transportierenden Paletten.

Von der „Centrale für Organisation für Ladungs- und Ladehöhen von Europaletten in der Lebensmittelwirtschaft“ sind Ladungshöhen der Paletten mit dem Grundmaß B x L = 0,80 m x 1,20 m unter der Abkürzung CCG genormt. Darüber hinaus gibt es eine Europäische Palettenladehöhenempfehlung der „ECR Europe“ unter der Abkürzung EUL:

- CCG I: 1.050 mm
- CCG II: 1.650 mm bis 1.950 mm
- EUL 1: 1.200 mm
- EUL 2: 2.400 mm

Die Beladungshöhe der Paletten bestimmt die Höhe der Caps und damit den Innendurchmesser der Fahrrohrleitung. Dieser ist der entscheidende Faktor für die baulichen Investitionskosten, die mit steigendem Fahrrohrdurchmesser deutlich zunehmen (Tabelle 2).

Ein kleiner Fahrrohrdurchmesser im Nennweitenbereich DN 2000/DN 2200 ist nicht nur aus ökonomischer, sondern auch aus bautechnischer Sicht vorteilhaft, u.a. durch:

- Mehr Möglichkeiten der Linienführung (engere Kurven, geringere Trassenbreite im Untergrund, geringerer Abstand zu vorhandenen Leitungen und Bauwerken)
- Keine Begrenzung der Bauausführung auf hoch spezialisierte Baufirmen
- Die spätere Ergänzung einer zweiten parallelen Fahrrohrleitung zur Kapazitätserhöhung ist einfacher oder überhaupt nur realisierbar
- Bautechnisch mögliche geringere Tiefenlagen
- Geringeren Platzbedarf für die Baustelleneinrichtung (z.B. kleineres Hebezeug, kleineres Rohrlager etc.)
- Geringeren Platzbedarf für die Start- und Zielschächte für den Rohrvortrieb

Die in Bergisch Gladbach vorliegenden Randbedingungen erfordern eine Anpassung des CargoCap-Systems insbesondere hinsichtlich der Fahrzeuggröße, der Anzahl der zu transportierenden Paletten pro Cap und damit auch des Innendurchmessers der Fahrrohrleitung auf 2.200 mm bzw. 3.000 mm, um Euro-Paletten mit den Grundmaßen B x L = 0,8 m x 1,20 m mit Beladungshöhen bis 1,20 m (EUL 1) bzw. bis 1,95 (CCG II) transportieren zu können.

In der vorliegenden Studie wurden 4 Varianten untersucht:

- DN 2000 für Caps ohne Karosserie mit je 3 Stck. 1,20 m hohen Paletten
- DN 2200 für Caps mit Karosserie mit je 3 Stck. 1,20 m hohen Paletten
- DN 2800 für Caps ohne Karosserie mit je 2 Stck. 1,95 m hohen Paletten

- DN 3000 für Caps mit Karosserie mit je 2 Stck. 1,95 m hohen Paletten

Mit den oben angeführten Nennweiten wird das Spektrum der genormten Ladungshöhen der Paletten mit Ausnahme von EUL 2 (Beladungshöhe 2,40 m) vollständig abgedeckt. Bei einer Beladungshöhe von 2,40 m (EUL 2) überschreitet der dann erforderliche Innendurchmesser den Größtwert für werksmäßig hergestellte Rohre. Deshalb wurde diese Ladungshöhe nicht betrachtet.

Bei den Abmessungen ist bereits berücksichtigt, dass die Caps über eine unter den Paletten angeordnete Fördereinrichtung verfügen, um eine automatische Be- und Entladung zu ermöglichen.

Bei den Caps mit Karosserie (nachfolgend auch als „geschlossenes Cap“ bezeichnet) ist vorausgesetzt, dass die Paletten in einem rundum geschlossenen Fahrzeug mit Schiebetüren transportiert werden. Falls im vorliegenden Anwendungsfall auf die Karosserie verzichtet werden kann, sind Vortriebsrohre mit einem um 20 cm reduzierten Innendurchmesser verwendbar.

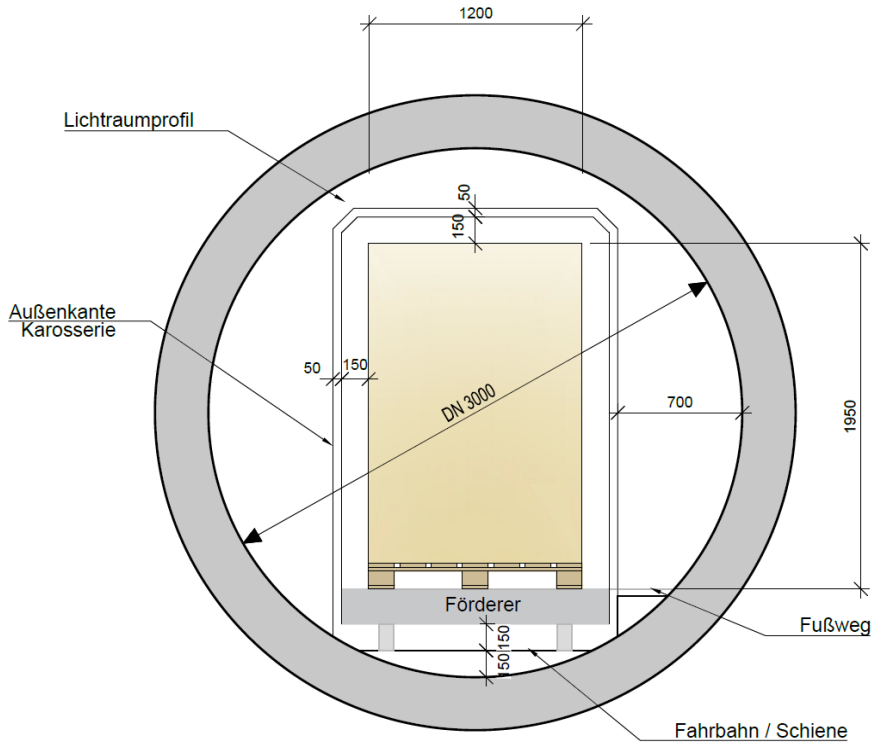

Abbildung 8: Vortriebsrohr DN 3000 mit geschlossenem Cap und Palette mit einer Höhe von 1,95 m (ohne Darstellung der Sicherheitseinrichtungen und Komponenten der Streckenausstattung)

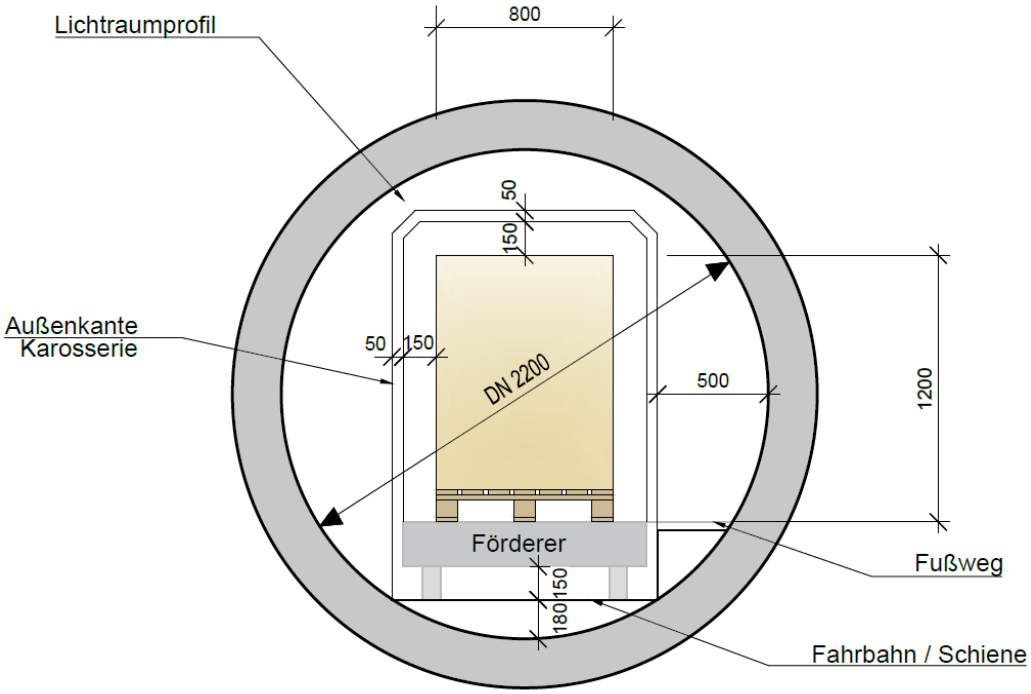

Abbildung 9: Vortriebsrohr DN 2200 mit geschlossenem Cap und Palette mit einer Höhe von 1,20 m (ohne Darstellung der Sicherheitseinrichtungen und Komponenten der Streckenausstattung)

3.4 Streckenführung und Stationen

Die Linienführung der aus unterirdischen Fahrrohrleitungen bestehenden Strecken des CargoCap-Systems orientiert sich an den Gütermengen. Als wichtigste Relationen ergeben sich daraus die Verbindungen des Güterverteilzentrums (GVZ) mit der Innenstadt und Anschließern aus der Industrie.

Um möglichst viele Kunden mit hohem Transportbedarf in einer ersten Ausbaustufe anzubinden und die übrigen Nutzer ggf. in weiteren Ausbaustufen hinzuzufügen, besteht das geplante Streckennetz entsprechend Abbildung 10 aus den folgenden Strecken:

- **Zentrale Hauptstrecke zwischen dem GVZ und der Innenstadt** (blaue durchgehende Linie)
  Diese Strecke nutzt zwischen der Frankenforster Straße und dem Refrather Weg über drei Kilometer die Trasse der stillgelegten Bahnstrecke. Die dargestellte Schleife in der Innenstadt wird nur im Gegenuhrzeigersinn befahren.
- **Zweigstrecke nach Bensberg**
  Der Abzweig befindet sich bei km 2,2
- **Zweigstrecke nach Gronau**
  Der Abzweig befindet sich bei km 4,1
- **Zweigstrecke nach Duckterath**
  Der Abzweig befindet sich bei km 5,1

- **Zweigstrecke nach Strundepark**
  Der Abzweig befindet sich bei km 6,4
- **Nebenstrecke nach Refrath**
  Diese Strecke führt unabhängig von der Hauptstrecke vom GVZ direkt nach Refrath

Im Lageplan (Abbildung 10) sind die Stadtteile Bergisch Gladbachs mit ihren Einkaufszentren und zahlreichen Geschäften des Einzelhandels sowie die beiden großen Industriegebiete West und Zinkhütte gelb markiert. Grün markiert sind Vorschläge für Standorte der CityHubs (Microdepots) am westlichen Rand der Innenstadt, am Strundepark und in Bensberg.

Sowohl für das Güterverteilzentrum (GVZ) als auch für das City-Hub sind noch keine konkreten Flächen vorgesehen. Für das GVZ gelten Suchräume im Einzugsbereich der Autobahn und im BAST-Umfeld (GVZ 1, GVZ 2 oder GVZ 3). Für das City-Hub gelten Suchräume im Zentrum sowie im Gewerbegebiet Gohrsmühle.

Die gewählte Pilotstrecke erstreckt sich zwischen dem GVZ und der Innenstadt mit direkter Anbindung der Industriegebiete West und Zinkhütte. Sie ist ca. 7,9 km lang und wird einspurig mit zwei jeweils 500 m langen doppelspurigen Kreuzungsstationen ausgelegt.

Im Bereich der Innenstadt zwischen den Streckenkilometers 6,0 und 7,9 teilt sich die Strecke in eine Ringleitung auf, die nur im Gegenuhrzeigersinn befahren wird (Abbildung 10).

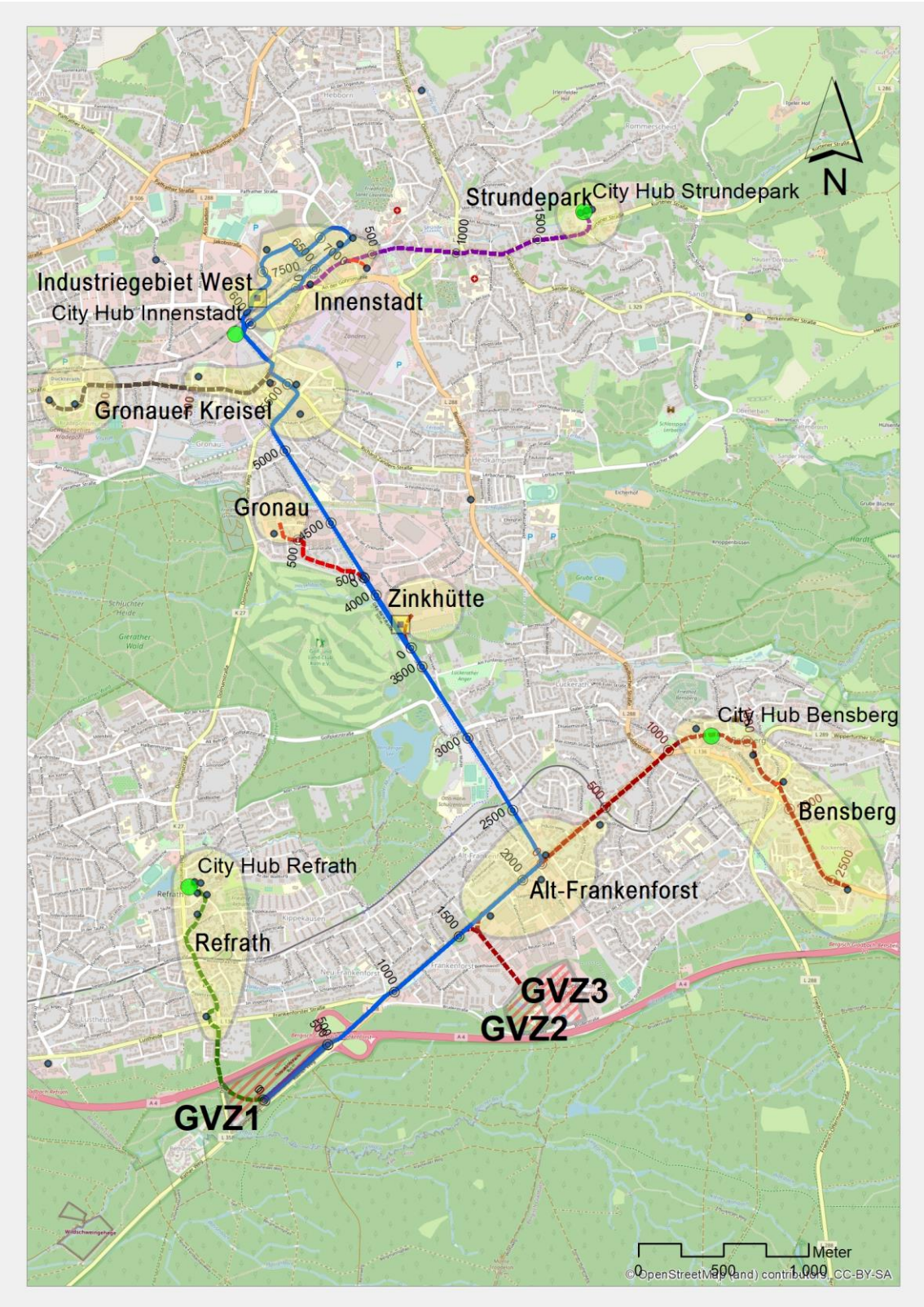

Abbildung 10: CargoCap-Streckennetz mit der Hauptstrecke (Länge 7,90 km), den Zweigstrecken und einer Nebenstrecke

Die gewählte Linienführung aller Strecken führt durch ein weitgehend ebenes Gelände, so dass stärkere Steigungen mit mehr als 3% Längsneigung weitgehend vermieden werden. Etwa drei Kilometer der Hauptstrecke verlaufen unterhalb der stillgelegten Bahnstrecke.

Die Zweig- und Nebenstrecken blieben in der betriebswirtschaftlichen Betrachtung und Bewertung zunächst unbeachtet. Es erfolgte eine Konzentration auf die zentrale Hauptstrecke zwischen GVZ und der Innenstadt mit den besonders verkehrsstarken Industriegebieten, die als Pilotstrecke für den weltweit erstmaligen Einsatz des Cargo-Cap-Systems dient.

Grundsätzlich ist vorgesehen, bei jedem Anschließer eine eigene Station zu errichten. Alle Stationen werden im vorliegenden Anwendungsfall unterirdisch angeordnet, weil diese bei den beteiligten Unternehmen am besten integriert werden können und städtebaulich am wenigsten stören. Im Einzelfall kann bei der Planung geprüft werden, ob sich ausnahmsweise technisch oder logistisch eine oberirdische Platzierung anbietet.

In den Stationen sollen einzelne Caps anhalten und automatisch ent- und beladen werden (Abbildung 5 rechts). Dazu wird ein Stationsgrundmodul verwendet, das je nach umzuschlagender Palettenanzahl beliebig oft aneinandergereiht werden kann.

Die Abbildung 11 zeigt das Grundmodul mit den erforderlichen Fördereinrichtungen.

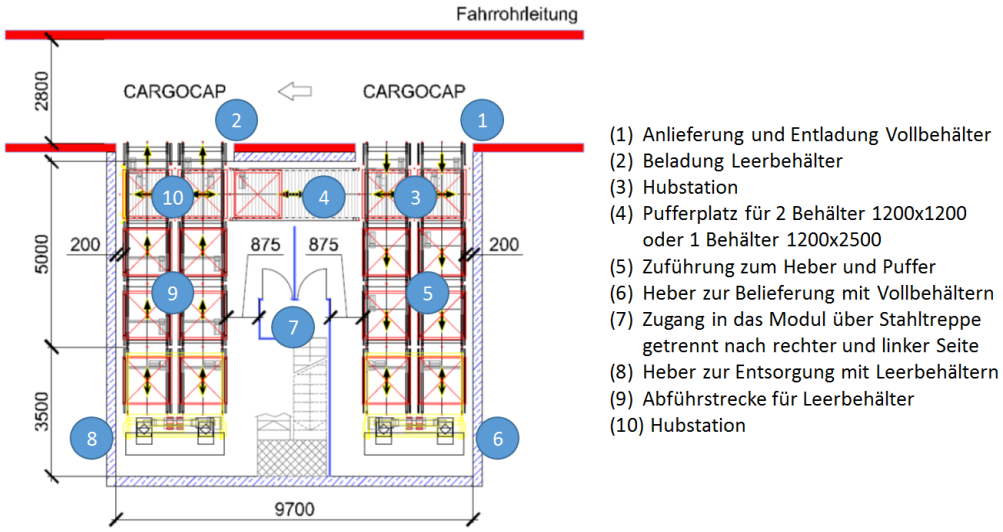

Abbildung 11: Grundmodul mit den Fördereinrichtungen in den Stationen

Ein Grundmodul ist jeweils mit zwei Andockstellen für Caps ausgerüstet, wobei in der Regel die in Fahrtrichtung erste Andockstelle zum Entladen (Anlieferung) und die zweite zum Beladen vorgesehen ist. Dabei ist zu beachten, dass auch an den Stationen des Handels mit vorwiegendem Wareneingang Caps beladen werden müssen, beispielsweise mit Leergut, Rückläufern, Verpackungsmaterial oder zumindest mit leeren Paletten.

Nicht nur aus aerodynamischen Gründen, sondern auch zur getakteten Bedienung der Stationen werden bei allen untersuchten Varianten Verbände mit bis zu 22 Caps gebildet, die im 15- oder 30-Minuten-Takt mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s (36 km/h) verkehren.

4 Investitionskosten

Die maßgebenden Anteile der Investitionskosten setzen sich aus den nachfolgend genannten Hauptteilleistungen zusammen:

a) Rohbau (Strecken und Stationen)

b) Innenausbau (Strecken und Stationen)

c) Fahrzeuge (Caps)

d) Programmierung (Betriebsleitsystem und Bordsoftware)

Die Grobschätzung der gesamten Investitionskosten der Hauptstrecke Bergisch Gladbach in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers für einen Betrieb mit geschlossenen Caps enthält die Tabelle 2.

Tabelle 2: Zusammenstellung der gesamten Investitionskosten der Hauptstrecke Bergisch Gladbach für einen Betrieb mit geschlossenen Caps

Investitionsbereich	DN 2200 3 Paletten pro Cap Ladehöhe bis 1,20 m	DN 3000 2 Paletten pro Cap Ladehöhe bis 1,95 m
Rohbau	42,6 Mio. EUR	57,3 Mio. EUR
Innenausbau/Fördertechnik	22,0 Mio. EUR	23,0 Mio. EUR
Caps (Bedarf + Reserve (296 Stck.) + Entwicklungskosten)	16,5 Mio. EUR	16,5 Mio. EUR
Softwareentwicklung	10,0 Mio. EUR	10,0 Mio. EUR
Gesamte Investitionskosten	**91,1 Mio. EUR**	**106,8 Mio. EUR**

Bemerkung: In der betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Bewertung wurde die betrieblich erforderliche Anzahl von Caps in Höhe von 247 Stck. zugrunde gelegt. Die Gesamtkosten betragen in diesem Fall 14,63 Mio. EUR.

Die Wartungskosten für den Betrieb auf der Hauptstrecke betragen 720.000,00 EUR bis 730.000,00 EUR pro Jahr.

Durch den automatisierten Betrieb und die Nutzung unbemannter Fahrzeuge in der Fahrrohrleitung ist der Personalbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Transportsystemen gering. Die Kosten hierfür hängen maßgeblich vom noch zu klärenden Betreibermodell ab.

Der Energiebedarf ist im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern äußerst gering und entsteht lediglich bei der Beschleunigung und auf Steigungen. Bei einer Beharrungsfahrt in der Ebene ist ein Energiebedarf kaum messbar. Für ein Cap wird deshalb von einem Stromverbrauch in Höhe von 0,1 kWh/tkm ausgegangen, worin auch eine einmalige Beschleunigung zu Beginn der Fahrt und der Bedarf der Sekundärverbraucher des Systems enthalten sind. Damit ergeben sich bei einem Kostensatz von 30 Cent pro kWh (Stand 2020) gerade einmal 107.382,00 EUR pro Jahr für den Betrieb auf der Hauptstrecke.

5 Umsetzungszeitraum

In der Tabelle 3 ist die Gesamtdauer der Umsetzung des CargoCap-Systems in Bergisch Gladbach bis zur Aufnahme des kommerziellen Betriebs zusammengestellt.

Tabelle 3: Gesamtdauer der Umsetzung

Umsetzungsphasen	Dauer
Planungsleistungen bis Ausschreibungsreife	24 Monate
Ausführung der Arbeiten inkl. der Testphase bis zur kompletten Übergabe des Systems an den Betreiber (Rohbau, Innenausbau und Testbetrieb)	36 Monate
Gesamtdauer für die Umsetzung	**5 Jahre**

Durch eine maximale Parallelisierung der Arbeiten und das gleichzeitige Vortreiben von mehreren Vortriebsstrecken könnte die Ausführungsphase im Idealfall auf 24 Monate verkürzt werden, so dass die Gesamtdauer für die Umsetzung auf 4 Jahre sinken würde.

Für ausgiebige Testfahrten zur Simulation und zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des automatischen Betriebes des CargoCap-Systems stehen die ersten fertiggestellten Fahrrohrleitungsabschnitte zur Verfügung, die zu diesem Zweck sofort nach dem Abschluss des Vortriebs mit den Innenausbauten (Schienen, Stromversorgung und Kommunikationskomponenten usw.) ausgestattet werden. Mit der Realisierung kann spätestens ab dem vierten Jahr begonnen werden. Bis dahin sind Entwicklung, Bau und Erprobung von Prototypen der Caps abgeschlossen, so dass sie für den Testbetrieb zur Verfügung stehen.

6 Betriebswirts- und volkswirtschaftliche Bewertung

Im Rahmen der **betriebswirtschaftlichen** Untersuchung wurde geprüft, ob und wann das CargoCap-System die zu übernehmende Transportaufgabe in Bergisch Gladbach (CCBG) rentabel absolvieren kann. Die Analyse basiert einerseits auf der Abschätzung der Investitions- und Betriebsaufwendungen, die in eine dynamische Investitionsrechnung eingespeist werden. Andererseits wurden die notwendigen Erlöse bzw. Einnahmen gegengerechnet, die für einen rentablen Betrieb von CCBG notwendig sind.

Die betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgte für die folgenden Varianten

a) **Streckenbetrieb mit Infrastrukturkosten und GVZ (Betriebskosten)**
Einbeziehung aller Investitionen für die Infrastruktur im Rahmen der Umstellung auf das CargoCap-System (Strecke, Stationen, Fahrzeuge etc.) mit Betriebskosten für das GVZ und die CityHubs

b) **Streckenbetrieb mit Infrastrukturkosten und ohne GVZ (Betriebskosten)**
wie a), aber ohne Betriebskosten für das GVZ

c) **Streckenbetrieb ohne Infrastrukturkosten und mit GVZ (Betriebskosten)** wie a), aber ohne Investitionskosten für die Infrastruktur

d) **Streckenbetrieb ohne Infrastrukturkosten und ohne GVZ (Betriebskosten)** Kombination von b) und c), d.h. wie a), aber ohne Betriebskosten für das GVZ und ohne Investitionskosten für die Infrastruktur

Aufgrund des relativ geringen Unterschieds zwischen den Investitionskosten DN 3000 und DN 2800 sowie DN 2200 und DN 2000 wurden die Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit des CargoCap-Systems nur für die Varianten mit geschlossenem Cap (DN 3000 und DN 2200) durchgeführt.

Vor dem Hintergrund der dynamischen Investitionsrechnung der betriebswirtschaftlichen Bewertung erreicht die CargoCap-Investition die Schwelle für ihre **betriebswirtschaftliche Rentabilität**, wenn der Ausgabenbarwert dem Einnahme- oder Erlösbarwert entspricht. Diese Bedingung wird bei der **Variante a)** für eine Zielerlösannuität von rund 10,5 Mio. € p.a. (DN 2200) bzw.11 Mio. € p.a. (DN 3000) erfüllt, wenn die Gütertransportaufgabe in Bergisch Gladbach weitgehend vollständig von CargoCap übernommen wird. Die Gesamtkosten belaufen sich dann für DN 2200 auf rund 803 Mio. €, für DN 3000 auf 826 Mio. € p.a.. Die Zielerlöse liegen bei insgesamt rund 837 Mio. € (DN 2200) bzw. rund 880 Mio. € (DN 3000). Werden der Betrieb des Güterverteilzentrums ausgegliedert und die Infrastrukturkosten öffentlich finanziert (**Variante d**), sinken die jährlichen Kosten gravierend und die notwendigen Zielerlöse nehmen ab.

Von den oben aufgeführten Varianten entsprechen nur b) und d) dem eigentlichen CargoCap-Geschäftsmodell, bei dem System und Aufgabe an den Schnittstellen zum Kunden (GVZ, Hubs, Einkaufscentren etc.), d. h. am Übergang der CargoCap-Fördertechnik zur Anschlusslogistik des Kunden enden. Diese zeichnen sich gegenüber den Varianten a) und c) durch deutlich geringere Palettenkosten aus (Tabelle 4). Bei der Interpretation der Palettenkosten ist zudem zu berücksichtigen, dass diese im Zuge des Netzausaubaus über Bergisch Gladbach hinaus zu Skalenerträgen sowie höheren Transportmengen und damit zu Kostendegressionseffekten führen. Diese konnten bei der Bewertung der Pilotstrecke in Bergisch Gladbach nicht berücksichtigt werden. Sie sind allerdings empirisch außerordentlich relevant und führen zu einer weiteren Senkung der Kosten- und Rentabilitätsschwelle.

Tabelle 4: Palettenkosten der Investitionszenarien (€)

Variante	Investitionsszenarien	DN 2200	DN 3000
a)	Streckenbetrieb mit Infrastrukturkosten und mit GVZ (Betriebskosten)	5,74	5,90
b)	Streckenbetrieb mit Infrastrukturkosten und **ohne GVZ (Betriebskosten)**	2,98	3,14
c)	Streckentrieb **ohne Infrastrukturkosten** und mit GVZ (Betriebskosten)	5,16	5,20
d)	Streckentrieb **ohne Infrastrukturkosten** und **ohne GVZ (Betriebskosten)**	2,40	2,60

Die Ausgliederung der GVZ-Betriebskosten und der Infrastrukturkosten führt zu gravierenden Kostensenkungen, weil nur die Betriebskosten des CargoCap-Betriebs getragen werden müssen.

Die **volkswirtschaftliche** Bewertung erfolgte nach dem Ressourcenverbrauchsansatz der Bundesverkehrswegeplanung 2030. Aus jeder verlagerten Lkw-Fahrt ziehen die Verkehrsteilnehmer, Anwohner und die Stadt einen Nutzen durch kürzere Reisezeiten, geringere Lärmeinwirkungen, Erhöhung der Zuverlässigkeit und niedrigeren Verschleiß der Infrastruktur. Die Bewertung hat auch gezeigt, dass das Transportsystem CargoCap geeignet ist, fossile Kraftstoffe einzusparen, die Umweltbelastung durch Abgasemissionen zu reduzieren, die Verkehrssicherheit zu steigern und innerörtliche Trennwirkungen zu mindern. Die analysierten Vorteile wiegen die systemimmanenten Nachteile des CargoCap-Systems im vorliegenden Anwendungsfall nicht auf. Die im Vergleich zum Lkw höheren Betriebskosten und zusätzlichen Transportzeiten führen zu einem negativen Gesamtnutzen.

Generell kann festgestellt werden, dass die Anforderungen an die volks- und betriebswirtschaftliche Rentabilität der CargoCap-Investition in Bergisch Gladbach insgesamt vor dem Hintergrund der Betriebs- und Investitionsausgaben sowie vor dem Hintergrund des Potenzials des Transportaufkommens relativ hoch ausfallen. Zudem ist nicht zu erwarten, dass sich der CargoCap-Transport ohne öffentliche Intervention in Konkurrenz zum Lkw-Transport durchsetzt, weil die Grenz- und Durchschnittskosten für die „letzten“ Kilometer des Lkw zwischen GVZ und den verschiedenen Stationen unter denen des CargoCap-Systems liegen. Die Inangriffnahme der Realisation des subterrestrischen Transportsystems in Bergisch Gladbach kann trotzdem mit dem Hinweis auf seinen innovativen Pilotcharakter für die Entwicklung umweltfreundlicher, nachhaltiger Gütertransportsysteme politisch begründet werden. Die Bedingungen für eine betriebs- und volkswirtschaftliche Rentabilität verbessern sich dann erheblich, wenn das GVZ ausgegliedert und die Infrastrukturkosten wie beim Straßenbau öffentlich finanziert werden. Darüber hinaus führt ein Netzausbau über Bergisch Gladbach hinaus dazu, dass Skalenerträge, höhere Transportmengen sowie Kostendegressionseffekte und geringere Umladekosten realisiert werden, die für das Gesamtsystem eines wachsenden Netzes betriebs- und volkswirtschaftliche Rentabilitätsgewinne versprechen.

7 CargoCap-Van

Bei einer weiteren untersuchten Variante wurden die Caps durch den eSprinter der Daimler AG ersetzt, wodurch ein Rohrinnendurchmesser DN 3200 erforderlich ist und die Beladungshöhe der Paletten auf 1,20 m (EUL 1) beschränkt wird (Abbildung 12).

Abbildung 12: Autonom fahrender Transporter in der Fahrrohrleitung DN 3200 [Computergrafik: visaplan GmbH]

Seitens der Gesetzgebung bestehen Bemühungen, das autonome Fahren ohne einen Fahrer mit Eingriffsmöglichkeit an Bord im Straßenverkehr zu erlauben. Rechtlich in Deutschland ungelöst ist der Tatbestand, wenn einem Menschen durch ein autonomes Fahrzeug ein körperlicher Schaden zugeführt wird. Beim automatisierten, unterirdischen Warentransport kann dieses Problem außer Acht gelassen werden, da sich keine Person im Gefahrenbereich (in der Fahrrohrleitung) befinden darf.

Der entscheidende Vorteil besteht darin, dass die Fahrzeuge im Prinzip bereits existieren und sowohl unterirdisch durch die Fahrrohre (ohne Fahrer) als auch oberirdisch im öffentlichen Straßenverkehr (mit Fahrer) fahren können. Dies eröffnet eine recht große Freizügigkeit des Einsatzes, insbesondere in der Migrationsphase.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Investitionskosten für das CargoCapVan-System beim Einsatz auf der Hauptstrecke zwischen dem GVZ und der Innenstadt Bergisch Gladbach mit direkter Anbindung der Industriestandorte West und Zinkhütte zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Investitionskosten für das CargoCapVan-System

	Investitionskosten
Rohbau	58,4 Mio. EUR
Innenausbau/Fördertechnik	4,3 Mio. EUR
Vans	15,1 Mio. EUR
Softwareentwicklung	10,0 Mio. EUR
Gesamte Investitionskosten	**87,8 Mio. EUR**

Die Van-Variante führt gegenüber dem eigentlichen CargoCap-System zu zusätzlichen Kostenbelastungen. Diese resultieren zum einen daraus, dass die Energiekosten p.a. deutlich höher ausfallen. Zum anderen fällt die betriebswirtschaftliche Nutzungszeit beim e-Sprinter mit rund zehn Jahren gegenüber den Caps (20 Jahre) geringer aus. Dies führt zu höheren Investitionsausgaben und damit zu höheren Abschreibungen sowie höheren Zinsbelastungen. Im Ergebnis steigen die Kosten je Palette über den gesamten Betriebszeitraum auf rund 9 € (Variante a: Streckenbetrieb mit Infrastrukturkosten und GVZ (Betriebskosten)). Dies sind gegenüber der vergleichbaren CargoCap-Variante DN 2200 rund 3 € Zusatzkosten (Tabelle 5).

Bochum, 09. Juni 2021