EUROPÄISCHE FACHHOCHSCHULE

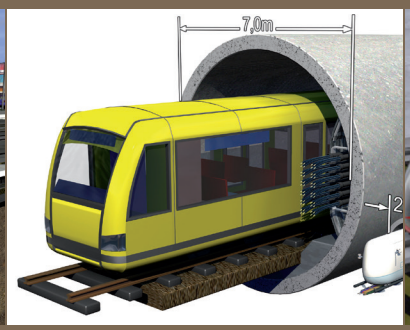
HAMBURGER FERN-HOCHSCHULE
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

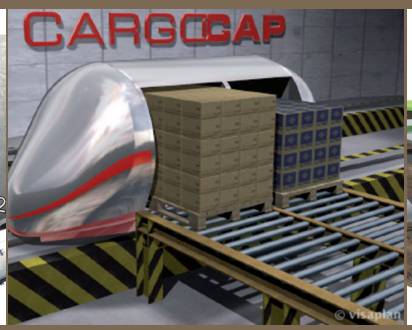
DISKUSSIONSBEITRAG | WORKING PAPER

AUTOMATISCHER GÜTERVERKEHR IM UNTERGRUND
EIN VERKEHRSTECHNISCHES ZUKUNFTSSZENARIO

HERAUSGEBER: HELMUT KEIM, JOHANNES WOLF
AUTOREN: DIETRICH STEIN UNTER MITARBEIT VON DIETMAR BECKMANN, THOMAS SIEFER UND ROBERT STEIN

JANUAR 2014
ISSN 1860 – 3661
NR.11





EUROPÄISCHE FACHHOCHSCHULE BRÜHL
KAISERSTRASSE 6 | 50321 BRÜHL
INFO@EUFH.DE | WWW.EUFH.DE

EUROPÄISCHE FACHHOCHSCHULE

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automatischer Güterverkehr im Untergrund – Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario

Beitrag im Rahmen des Forschungsprojekts „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik" in Kooperation zwischen der Europäischen Fachhochschule (EUFH), Brühl und Neuss, sowie der HFH · Hamburger Fern-Hochschule

Helmut Keim · Johannes Wolf (Hrsg.)
Dietmar Beckmann · Thomas Siefer · Dietrich Stein · Robert Stein

Angaben zum Beitrag

Helmut Keim, Johannes Wolf (Hrsg. des Beitrags)

Dietmar Beckmann, Thomas Siefer, Dietrich Stein, Robert Stein (Autoren)

Automatischer Güterverkehr im Untergrund –
Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario

Beitrag im Rahmen des Forschungsprojekts „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik“ in Kooperation zwischen der Europäischen Fachhochschule (EUFH), Brühl und Neuss, sowie der HFH · Hamburger Fern-Hochschule

Diskussionsbeitrag der Hamburger Fern-Hochschule (HFH), Nr. 2, ISSN 2194-9891

Diskussionsbeitrag der Europäischen Fachhochschule (EUFH), Nr. 11, ISSN 1860-3661

Hamburg/Brühl, Januar 2014

Kontakt zu den Herausgebern und den Autoren des Beitrags:

Herausgeber des Beitrags:
Prof. Dr. Helmut Keim
h.keim@eufh.de
+49 2232 5673-730

Prof. Dr. Johannes Wolf
johannes.wolf@hamburger-fh.de
+49 40 35094-3452

Für die Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein
dietrich.stein@cargocap.de
+49 234 5167-110

Herausgeber der Diskussionsbeiträge:

Discussion Paper/Diskussionsbeitrag
HFH · Hamburger Fern-Hochschule
Der Präsident
Alter Teichweg 19
22081 Hamburg
www.hamburger-fh.de
Tel.: +49 40 35094-332
Fax: +49 40 35094-335

Diskussionsbeitrag/Working Paper
EUFH · Europäische Fachhochschule
Kaiserstr. 6
50321 Brühl
www.eufh.de
Tel.: +49 2232 5673-130/730
Fax: +49 2232 5673-229

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Beitrag 2

Einführende Bemerkungen der Herausgeber 4

Automatischer Güterverkehr im Untergrund
Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario 7

1. Derzeitige Verkehrssituation 8
2. Der Aktionsplan des Bundesverkehrsministers 8
3. Vor- und Nachteile der konventionellen Landverkehrswege 10
4. Mittelfristige Probleme und daraus resultierende Anforderungen an zukünftige Konzepte 12
5. Entmischung von Güter- und Reisezugverkehr 14
6. Der führerlose Güterzug 16
7. Verlegung des Güterverkehrs unter die Erde 16
   - 7.1 CargoCapContainer für den Güterfernverkehr 18
   - 7.2 CargoCap für den regionalen Güterverkehr 28
8. Von der Vision zur Selbstverständlichkeit 37
9. Verschiebung der Prioritäten 40
10. Zusammenfassung 41

Quellen 43

Schlüsselwörter 43

Herausgeber des Beitrags 44

Autoren des Beitrags 45

Einbettung des Beitrags in das Forschungsprojekt „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik“ 46

Bislang erschienene Diskussionsbeiträge der HFH und EUFH 47

Einführende Bemerkungen der Herausgeber

Lebenswerte Innenstädte und Ballungsräume zu gestalten, die berufliche, kulturelle und soziale Mobilität fördern und eine möglichst reibungslose Teilnahme an Events gestatten, gehört angesichts der steigenden Urbanisierung und des wachsenden Güterverkehrsaufkommens zu den größten Herausforderungen gesellschaftlicher Zukunftsplanung.

Trotz der in den neunziger Jahren euphorisch gestarteten Entwicklung von Citylogistikkonzepten sind bis heute noch keine ganzheitlichen verkehrsinfrastrukturellen Lösungsansätze erkennbar. Geradezu ernüchternd wirken die Ergebnisse zu den Logistiklösungen im städtischen Raum des im Dezember 2010 veröffentlichten Schlussberichts des Gutachtens über Güterverkehrszentren von LUB Consulting und dem Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Im Hinblick auf die nationale Güterverkehrsinfrastrukturplanung thematisieren der „Masterplan Güterverkehr und Logistik" aus dem Jahr 2008 sowie, in noch größerer Deutlichkeit, der „Aktionsplan Güterverkehr und Logistik" aus dem Jahr 2010 die anzustrebende Vereinbarkeit von Wirtschaftswachstum mit Umwelt- und Klimaschutz. Der Aktionsplan fordert, durch innovative Logistikkonzepte und Verkehrsmanagementsysteme die Güterverteilung flüssiger und umweltfreundlicher zu gestalten. Doch bei dem Streben nach neuen citylogistischen Konzepten durch eine bessere Ausformung des Wirtschaftsverkehrs – unter Einbindung der Güterverkehrszentren als logistischen Schnittstellen – beschreitet er keineswegs innovative, sondern die klassischen, konservativen Wege: So schlägt der Aktionsplan die Berücksichtigung des Wirtschaftsverkehrs bei der Raumordnung und Regionalplanung, die Harmonisierung der Umweltzonen und Erprobung alternativer Nutzfahrzeugkonzepte vor.

Zu den derzeit genutzten zukunftsweisenden Technologien und Einsatzfaktoren gehören u. a. zwar klimafreundliche, d. h. schadstoffarme, Antriebe und Kraftstoffe, die Start-Stopp-Automatik und vieles andere mehr. Zum einen sind jedoch Zielkonflikte in der Abgasreinigungstechnik zu beachten. Die Shell Lkw-Studie aus dem Jahr 2010 mit einem Betrachtungshorizont bis zum Jahr 2030 kommt zum anderen auch unter der Annahme des künftigen Einsatzes diverser Antriebstechnologien und Antriebsstoffe zu einer eher ernüchternden Erkenntnis: Wenn es sich um die Antriebsformen (insbesondere Hybridantrieb) handelt, steht der Nutzfahrzeugbereich noch erst am Anfang und es kann keine Zweifel geben, dass hier noch ein großer Entwicklungsbedarf besteht.

Der Einsatz von elektromobilen Fahrzeugen und Elektroschiffen wie dem Elektroflitzer, dem mit Ionen-Akkus betriebenen Cargo Cruiser oder den Elektro-Lastenbikes – auch wenn von Letzteren bereits über 1,3 Millionen im Einsatz sind – entschärft kaum merklich die durch das wachsende Güterverkehrsaufkommen und Baustellen verursachten Staus sowie die steigende Schadstoffemissionsbelastung in den Städten und zwischen den Städten. Und auch die KEP-spezifischen Lösungen mit Verteilungszentren an der städtischen Peripherie, Packstationen in der Innenstadt und elektromobilem Transport, sosehr sie zu begrüßen sind, bewirken nur Teilentlastungen. Geradezu hilflos wirkt die zu einer kommunal-bürokratischen Spielwiese mutierende Einführung von den Güterverkehr belastenden Umweltzonen, die zu keiner merklichen Reduzierung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen führt.

Das zentrale Problem für die Schaffung urbaner Mobilität ist die Konsolidierung des Güterverkehrs durch gemeinsame Lösungen der Agenten von Produktion, Einzelhandel, Speditionen und Verbrauchern. Die Bewältigung der künftig wachsenden Warenströme in Innenstädten und Ballungsgebieten erfordert über eine intelligente Bündelung der Güterdistribution hinaus eine Nutzung brachliegender Schienenkapazitäten (Straßenbahnen, U-Bahnen) bei Nacht und Investitionen in eine Zukunftstechnologie wie CargoCap als fünfte Verkehrsalternative neben Straße, Schiene, Wasser und Luft.

CargoCap als unterirdisches Güterversorgungssystem in Ballungsräumen und zwischen Güterverkehrszentren ist ein elektronisch gesteuertes, witterungsunabhängiges, emissionsfreies System der unterirdischen Güterverteilung, das Abhilfe schafft für das staubelastete klassische Verkehrssystem, zur Emissionsentlastung in Innenstädten beiträgt und Freiräume für die individuelle Mobilität schafft. Voraussetzung dafür ist, insbesondere in Innenstädten und Ballungsgebieten über die Nutzung und Auslastung der drei Verkehrsebenen Oberfläche, Luft und Untergrund zu reflektieren. Die Verlagerung von Güterverteilungsverkehr auf die verkehrsmäßig noch wenig erschlossene dritte Ebene, d. h. den unterirdischen Bereich, kann in erheblichem Ausmaß dazu beitragen, lebenswerte, mobile und umweltfreundliche Innenstädte zu schaffen. Dieses System leistet konkret eine Entmischung von Güter- und Personenverkehr, die durch den Aktionsplan in Maßnahme 2 D als wünschenswert kommuniziert wird. Es stellt keine Konkurrenz zu den klassischen Verkehrsträgern dar, sondern eine verkehrsentlastende Alternative zum bestehenden Güterverkehrssystem im citylogistischen bzw. intra- und interurbanen Bereich.

Ein besonderes Anliegen der Herausgeber ist es, mit dieser Sonderveröffentlichung „Automatischer Güterverkehr im Untergrund – Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario" aus dem Forschungsprojekt „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik" einen Anstoß zu geben, über die optimierte Nutzung der drei Verkehrsebenen und die Realisierung einer Zukunftstechnologie offen zu diskutieren. Die Herausgeber sind der Auffassung, dass die Investition in diese Zukunftstechnologie eine wichtige Investition in den Logistikstandort Deutschland darstellt.

Die Herausgeber
Brühl/Hamburg, Januar 2014

Helmut Keim · Johannes Wolf

Automatischer Güterverkehr im Untergrund

Ein verkehrstechnisches Zukunftsszenario

Dietmar Beckmann, Thomas Siefer, Dietrich Stein, Robert Stein

Abstract: Das unter dem Begriff CargoCap bekannt gewordene Konzept des unterirdischen Gütertransports wird unter Berücksichtigung technischer, juristischer, ökologischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte vorgestellt. Die Autoren behandeln sowohl den Güterfernverkehr als auch den regionalen Güterverkehr in Ballungsräumen. Die Kompatibilität des Konzepts mit den Intentionen des Aktionsplans wird herausgestellt. Die Ausführungen sind fundiert durch verschiedene Forschungsprojekte und lassen sich in der Grundforderung zusammenfassen, dass der Personenverkehr über der Erde, der Gütertransport aber unterirdisch geführt werden sollte.

Vor gerade einmal 150 Jahren war die lückenlose Versorgung der Bevölkerung mit Wasser, Gas und elektrischer Energie vollkommen undenkbar, heute ist sie für jedermann schlichtweg eine Selbstverständlichkeit. Die zugehörigen umfangreichen und komplexen Transportvorgänge inkl. der Entsorgung des Abwassers erfolgen von uns meist unbemerkt in großen unterirdischen Netzen ohne spürbare Emissionen und ohne Beeinträchtigung der Lebensqualität. Allein das Abwassernetz Deutschlands hat eine Ausdehnung von ca. 2 Mill. Kilometern. Mit einem Aufwand von mehreren Milliarden Euro werden in den nächsten Jahren im Ruhrgebiet die letzten Abwasserkanäle mit noch offenen Gerinnen in unterirdische Rohrleitungen umgeleitet. Auch die Verlegung der regional noch vorhandenen elektrischen Freileitungen unter die Erde steht nach den folgenschweren Stromausfällen im Münsterland und im Rahmen der Neuorientierung der Energieversorgung in der Diskussion. Damit wäre die gesamte Ver- und Entsorgung der deutschen Bevölkerung und Industrie unter der Erdoberfläche verschwunden, allerdings mit einer entscheidenden Ausnahme: dem Güterverkehr.

Noch immer erfolgt die Güterversorgung selbst von hoch belasteten Ballungsräumen auf der Oberfläche mit enormem Flächenverbrauch und z. T. unzumutbarer Lärm- und Schadstoffbelastung für die Anwohner. Ist es eine Utopie oder ein realisierbares Zukunftsszenario, auch den Güterverkehr in „Versorgungsleitungen“ unter die Erde zu verlagern? Der vorliegende Beitrag beschreibt die Prinzipien, Probleme und Grenzen des derzeitigen Verkehrssystems und dokumentiert die Machbarkeit und Notwendigkeit eines unterirdischen Warenversorgungsnetzes.

1. Derzeitige Verkehrssituation

Nach den derzeitigen Verkehrsprognosen für Deutschland und Europa ist in den kommenden Jahren und Jahrzehnten infolge der fortschreitenden Globalisierung und der weiteren Teilung der Produktionsprozesse mit einer erheblichen Zunahme des Personen- und insbesondere des Güterverkehrs zu rechnen. Die derzeit existierende Infrastruktur, sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene, ist zumindest in einigen Regionen nicht in der Lage, Mehrverkehr in der erwarteten Größenordnung aufzunehmen.

2. Der Aktionsplan des Bundesverkehrsministers

Vor diesem Hintergrund hat im November 2010 das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) den „Aktionsplan Güterverkehr und Logistik" [i] veröffentlicht. Insbesondere der Untertitel „Logistikinitiative für Deutschland" verspricht nationale Konzepte und politische Vorgaben zur nachhaltigen, zukunftssicheren Gewährleistung eines leistungsfähigen und umweltschonenden Güterverkehrs in Deutschland. Eine zentrale Zielsetzung ist darin die Effizienzsteigerung aller Verkehrsträger und die optimale Vernetzung der Verkehrswege. Tatsächlich ist die kombinierte Verwendung insbesondere der Verkehrsträger Straße und Schiene unter Nutzung der jeweiligen systemspezifischen Vorteile insbesondere im Güterverkehr nicht nur wünschenswert, sondern unbedingt erforderlich, um eine nachhaltige, bezahlbare und umweltverträgliche Lösung für die Verkehrsprobleme der mittelfristigen Zukunft zu entwickeln. Darüber hinaus möchte der Bundesverkehrsminister aber auch neue Logistikkonzepte fördern, die den Transport von Gütern „flüssiger und umweltfreundlicher" durchführen.

Eine Liste von 18 Maßnahmen für den gesamten Verkehrsbereich ist im Aktionsplan als besonders wichtig eingestuft. Relevant für die hier behandelte Thematik sind insbesondere:

- Sicherheitsstrategie für die Güterverkehrs- und Logistikwirtschaft (Verlässlichkeit der Transportketten)
- Entmischung von Güter- und Personenverkehr
- Interoperabilität auf der Schiene in Europa (ETCS (European Train Control System), Level 2)
- Feldversuch lange Güterzüge
- Förderung von Innovationen und Kapazitätssteigerungen im intermodalen Verkehr
- Lärmminderung bei der Schiene
- Reduzierung der Emissionen im Güterverkehr

Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, lassen sich alle diese Ziele gleichzeitig mit Cargo-Cap und einem automatischen Güterverkehr im Untergrund erreichen.

3. Vor- und Nachteile der konventionellen Landverkehrswege

Der Systemvorteil der Straße besteht derzeit in den kleinen, individuellen Beförderungsgefäßen sowohl für den Personenverkehr (PKW) als auch für den Güterverkehr (LKW), sodass jede Beförderungseinheit quell- und zielrein geführt werden kann. Durch Wegfall von Umsteige- bzw. Umladezeiten können trotz geringer Fahrgeschwindigkeiten doch recht kurze Beförderungszeiten erreicht werden. Darüber hinaus wirken sich bestimmte Systemstörungen (z. B. Fahrzeugausfall) durch den geringen Nutzungsgrad vielfach lediglich lokal, d. h. ohne verkettungsbedingte Sekundarausfälle oder -verspätungen aus. Die Disposition der Fahrzeuge bzw. des Personals lässt sich dadurch wesentlich einfacher handhaben. Erkauft werden die insbesondere durch die Individualität bestimmten Vorteile des Straßenverkehrs durch extrem hohe externe Kosten, nachhaltige Schädigungen der Umwelt und unermessliches menschliches Leid durch Unfälle, da das systembedingt unzureichende Betriebssicherheitssystem Unfälle mit Personenschäden nicht ausschließen kann. Die Verletzung oder sogar Tötung von Menschen im Straßenverkehr wird zwar derzeit gesellschaftlich toleriert, würde einer objektiven ethischen Bewertung jedoch niemals standhalten.

Der alternative, um mehrere 10er-Potenzen sicherere Verkehrsträger Schiene ist in seiner heutigen Konfiguration fast ausschließlich zur Beförderung großer Mengen über möglichst große Entfernungen geeignet. Seine Stärke liegt in Deutschland insbesondere in der schnellen Personenbeförderung zwischen den Großstädten mit langen Zügen und beim Güterverkehr in Punkt-zu-Punkt-Verbindungen in Form von Ganzzügen. Bei kurzen Strecken (< 150 km) und stark individualisierten Beförderungsrelationen ist insbesondere der Güterverkehr durch die zunehmende Ausdünnung der Schieneninfrastruktur auf die Straße angewiesen. Im Personenverkehr erfolgt die Bedienung der Fläche außerhalb der Ballungsräume trotz lobenswerter Gegenbeispiele zunehmend mit dem Bus oder dem Privat-PKW. Im Güterverkehr gewinnt der „Kombinierte Verkehr" (KV) bzw. „Kombinierte Ladungsverkehr" (KLV) überproportional an Bedeutung (Bild 1 und Bild 2). Dabei ist die Schiene konzeptionell vorwiegend für die langen Teilstrecken zwischen den großen Containerterminals bzw. Güterverteilzentren zuständig, wo mehrere Beförderungsrelationen in einem Ganzzug gebündelt werden können. Der Vor- und Nachlauf vom und zum Kunden wird zunehmend von der Straße übernommen. Durch diese anscheinend unaufhaltsame Tendenz werden die systembedingten Vorteile des Schienenverkehrs gegenüber der Straße hinsichtlich externer Kosten, Umweltbelastung und Sicherheit, insbesondere in Zukunft, immer weniger genutzt.

Bild 1: Wechselbehälter mit Containergrundriss (links) und Sattelauflieger (rechts) im KLV-Zug

Bild 2: Wechselbrücken (LKW-Aufbauten) beim Umschlag (links) und auf einem Eisenbahn-Tragwagen (rechts)

4. Mittelfristige Probleme und daraus resultierende Anforderungen an zukünftige Konzepte

Wenn sich keine durchgreifende Änderung der prognostizierten Verkehrsströme und der erwarteten Wandlung der Infrastruktur ergibt, werden mittelfristig innerhalb von Ballungsräumen und an zentralen Stellen außerhalb der Städte weiterhin flächendeckend Güterverteilzentren (GVZ) für Stückgüter entstehen, zwischen denen der Güterfernverkehr abgewickelt wird und von denen aus die Kunden im Güterregional- und -nahverkehr bedient werden (Bild 3). Das GVZ stellt im Prinzip die Schnittstelle zwischen dem Container- und dem Palettentransport dar. Die Verbindung dieser zentralen Umschlagplätze mit den Häfen, dem Ausland oder anderen GVZ wird ausschließlich per Binnenschiff, mit schweren LKW und mit Zügen des unbegleiteten kombinierten Verkehrs (UKV) realisiert, d. h. mit Containern, Wechselbrücken und Sattelaufliegern beladenen Ganzzügen.

Dabei übernehmen die Landverkehrsträger den Güterverkehr in der Regel wie folgt:

Tabelle 1: Regelübernahme des Güterverkehrs durch die Landverkehrsträger

Relation bzw. Verkehrsaufgabe	**Regelverkehrsträger**
Fernverkehr zwischen den Güterverteilzentren sowie zu den Hochseehäfen oder ins Ausland	< 150 km Straße * > 150 km Schiene *
Regional- und Nahverkehr im Zu- und Nachlauf (zwischen GVZ und Kunde)	Straße
Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit großen Gütermengen (insbes. der Montan-, Mineralöl- und Automobilindustrie)	Schiene

* Die 150-km-Grenze kann sich durch politische, relationsabhängige oder kostenseitige Randbedingungen auf bis zu 500 km erhöhen.

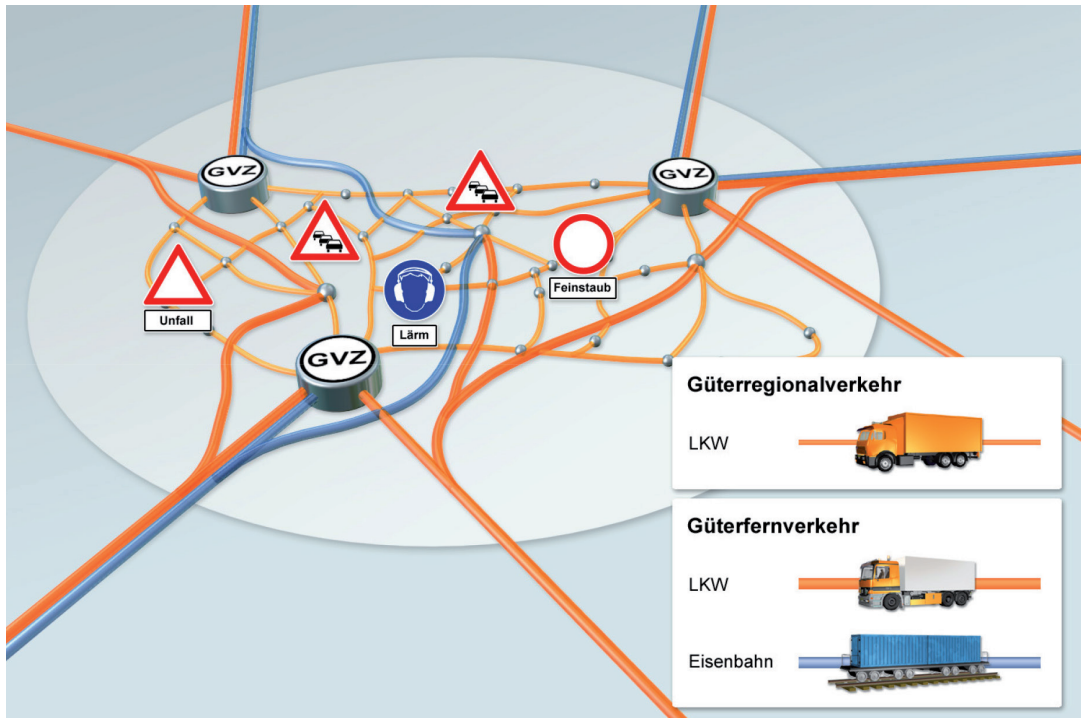


Bild 3: Die gegenwärtige Güterverkehrssituation in Ballungsräumen. Der Verkehrsweg Straße hat seine Leistungsgrenzen erreicht.

Derzeit wird von Fachleuten einhellig prognostiziert, dass auf der Schiene zukünftig auch im Inland immer mehr Ganzzüge fahren werden, die ohne Rangierbewegungen zwischen den Güterverkehrszentren oder den Industrieanschlüssen verkehren werden. Der klassische Wagenladungsverkehr mit seinen gemischten Güterzügen wird in absehbarer Zeit weitere Marktanteile verlieren. Damit klafft für den Kunden mit nicht containerisierbaren Gütern eine große Lücke in der Sendungsgröße zwischen dem Stückgut einerseits und andererseits demjenigen Frachtvolumen, das einen eigenen Zug rechtfertigt.

Unter der Berücksichtigung des auf Schiene und Straße verbleibenden Personenverkehrs wird dieses Bedienungskonzept unweigerlich zu Kapazitätsengpässen auf den folgenden (Teil-) Strecken führen:

- für den Straßenfernverkehr auf fast allen wichtigen Fernstraßen
- für den Schienenfernverkehr auf zahlreichen, besonders intensiv genutzten Teilstrecken bzw. in Flaschenhälsen
- für den Regionalverkehr auf der Straße in Ballungsräumen

Zu weniger Problemen führt der regionale Güterverkehr in der Fläche außerhalb der Ballungsräume, wo die Straße den Gesamtverkehr weiterhin problemlos übernehmen kann.

Für die Beseitigung der ständig wachsenden Verkehrsprobleme in den Ballungsräumen existiert derzeit mit den konventionellen Verkehrsmitteln kein schlüssiges Konzept – mit der fatalen Folge von Verlagerungstendenzen der Industrie in Gebiete mit (noch) guter Verkehrsanbindung oder sogar ins Ausland.

Eine sofort problemlos realisierbare und zudem noch wirtschaftliche und umweltfreundliche Lösung bietet hier das CargoCap-System, das in einem späteren Kapitel dieses Beitrags vorgestellt wird.

5. Entmischung von Güter- und Reisezugverkehr

Als „besonders wichtige Maßnahme" stuft der Bundesverkehrsminister die Entmischung von Güter- und Personenverkehr ein [i]. Der Grund dafür liegt in den fehlenden Kapazitätsreserven in Knotenpunkten und auf Teilstrecken des bestehenden Schienennetzes bei der derzeitigen Betriebsform. Zumindest in den begehrten Zeitfenstern ist die Kapazität bereits heute vollständig ausgeschöpft und lässt sich durch die Einführung moderner Leit- und Sicherungstechnik nur noch begrenzt steigern. Kapazitätsmindernd wirkt sich zudem die flächendeckende Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit im Personenverkehr aus. Während die Höchstgeschwindigkeit von Güterzügen in absehbarer Zeit systembedingt bei 80 km/h bis 120 km/h bleiben wird, wird die Höchstgeschwindigkeit der Personenzüge auf den konventionellen Altstrecken je nach Topographie sukzessive auf 160, 200 oder sogar 230 km/h angehoben werden. Die immer größer werdenden Geschwindigkeitsunterschiede lassen zwischen den Reisezügen nur noch wenige Güterzugfahrten zu. Kostengünstige Gegenmaßnahmen wie die abschnittsweise Vereinigung mehrerer Reisezüge (Beispiel: „Flügelzugkonzept", Niederlande/Dänemark) oder die signaltechnische Ermöglichung engerer Zugfolgen (Beispiel: CIR-ELKE (Computer Integrated Railroading, Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Kernnetz der Eisenbahn), DB Netz) können die Problematik nur in einem begrenzten Rahmen lösen. Die noch vor 20 Jahren in Deutschland verfolgte zeitliche Entmischung von Personenzügen (tagsüber) und Güterzügen (nachts) lässt sich infolge geänderter Reisegewohnheiten bis in die extremen Tagesrandlagen nicht mehr durchsetzen. Die nächtlichen Zeitfenster für Güterzüge sind zu kurz, zumal die attraktiven Nachtsprungangebote

bestimmte Zeittrassen erfordern. Durchgreifende und nachhaltige Verbesserungen können nur durch die räumliche Entmischung von Personen- und Güterverkehr geschaffen werden. Auch der Ansatz der DB Netz AG mit dem „Konzept Netz 21" mit einer Zuordnung vorhandener Strecken zu bestimmten Verkehrsarten lässt sich im ausgedünnten Streckennetz Deutschlands nicht flächendeckend umsetzen.

Für die räumliche Entmischung stehen prinzipiell drei alternative Vorgehensweisen zur Verfügung:

- Nutzung bestehender Strecken
- Neubaustrecken für den Personenverkehr
- Neubaustrecken für den Güterverkehr

Die erste Möglichkeit besteht in der „Spezialisierung" der vorhandenen schnellen Strecken auf den Personenverkehr und die Verlagerung des Güterverkehrs auf ebenfalls bestehende parallel verlaufende „Nebenstrecken", ggf. unter Ausbau aktiver oder sogar Reaktivierung stillgelegter Trassen (Beispiel: Zulaufstrecken zum Hafen Antwerpen, Belgien). In Deutschland wird diese Variante seit jeher am Mittelrhein praktiziert und zwischen dem Ruhrgebiet und Hamburg für die nahe Zukunft geplant, scheidet aber auf den meisten Relationen mangels nicht (mehr) zur Verfügung stehender Parallelstrecken aus.

Die zweite, meist als einzige Möglichkeit angesehene Variante besteht in dem Neubau von Schnellstrecken für Hochgeschwindigkeitszüge (Beispiel: „TGV", Frankreich), in Deutschland bereits realisiert zwischen Wolfsburg und Berlin, zwischen Köln und Frankfurt sowie zwischen Nürnberg und Ingolstadt. Die extrem hohen Kosten verhindern aber eine deutschlandweit flächendeckende Einführung dieses Konzepts.

Die dritte, in Deutschland bisher nicht genutzte Möglichkeit besteht darin, die schnellen Reisezüge auf ertüchtigten Altstrecken zu belassen und Neubaustrecken für den Güterverkehr zu bauen (Beispiel: „Betuwe-Linie", Niederlande). Diese „Entmischung nach unten" benötigt ein von der Variante 2 abweichendes Streckenlayout, das insbesondere im Flachland deutlich geringere Investitionen erfordert. Unter der Berücksichtigung der derzeitig zur Verfügung stehenden Investitionsvolumina, aber auch der politischen Durchsetzbarkeit sowie der Akzeptanz der Bevölkerung ist die Variante 3 auf den Engpassrelationen als die günstige Alternative zu erwägen.

6. Der führerlose Güterzug

Vor diesem Hintergrund ist es nur noch ein kleiner Schritt, den auf eigener Strecke geführten Güterzug ferngesteuert zu fahren und auf den Lokführer zu verzichten. Die Technik für die automatische Führung von Zügen ist seit 30 Jahren vorhanden und wird z. B. bei der DB AG mit der AFB[1] in Verbindung mit der LZB[2] auf allen Strecken praktiziert, auf denen schneller als 160 km/h gefahren wird. Auch Stadtbahnzüge fahren (z. B. in Duisburg und Düsseldorf) seit vielen Jahren im Tunnel automatisch. Dort hat der Fahrer lediglich noch die Aufgabe, den Fahrgastwechsel zu beobachten, die Türen zu bedienen, und er dient als Rückfallebene im sehr seltenen Störungsfall. Die erste gänzlich führerlose U-Bahn in Deutschland verkehrt in Nürnberg inzwischen mit guter Zuverlässigkeit; in anderen europäischen Städten (Beispiel: Lille (Frankreich)) ist sie seit Jahren im Einsatz.

7. Verlegung des Güterverkehrs unter die Erde

Eine Implementation dieses Systems auf reinen Güterstrecken führt unter dem technisch problemlosen Verzicht auf den Lokführer zu einem System, bei dem sich außerhalb der Sperrpausen (für die Wartung und Reparatur) keine Person im Zug oder auf der Strecke befindet. Da eine Gefährdung von Menschen durch die räumliche Trennung gänzlich ausgeschlossen ist, eröffnen sich neue, im Vergleich zu herkömmlichen Eisenbahntunneln wesentlich kostengünstigere Bauwerke für die unterirdische Streckenführung. Kostenintensive Einrichtungen zur Erkennung von Gefahren und insbesondere aufwendige Flucht- und Rettungswege, Belüftungsanlagen und Mindestquerschnitte zur Vermeidung zu starker Druckwellen sind bei einem führerlosen Betrieb keine Voraussetzung mehr für das Zulassungsverfahren. Deutlich kleinere Tunnelquerschnitte mit viel weniger Sicherheitstechnik werden möglich, die durch den Ausschluss von Personengefährdungen keines extrem zeit- und kostenintensiven Zulassungsverfahrens bedürfen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit einer bezahlbaren und letztendlich auch wirtschaftlichen Verlegung des Schienengüterverkehrs unter die Erde.

1 AFB: Die Automatische Fahr- und Bremssteuerung übernimmt auf LZB-Strecken die Regelung der Geschwindigkeit des Zuges.
2 LZB: Die Linienzugbeeinflussung ist ein Sicherungssystem, bei dem über im Gleis verlegte Kabel die Zentrale kontinuierlich u. a. Geschwindigkeitsvorgaben und Abstände zu Gefahrenpunkten an den fahrenden Zug übermittelt und der Zug umgekehrt u. a. seine Position an die Zentrale meldet.

Der vollständig automatische Betrieb eröffnet sogar weitere, neuartige Möglichkeiten der Betriebsführung durch Einführung des bereits weitgehend entwickelten, aber bisher noch nicht eingesetzten Sicherheitssystems ETCS[3] im Level 3. Bei allen heute bei der Bahn im Betrieb befindlichen Sicherheitssystemen bestimmt die räumliche Länge von ortsfesten Blöcken die Zugfolge. Im Fern- und Güterverkehr ergeben sich dabei in der Praxis Zugfolgezeiten von mindestens fünf Minuten. Dass engere Zugfolgen bereits mit ETCS im Level 2 möglich sind, zeigt seit 2007 die Neubaustrecke Mattstetten-Rothrist (Schweiz), auf der jede halbe Stunde ein Bündel von drei schnellen Reisezügen bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h innerhalb von vier Minuten durchgeschleust wird. Da dieses System erhebliche Vorteile nicht nur hinsichtlich der Fahrplangestaltung, sondern auch der Kapazität erzeugt, fahren auf einigen schweizerischen Zulaufstrecken zum Gotthard auch Güterzüge im Abstand von zwei bis drei Minuten.

Die minimale Zugfolge ist dabei nahezu unabhängig von der Länge der einzelnen Züge, sodass in der Folge zur Maximierung der Kapazität und zur Minimierung der Kosten möglichst lange bzw. schwere Züge gebildet werden müssen. Weniger stark ausgelastete Relationen, die eine individuelle, d. h. eine schnelle und gleichzeitig bedarfsgerechte Bedienung mit kurzen Zügen, erfordern, werden auf der Schiene nicht mehr bedient und vollständig der Straße überlassen.

Bei dem Sicherheitssystem ETCS im Level 3 kontrolliert die Streckenzentrale fließend die Abstände der Züge. Dadurch sind die Züge unabhängig von ortsfesten Blockabschnitten und können so geschwindigkeitsabhängig wesentlich dichter hintereinander geführt werden. Der entscheidende Vorteil dieses Systems besteht in der Folge darin, dass die Bildung kleinerer Beförderungseinheiten (kürzere Züge) die Streckenkapazität nicht proportional dazu reduziert. Es ist sogar sicherungstechnisch möglich, jeden einzelnen Güterwagen zu „individualisieren" und damit individuelle Fahrzeuge vom Versender direkt zum Empfänger verkehren zu lassen. Anderseits sind aber auch lange Güterzüge sicherungstechnisch kein Problem, da es keine Blockabschnitte gibt. Auf konventionellen Bahnstrecken ist dagegen die Bildung von Güterzügen mit einer Länge von über 750 Metern in absehbarer Zeit nicht möglich, da insbesondere die Signaltechnik sowie die Kreuzungs- und Überholungsbahnhöfe auf der gesamten Strecke aufwendig umgebaut werden müssten.

Die „Neue Bahntechnik Paderborn" [ii] verfolgt den Betrieb mit individuellen Fahrzeugen sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr (Mischverkehr), die aber mangels Kompatibilität nicht auf konventionellen Strecken verkehren können. Die Einführung eines solchen Systems ist sehr aufwendig, da eine weitere Infrastruktur geschaffen werden müsste. Auch zulassungstechnisch dürfte es Probleme geben. Der Grund dafür liegt nicht etwa in einer mangelhaften Sicherheit, sondern vielmehr in den zahlreichen zeit- und kostenaufwendigen

3 European Train Control System: Zugsicherungssystem mit dem Ziel einer europäischen Harmonisierung

Nachweisen einer ausreichenden Betriebssicherheit gegenüber der Aufsichtsbehörde. Das in Deutschland zuständige Eisenbahn-Bundesamt (EBA) verlangt bei einer potenziellen Gefährdung von Menschen (sicherlich zu Recht) einen lückenlosen Nachweis der ständigen Funktion aller Sicherungssysteme in allen Situationen und eine stets sichere Rückfallebene bei einem eventuellen Ausfall eines Teilsystems. Dies führt allerdings dazu, dass die führerlosen Fahrzeuge durch das aus diesen Gründen zwangsläufig sehr sensibel eingestellte Kontrollsystem bereits bei geringfügigen Störungen per Zwangsbremsung angehalten werden und die Fahrgäste z. T. über Stunden im Fahrzeug verharren und auf die Weiterbeförderung warten müssen (z. B. Hängebahn am Flughafen Düsseldorf).

Diese Problematik tritt zumindest in diesem Maße nicht auf, wenn eine Gefährdung von Menschen durch eine räumliche Trennung bereits systembedingt ausgeschlossen ist. Ein führerloses Gütertransportsystem ist mit einem „People-Mover" nicht vergleichbar, das Zulassungsverfahren ist sowohl erheblich einfacher als auch billiger und die Verkehrssicherheit (Verfügbarkeit) größer.

7.1 CargoCapContainer für den Güterfernverkehr

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Jahr 2003 ein Expertenteam unter der Leitung der Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH mit der Durchführung eines Forschungsvorhabens mit dem Titel „Rohrleitungstransport – Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen" (FKZ: 19G3011), in dem die Machbarkeit des unterirdischen Transports von Containern mit autonomen, unbemannten und automatisch gesteuerten Fahrzeugen (nachfolgend CargoCapContainer genannt) zu untersuchen war [iii].

Die Durchführung der Arbeiten erfolgte weitgehend durch denselben Forschungsverbund, der bereits zuvor unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein ein Transportkonzept für den unterirdischen, individuellen Transport von Europaletten in Ballungsräumen wie dem Ruhrgebiet entwickelt hatte, das unter dem Namen **CargoCap** bekannt geworden ist und im Rahmen dieses Beitrags noch ausführlich beschrieben wird.

Die konkrete Forschungsaufgabe an das interdisziplinär zusammengesetzte Forscherteam aus Bochum, Aachen und Hannover (Tabelle 2) konzentrierte sich auf den Güterfernverkehr zwischen den Seehäfen Hamburg und Bremen einerseits und dem Ruhrgebiet andererseits (Bild 4 und Bild 5), sollte aber auch Rückschlüsse auf andere wichtige Güterverkehrsbeziehungen zulassen.

Tabelle 2: Forschungsteam CargoCap-Container [iii]

Forschungspartner	**Abk.**	**Wissenschaftliche Leitung/Bearbeitung**	**Aufgabengebiet**
Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum	S&P	Prof. Dr.-Ing. D. Stein Dr.-Ing. D. Beckmann Dr.-Ing. R. Stein	Projektleitung und bautechnische Aufgabenstellungen
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik, Ruhr-Universität Bochum	LMF	Prof. Dr.-Ing. G. Wagner Jun. Prof. Dr.-Ing. J. Scholten Dipl.-Ing. M. Schmitt	Maschinenbautechnische Aufgabenstellungen
Lehrstuhl für Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie, Ruhr-Universität Bochum	EAEE	Prof. Dr.-Ing. A. Steimel Dipl.-Ing. M. Grimmig	Elektrotechnische Aufgabenstellungen
Ingenieurgruppe für Verkehrswesen und Verfahrensentwicklung, Aachen	IVV	Dr.-Ing. D. Hölsken Dr.-Ing. D. Servill	Aufgabenstellungen zur Untersuchung der Güterverkehrsströme und des Verkehrssystems Straße
Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Universität Hannover	IVE	Prof. Dr.-Ing. Th. Siefer Dipl.-Ing. C. Eickmann	Aufgabenstellungen zur Untersuchung des Verkehrssystems Schiene
Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V., Bochum	RUFIS	Prof. Dr. rer. oec. H. Karl Dr. rer. oec. M. Kersting Dipl.-oec. S. Draganinska	Ökonomische Aufgabenstellungen
Institut für Berg- und Energierecht, Ruhr-Universität Bochum	IBE	Prof. Dr. jur. M. Burgi Prof. Dr. jur. J.-Ch. Pielow K. Hummert	Juristische Aufgabenstellungen

Entsprechend den zu untersuchenden Verkehrsbeziehungen und dem sich europaweit abzeichnenden Wachstum des kombinierten Verkehrs (KV) waren insbesondere die verschiedenen Ladeformen des Intermodalverkehrs zu betrachten. Die technische und wirtschaftliche Voruntersuchung ergab, dass neben Containern alle gängigen Wechselbehälter und insbesondere Sattelauflieger transportiert werden sollten. Auf die Mitnahme der Zugmaschine bzw. auf die Beförderung ganzer LKW-Züge („Rollende Landstraße") wurde allerdings wegen des ungünstigen Massenverhältnisses und der Notwendigkeit einer separaten oberirdischen Beförderung der LKW-Fahrer verzichtet.

Bild 4: Im Forschungsvorhaben untersuchtes Streckennetz [iii]

Bild 5: Containerschiff im Hafen Hamburg-Altenwerder bei der Entladung

Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu entwickelnde Transportkonzept bestand damit im Wesentlichen aus einer Kombination des bereits entwickelten Systems für den Gütertransport durch Rohrleitungen (CargoCap) mit dem bewährten System des unbegleiteten kombinierten Ladungsverkehrs (UKV). Dabei sollten die Kompatibilität des intermodalen Transports im UKV und die zeitliche Flexibilität des individuellen Verkehrs mit einzelnen Transportfahrzeugen miteinander kombiniert werden.

Das **Transportfahrzeug** (Bild 6) wurde als vierachsige, selbstfahrende Einheit konzipiert, die in einem zentral angeordneten Frachtraum Sattelauflieger, Wechselbrücken und Container bis zu einer Länge von 45' aufnehmen kann und eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht. Der Antrieb erfolgt über alle vier Achsen mit einem Umrichter und zwei parallelgeschalteten Asynchronmotoren pro Drehgestell. Dieser Aufbau garantiert eine hohe Betriebssicherheit bei gleichzeitig niedrigen Anschaffungs- und Wartungskosten. Bis zu 34 Fahrzeuge können zu einem Zugverband zusammengekuppelt werden, der dann eine Länge von 750 Metern erreicht.

Für die Übernahme der Sattelauflieger wurde das Umschlagsprinzip des neuartigen Konzepts „CargoBeamer®“ [iv] adaptiert, das im Gegensatz zur Kranverladung keinerlei Modifizierungen der Straßenfahrzeuge erfordert. Dabei werden als „Waggonaufsatz“ bezeichnete Lademodule verwendet, die sich zur Aufnahme von Sattelanhängern, Containern und Wechselbehältern eignen und durch Verschieben quer zur Fahrtrichtung seitlich verladen werden.

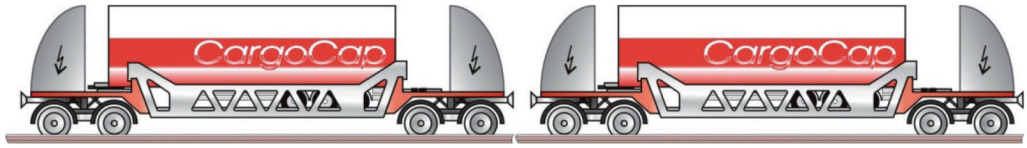


Bild 6: CargoCap-Container: Transportfahrzeug [iii]

Der seitliche Umschlag der Fahrzeuge auf die freie Seite der Umschlagsstelle und die direkt anschließende Verladung der sich in Warteposition befindenden Sattelanhänger erfolgt im Vergleich zum vertikalen Umschlag mittels Krananlagen in erheblich kürzerer Zeit. Stehen die Fahrer mit ihren Sattelzugmaschinen bereit, können sie ihre Sattelanhänger direkt vom Lademodul abholen, was die Umschlagdauer auf wenige Minuten reduziert.

Das Bild 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Terminals mit örtlich getrenntem Umschlag von Containern bzw. Wechselbehältern und Sattelanhängern.

Die Gestaltung der **Terminals** orientierte sich hinsichtlich des Container- und Wechselbehälterumschlags an den bestehenden Systemen, wobei unter der Voraussetzung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen für den automatischen Fahrbetrieb sogar eine Integration in bestehende Containerbahnhöfe möglich ist.

Für die **Trassierung** der Strecke waren sowohl technische als auch ökonomische und juristische Grundsätze zu berücksichtigen.

Eine Bewertung der verschiedenen Streckenführungsvarianten ergab die folgenden Prioritäten (1 = höchste Priorität):

- Priorität 1: Verlegung unter stillgelegten Bahnstrecken
- Priorität 2: Verlegung unter den breiten, auf den seitlichen Randstreifen der Landstraßen angeordneten Radwegen
- Priorität 3: Verlegung unter Wirtschaftswegen

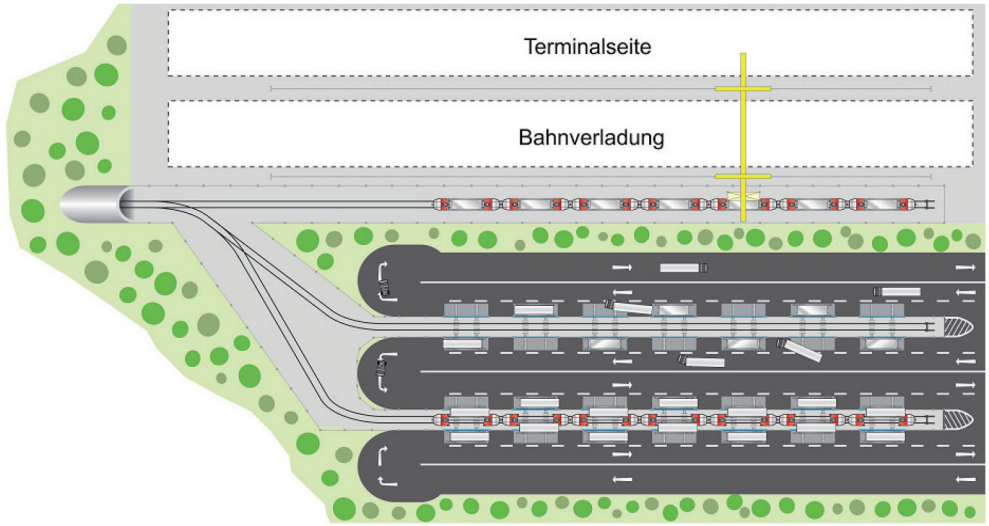


Bild 7: Terminallayout – Prinzip [iii]

Danach erhielt die höchste Priorität die Linienführung unter stillgelegten Eisenbahnstrecken (Bild 8), was auf einem Drittel der Strecke zwischen Hamburg und Duisburg gelungen ist. So bot es sich an, der z. T. vor mehr als 30 Jahren stillgelegten Strecke Lutum (bei Coesfeld) – Rheine – Quakenbrück (mit Ausnahme des noch bedienten Abschnitts Rheine – Spelle) zu folgen. Die Strecke ist inzwischen zwar vielfach stark zugewachsen, aber noch nicht umgewidmet oder anderweitig genutzt. Außerdem wurde im Jahre 2002 die zweigleisige, zwischen Bochum und Duisburg-Hochfeld quer durch das Ruhrgebiet verlaufende „Rheinische Güterbahn" auf weiten Abschnitten stillgelegt, wodurch sich eine günstige Linienführung durch den Ballungsraum ergab, die problemlos umsetzbar ist. Auf ihrer Trasse ist ein Radweg geplant (Radschnellweg Ruhr), dessen Bau sich z. B. auch ideal mit der Verlegung des für den regionalen Güterverkehr konzipierten unterirdischen CargoCap-Systems (siehe Abschnitt 7.2) kombinieren ließe.

Gemäß dem Forschungsauftrag war die gesamte Strecke unterirdisch zu verlegen, wobei ein großer Teil in der offenen Bauweise erstellt werden kann. Allerdings war bei der Unterquerung von Ortschaften, Verkehrswegen, Gewässern und sensiblen Naturschutzgebieten die Planung der geschlossenen Bauweise nicht zu vermeiden.

Bild 8: Trassenführung unter stillgelegten Bahnstrecken [iii]

Mit den standardmäßigen Vortrieb-/Schildmaschinentypen werden dabei aus maschinen- und bauverfahrenstechnischen Gründen kreisförmige **Tunnelquerschnitte** hergestellt. Ein rechteckiger Querschnitt hätte jedoch den Vorteil, einerseits bei breiter und flacher Konstruktion geringere Tiefenlagen zu ermöglichen und andererseits das notwendige Lichtraumprofil sowie den aus aerodynamischen Gründen begrenzten Versperrungsgrad sicherzustellen (Vergleich siehe Bild 9 und Bild 10).

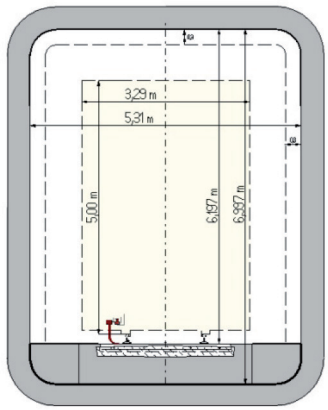


Bild 9: Rechteckquerschnitt, Einspur, 5,31 m x 6,99 m [iii]

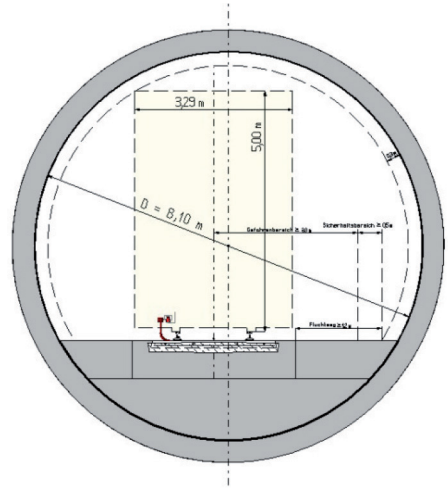


Bild 10: Kreisquerschnitt, Einspur, D = 8,10 m [iii]

Insbesondere in Japan werden im urbanen Untergrund zunehmend neue verfahrenstechnische Lösungen für rechteckige Tunnelquerschnitte eingesetzt, wie z. B. das DPLEX-System (Developing Parallel Link Excavating Shield Method) [v]. Dieses System ermöglicht Schildvortriebe mit nicht nur ausschließlich kreisförmigen, sondern auch mit rechteckigen, ovalen oder hufeisenförmigen Querschnitten.

Eine vergleichende Untersuchung innerhalb des Forschungsvorhabens hat für den gegebenen Anwendungsfall gezeigt, dass der Rechteckquerschnitt eine kostengünstige und insbesondere im Vergleich zum Kreisquerschnitt vielfach technisch sinnvollere Alternative darstellt.

Das **Betriebskonzept** bestand aus beliebig getakteten Fahrplantrassen in Form von Zeit-Weg-Diagrammen und flexiblen Zuglängen, was die jeweils darauf abgestimmte Infrastruktur optimal ausnutzt. Die in diesem Rahmen konstruierte Systematik für den Aufbau des Streckenlayouts ermöglicht die systematische und in Abhängigkeit von den Transportmengen bestmögliche Auslegung der Strecke.

Damit war es möglich, für die vorliegende Beförderungsaufgabe den größten Teil der Strecke einspurig mit einem bidirektional befahrenen Tunnel auszuführen, wenn jeweils mehrere Fahrzeuge gebündelt in einem festen Takt von z. B. 30 Minuten verkehren. In der Praxis werden dabei alle innerhalb von 30 Minuten abfahrbereiten Fahrzeuge mechanisch oder virtuell zu einem Zugverband mit einer maximalen Länge von 750 Metern zusammengekuppelt und zu einem exakt festgelegten Zeitpunkt in den Einspurtunnel geschickt. Ein konsequenter Taktfahrplan sorgt dafür, dass sich die Verbände immer an denselben Stellen begegnen. Lediglich alle 18 Kilometer ist eine Doppelspurinsel erforderlich, deren Länge von 2,7 Kilometern eine „fliegende“ Begegnung ermöglicht, bei der beide Züge ihre Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h nicht reduzieren müssen. Eine durchgehende Doppelspur mit entsprechend hohen Investitionskosten ist deshalb für die vorliegende Beförderungsaufgabe nicht erforderlich.

Sollte sich in der Zukunft das Transportvolumen erhöhen, können die Doppelspurinseln verdichtet werden oder bei Bedarf zu einer durchgehenden Doppelspur verschmelzen.

Das insbesondere durch die Aufnahme der Sattelauflieger bis zu einer Eckhöhe von 4 Metern erforderliche Lichtraumprofil umfasst vollständig das in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [vi] dokumentierte Profil G1 und G2, sodass es technisch unproblematisch ist, neben den individuellen Transportfahrzeugen auch konventionelle Eisenbahnzüge in den Tunneln verkehren zu lassen. Dazu sind lediglich die Triebfahrzeuge gegen spezielle unbemannte Lokomotiven auszutauschen, die automatisch steuerbar und mit einer Stromaufnahme über Stromschienen ausgerüstet sein müssen.

Die Untersuchung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Systems am Beispiel des im Bild 4 dargestellten Streckennetzes ergab, dass unter den gewählten Annahmen bezüglich der Netzauslegung hinsichtlich Lage und Netzumfang sowie der Transportmengen zwar eine wirtschaftliche Betriebsführung möglich ist, sich unter der Berücksichtigung der Investitionen aber kein ausreichender betriebswirtschaftlicher Erfolg sowie volkswirtschaftlicher Nutzen einstellen wird, um die entstehenden Verkehrswegekosten zu decken. Der Hauptgrund dafür liegt darin, dass das ermittelte Transportaufkommen in Relation zur Verkehrswegeinvestition zu gering ausfiel. Hierdurch zeigte sich, dass das untersuchte Netz die Anforderung an die zu erreichende Mindestnetzgröße nicht erfüllt. Eine andere Trassenführung oder eine Ausweitung des Netzes würde zu einem überproportionalen Anstieg des Transportaufkommens und so zu einer verbesserten Auslastung der Fixkostenbestandteile mit entsprechenden Durchschnittskostensenkungen führen. Hinzu kommen die jeweiligen Einsparungen durch die Verringerung der Transporte in den bisherigen Verkehrssystemen Straße und Schiene.

Im Hinblick auf die nicht vollständig zufriedenstellende Wirtschaftlichkeit bezüglich der betrachteten Verkehrsaufgabe und auf während der Bearbeitung des Forschungsprojekts gewonnene neue Erkenntnisse sind weitere Fragestellungen entstanden, die in diesem Rahmen zunächst nicht erschöpfend beantwortet werden konnten, aber einen vielversprechenden Ausblick ermöglichen.

So sind insbesondere die Wirkungen einer Netzverlagerung bzw. Netzvergrößerung auf den Verkehrssektor noch nicht ausreichend erforscht. Ein erster Ansatz zur Bestimmung einer Struktur umfasst ein europäisches Netz entsprechend der im Bild 11 dargestellten Skizze.

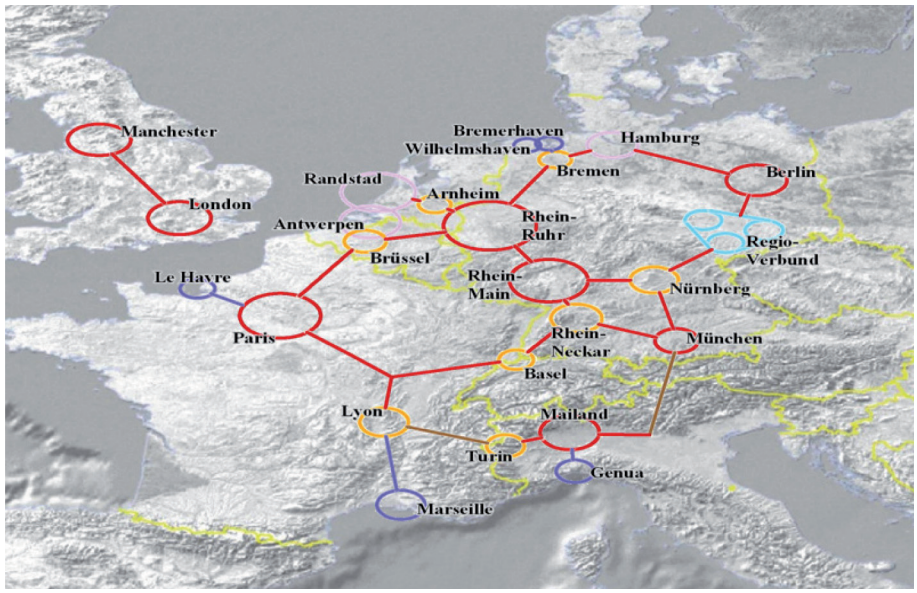


Bild 11: Skizze eines europäischen Verkehrsnetzes unter Berücksichtigung von CargoCap (regional) und CargoCapContainer [iii]

Hier böte sich eine Ex-ante-Auslegung der neuen Schienentrasse an den technischen Anforderungen der hier vorgestellten unterirdischen Infrastruktur an. Und zwar aus folgenden Gründen:

- Sowohl das Trag- und Führungssystem als auch die Fahrdynamik sind kompatibel mit dem bestehenden Schienengüterverkehr;

- Der Transportablauf erfolgt in einem geschlossenen System und ist somit ungestört von äußeren Einflüssen;

- Durch den automatischen, unbemannten Transport werden Störungen durch menschliches Versagen ausgeschlossen;

- Das geplante Leit- und Sicherungssystem entspricht der in der Diskussion befindlichen höchsten Qualitätsstufe, durch die die Schienenstrecke optimal ausgenutzt wird.

Als solche kleine „Keimzellen" eines neuen, unterirdischen Verkehrssystems können diejenigen Streckenabschnitte dienen, auf denen ein Ausbau oder sogar ein ergänzender Neubau ohnehin erforderlich ist. Sie bewirken zunächst punktuell die erforderliche Entlastung im bestehenden Schienensystem und werden mit fortschreitendem Ausbau integraler Bestandteil des unterirdischen Güterverkehrsnetzes. Ein Beispiel für ein solches „kleines" Teilstück ist in Bild 12 dargestellt. Hier führt eine ohnehin notwendige Entmischung von Personen- und Güterverkehren im gegenwärtig überlasteten Schienennetz zwischen Frankfurt a. M. bzw. Mainz einerseits und Mannheim andererseits zu starken Entlastungseffekten mit entsprechend hohen positiven Netzeffekten.

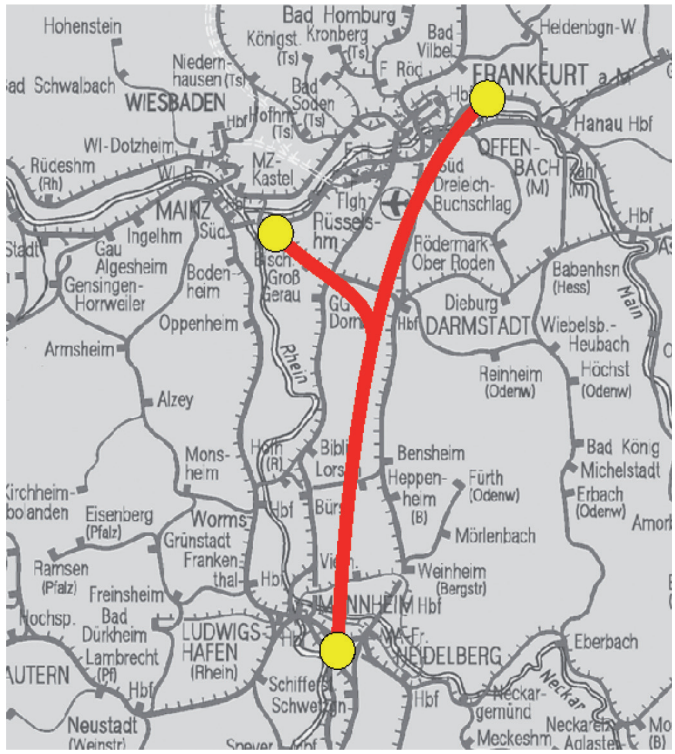


Bild 12: Beispiel: Entlastung der Strecke Mainz/Frankfurt – Mannheim durch eine unterirdische Neubaustrecke für Güterzüge (CargoCapContainer) [iii]

Eine weitere interessante Frage bezieht sich auf die Möglichkeit, das geschlossene und fahrerlos arbeitende neue Verkehrssystem auch abschnittsweise oberirdisch anzulegen, insbesondere dann, wenn die Möglichkeit einer Bündelung mit anderen Verkehrswegen besteht (Beispiel: HSL (Hogesnelheidslijn – Eisenbahn-Schnellfahrstrecke), Belgien/Niederlande). Durch entsprechende Absperrungen oder Einkastungen (Bild 13) können externe Störungen und Gefährdungen ausgeschlossen werden. Je nach Lage der Teilstücke einer Strecke wäre somit das bestehende Modulsystem um solche oberirdischen Abschnitte zu erweitern.

Die hohe Kompatibilität erlaubt die Erstellung eines mittel- und langfristigen Migrationsplans, der eine sukzessive Verlagerung des Güterfernverkehrs in den Untergrund beginnend mit den aktuellen Problemstrecken vorsieht. Damit entstehen zunehmend attraktive Verkehrsrelationen, die in einem vollständig automatischen Betrieb bedient werden können und eine fortschreitende Individualisierung des Güterfernverkehrs auf der Schiene ermöglichen.

Bild 13: Ausführungsbeispiel für eine eingekapselt oberirdisch verlegte Schienenbahn entlang einer Autobahn (HSL4 Antwerpen-Rotterdam, Inbetriebnahme 2009)

7.2 CargoCap für den regionalen Güterverkehr

Eine besondere Problematik in der Beförderungskette von Gütern stellt der regionale Transport der Paletten von den Güterverkehrszentren zu den Empfängern in Ballungsräumen und Großstädten dar (Bild 3). Die Konfliktsituation zwischen erforderlicher Mobilität und örtlichen Restriktionen wird sich insbesondere dort weiter verschärfen, da die Anzahl der Kraftfahrzeuge wesentlich schneller wächst als das Straßennetz. Hierzu tragen insbesondere die Entwicklungen der Wirtschaftsunternehmen zur Just-in-Time- und Just-in-Case-Produktionsweise bei, die eine zuverlässige und leistungsfähige Produktionslogistik mit weitverzweigten, flexiblen und kostengünstigen Verkehrssystemen erfordern, die in der Lage sind, die notwendigen Mengen an Gütern sicher in einer bestimmten Zeit von einem Ort zum anderen zu transportieren.

In Anbetracht dieser Situation wurde im Jahr 1998 der interdisziplinäre Forschungsverbund „Transport- und Versorgungssysteme unter der Erde“ an der Ruhr-Universität Bochum mit Unterstützung des Ministeriums für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen initiiert. Seine Aufgabe bestand darin, nach einer neuen, effizienten, umweltgerechten, kurzfristig realisierbaren und nachhaltigen Transportalternative zu suchen.

Das Ergebnis ist das innovative Konzept CargoCap, die fünfte Transportalternative zu Straße, Schiene, Wasser und Luft, um Güter in Ballungsräumen automatisiert durch unterirdische Fahrrohrleitungen schnell, wirtschaftlich, zuverlässig und umweltfreundlich zu transportieren [vii, viii, ix, x, xi]. Es ist als eigenständiges, leistungsfähiges und problemlos erweiterbares System konzipiert, das betriebliche Rentabilitätsanforderungen erfüllt, sich technisch und rechtlich ohne Verletzung von Bürgerinteressen schnell realisieren und problemlos in die traditionellen Verkehrssysteme und Logistikkonzepte implementieren lässt (Bild 14).

Flugzeug

von \ nach	Flughafen	Bahnhof	Tür / Tor	Band / Regal
Flughafen	■			
Bahnhof				
Tür / Tor				
Band / Regal				

Bahn

von \ nach	Flughafen	Bahnhof	Tür / Tor	Band / Regal
Flughafen	■	■		
Bahnhof	■	■		
Tür / Tor				
Band / Regal				

LKW

von \ nach	Flughafen	Bahnhof	Tür / Tor	Band / Regal
Flughafen	■	■	■	
Bahnhof	■	■	■	
Tür / Tor	■	■	■	
Band / Regal				

CargoCap

von \ nach	Flughafen	Bahnhof	Tür / Tor	Band / Regal
Flughafen	■	■	■	■
Bahnhof	■	■	■	■
Tür / Tor	■	■	■	■
Band / Regal	■	■	■	■

Bild 14: Einordnung von CargoCap in die traditionellen Transportverbindungen
[Computergrafik: visaplan GmbH] [x]

Der Transportvorgang erfolgt durch individuell angetriebene, computergesteuerte Transporteinheiten (Caps), die über ein Fassungsvermögen von je zwei Europaletten nach CCG 1 (B x T x H = 800 x 1.200 x 1.050 mm) mit einem gemeinsamen Maximalgewicht von 1.500 kg verfügen (Bild 15) (CCG: Centrale für Coorganisation, Köln. Seit 2005 GS1 Germany). Da der Fahrrohrleitungsdurchmesser von 2.000 mm eine über das Normmaß hinausgehende Palettenbeladungshöhe von 1.250 mm erlaubt, kann bei geeigneten Waren der Transportraum in der Anschlusslogistik durch Aufeinandersetzen zweier beladener Paletten optimal ausgenutzt werden.

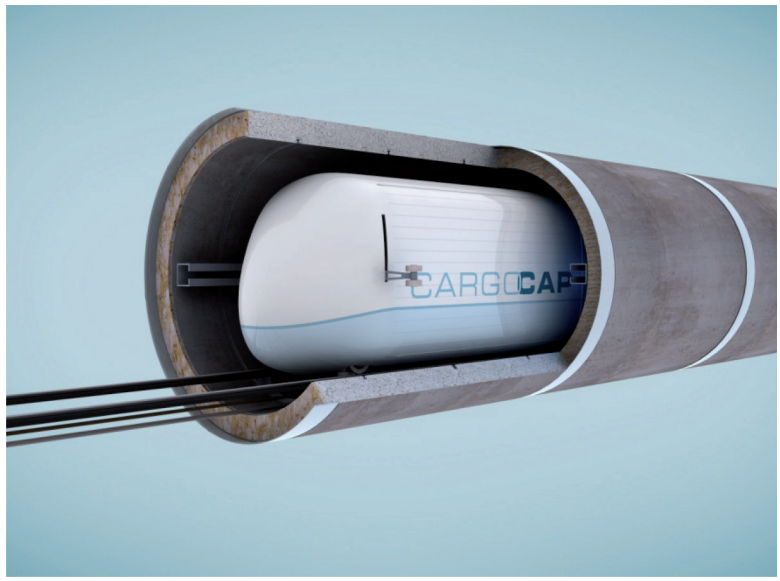


Bild 15: Transportfahrzeug (Cap) in der Fahrrohrleitung DN/ID 2000
[Computergrafik: visaplan GmbH]

Bild 16: Automatisierte Be- und Entladung der Caps über konventionelle Rollenbahnen
[Computergrafik: visaplan GmbH]

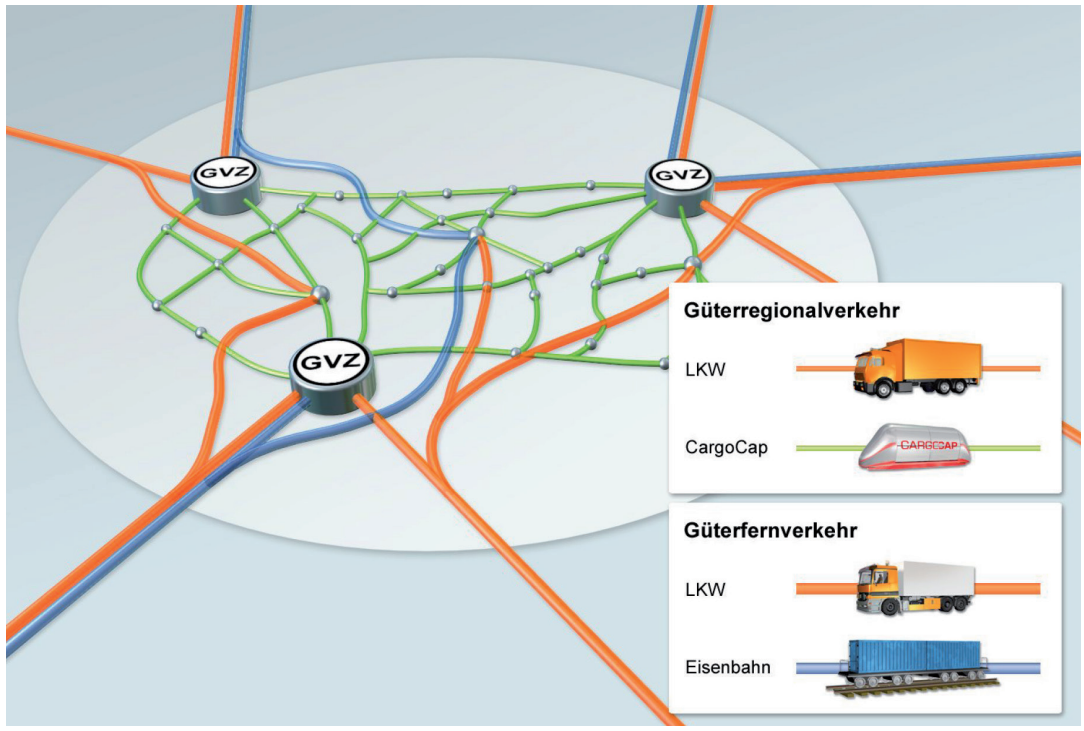


Bild 17: Güterverkehrsnetz in Ballungsräumen mit CargoCap (vgl. Bild 3) [Computergrafik: visaplan GmbH]

Der Einsatz der Europalette als genormter und in der Praxis bewährter Lastträger garantiert eine leichte Implementierung von CargoCap in bestehende Materialflussketten und konventionelle Verkehrssysteme (Bild 17). Durch die Beladung mit nur zwei Europaletten pro Cap wird eine hohe Verteilungsflexibilität der Waren und Güter gewährleistet. Zu den von CargoCap zu transportierenden Gütern zählen Konsum- und Investitionsgüter, Sammel- und Stückgüter, Produktionsbauteile, Baumaterialien, Paket- und Expressfracht sowie Nahrungs- und Genussmittel. Circa 2/3 aller in der Bundesrepublik transportierten Waren dieser Art passen ohne weiteres Aufbrechen der Ladung in den CargoCap-Frachtraum.

Die Caps sind aerodynamisch geformt, wobei Laufräder die Tragfunktion und seitliche Führungsrollen die Spurführung übernehmen. Die zugehörigen stationären Elemente der Trag- und Spurführung sind höhen- und seitenverstellbar in die Fahrrohrleitung implementiert.

Bei den Caps handelt es sich um Zero-Emission-Fahrzeuge; der Antrieb erfolgt elektrisch über konventionelle Drehstrommotoren, die durch Frequenzumrichter gespeist werden. Weitere Charakteristika sind eine robuste Konstruktion, hohe Betriebssicherheit, geringer Energieverbrauch (mittlere Leistungsaufnahme ca. 0,11 kWh/tkm (tkm: Tonnenkilometer)), niedrige Anschaffungskosten sowie eine lange Lebensdauer bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand.

Ein Bordcomputer übernimmt die individuelle Steuerung der autonom fahrenden Caps, die sich bei erhöhtem Transportbedarf zu dicht hintereinander fahrenden, nicht mechanisch gekoppelten Verbänden gruppieren. Der minimale Abstand beträgt 2 Meter und wird über Überwachungssysteme kontrolliert und geregelt.

Dieser geringe Abstand erforderte in Verbindung mit der individuellen Steuerung der Caps die Entwicklung eines neuartigen Verzweigungssystems, in dem die Weiche selbst das passive Element ist und die Transporteinheit die Ein- und Ausschleusung aus dem Verband ohne Geschwindigkeitsreduzierung aktiv steuert. Auf diese Weise führt die vermeintlich geringe Transportgeschwindigkeit von 36 km/h bei konstantem Transportfluss zu einer erheblichen Verkürzung der Transportzeit gegenüber dem LKW im Ballungsraum.

Im Interesse der schnellen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit wurden bei der Konzeptionierung von CargoCap grundsätzlich vorhandene, in der Praxis bewährte Bauteile und Komponenten verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, das System gegenüber technischen Innovationen offen zu halten.

Die Verlegung der kreisförmigen **Fahrrohrleitungen** mit einem Innendurchmesser von 2 Meter im öffentlichen Straßenraum neben, unter oder über vorhandenen Infrastruktureinrichtungen, wie z. B. Ver- und Entsorgungsleitungen, Strom- und Telekommunikationskabeln, U-Bahn- oder Straßentunneln und anderen Tiefbauwerken, ist mittels der Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus nach dem Prinzip des Rohrvortriebs möglich [v]. Dieses in den letzten 20 Jahren perfektionierte, umweltschonende Bauverfahren für die unterirdische Verlegung von Rohrleitungen hat den entscheidenden Vorteil, den Verkehr an der Oberfläche nicht oder nur geringfügig zu stören. Es gehört inzwischen zu den Standardverfahren des Kanalbaus und stellt das eigentliche Zeitfenster für die technische Realisierung von CargoCap durch unsere Generation dar.

Beim Rohrvortrieb werden von einem Startschacht aus mithilfe einer Hauptpressstation vorgefertigte Vortriebsrohre durch den Baugrund bis in einen Zielschacht vorgetrieben. Der anstehende Boden oder Fels wird von einer steuerbaren Schildmaschine, die dem ersten Rohr vorgeschaltet ist, mechanisch abgebaut und durch den vorgetriebenen Rohrstrang nach über Tage abgefördert. Die Schildmaschine ermöglicht darüber hinaus den genauen Vortrieb in gerader oder gekrümmter Linienführung (Bild 18).

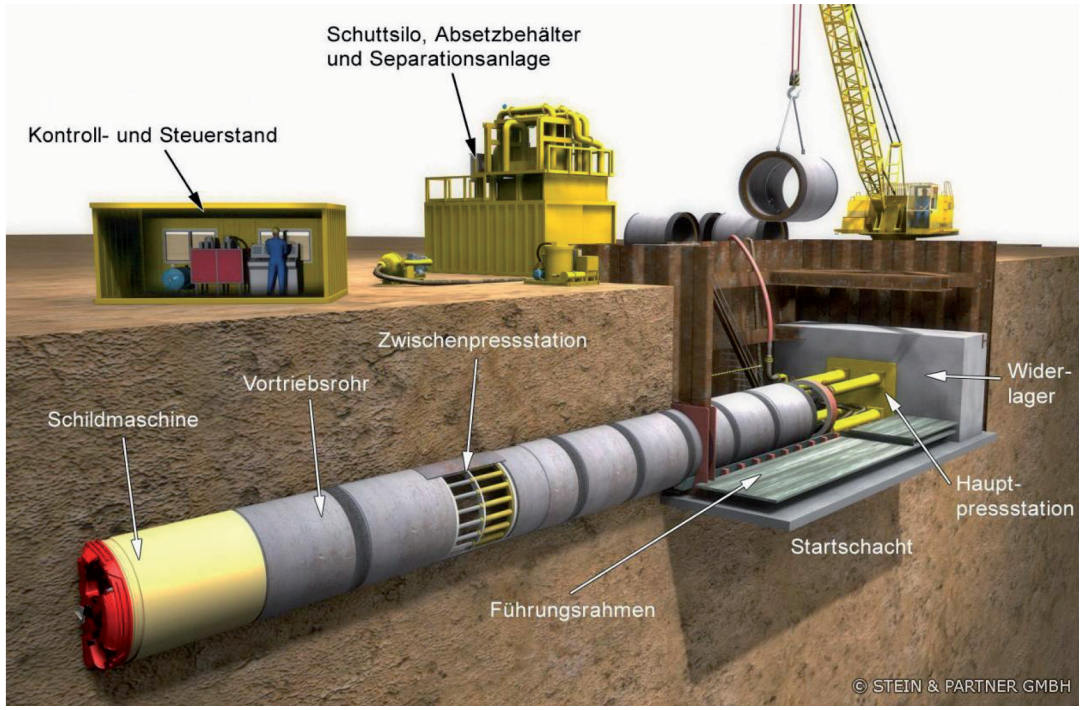


Bild 18: Prinzipdarstellung des gesteuerten Rohrvortriebs [Stein & Partner]

Im Sinne eines wirtschaftlichen Vortriebs wird generell das Erreichen einer großen Vortriebslänge von einem Startschacht aus angestrebt, da insbesondere die Herstellung von Schachtbauwerken einen erheblichen Kostenfaktor bei der Verlegung von Leitungen darstellt. Derzeit werden bereits Vortriebslängen von mehr als 1.000 Metern realisiert; 2.000 Meter werden für die nahe Zukunft angestrebt, sodass der Vortrieb in der Regel direkt von Station zu Station erfolgen kann.

Einen Überblick über die Baukosten der Fahrrohrleitung im Vergleich mit einer zweispurigen Autobahnerweiterung sowie einem Verkehrstunnel im städtischen Bereich vermittelt Tabelle 3.

Tabelle 3: Baukostenvergleich [xi]

1 km Fahrrohrleitung Streckenabschnitt mit 1 Fahrrohrleitung DN 2000 mit Innenausbau	3,2 Mio. Euro
1 km Autobahnerweiterung 2-spurig (abhängig von Bauwerken und Bebauung)	10 bis 30 Mio. Euro*
1 km Straßentunnel im städtischen Bereich	> 100 Mio. Euro *

*Angaben Landesbetrieb Straßenbau NRW (2009)

Die technische und juristische Realisierbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeit von CargoCap wurden im Rahmen des Verbundforschungsprojekts im Jahr 2002 sowie einer im Jahr 2009 fertiggestellten Marktpotenzialanalyse [xi, xii, xiii, xiv] am Beispiel einer Ost-West-Trasse durch das Ruhrgebiet mit einer Gesamtlänge von ca. 85 km, mit 24 Stationen und zwei parallel geführten Richtungs-Fahrrohrleitungen untersucht (Bild 19). Diese sog. Ruhrgebietstrasse führt fast ausschließlich unter öffentlichem Straßenraum in direkter Nähe zur staubelasteten Bundesautobahn A 40 von Unna über Dortmund, Bochum, Essen und Oberhausen bis nach Duisburg. Als anschlusswürdige Gebiete wurden Innenstadtbereiche, Gewerbegebiete, Geschäftszentren, Logistikparks, Standorte von Wirtschaftsunternehmen, Flughäfen sowie ausgewählte Standorte des kombinierten Verkehrs identifiziert und berücksichtigt. Die Wahl der Stationen müsste entsprechend den heutigen Anforderungen aktualisiert werden.

Ziel der Ruhrgebietstrasse ist es, diejenigen Güter, die per Zug oder Fern-LKW nur bis zu den Güterverkehrszentren des Ballungsraums gebracht werden, in Gewerbegebiete und Zentren der Städte zu befördern. Der Transport findet dann im Untergrund unabhängig und unbeeinflusst von oberirdischen Verkehrsengpässen und der Witterung unter Gewährleistung einer hohen Betriebs- und Verkehrssicherheit sowie eines äußerst geringen Gefahrenpotenzials gegenüber Dritten statt.

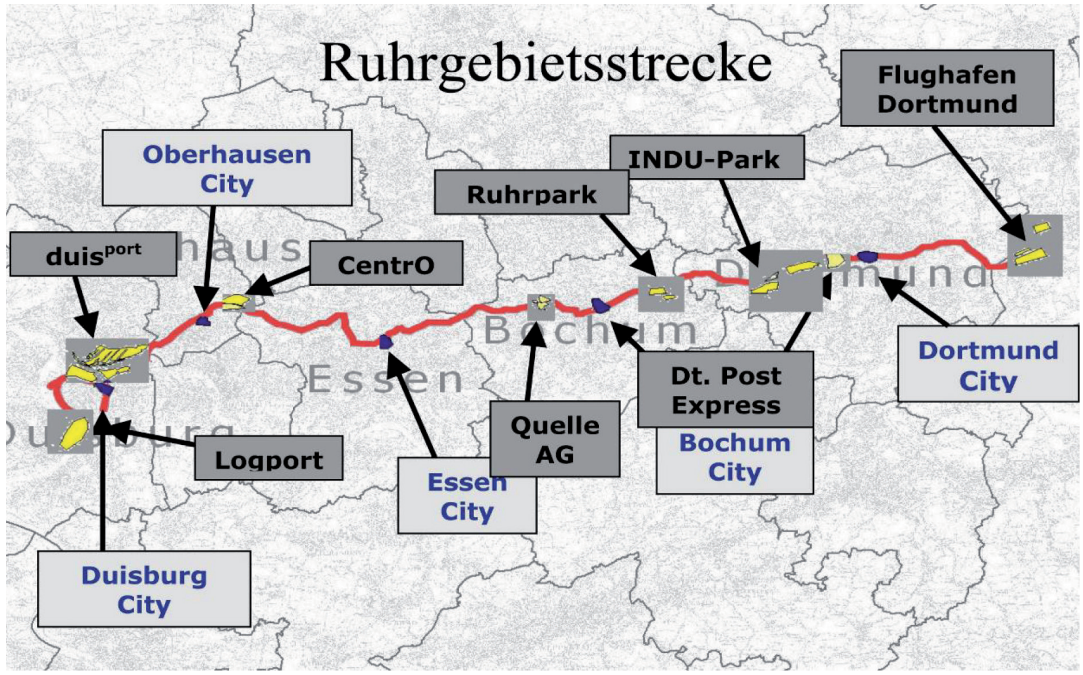


Bild 19: Untersuchte CargoCap-Beispielstrecke von Dortmund nach Duisburg [viii, xi]

Die Durchsetzung guter Ideen scheitert, „zumal in Deutschland“, sehr häufig aus rechtlichen Gründen. Bei CargoCap handelt es sich um ein Infrastrukturprojekt mit vergleichsweise geringem juristischen Konfliktpotenzial. Da es sich weder um eine Straße noch um ein Eisenbahnprojekt oder eine Energieleitung und auch nicht um eine Pipeline handelt, greift keines der bestehenden fachgesetzlichen Planfeststellungserfordernisse ein [xv].

Das bedeutet, dass weder die aufwendigen Verfahrensfolgen noch die anspruchsvollen materiellen Kriterien des Fachplanungsrechts zu beachten sind. Vielmehr ist „lediglich“ der allgemeine raum- bzw. bauplanungs- und bauordnungs- sowie umweltrechtliche Rahmen einzuhalten, und es müssen Nutzungsvereinbarungen mit den zuständigen Straßenbaulastträgern getroffen werden. Das Infrastrukturprojekt besticht aus juristischer Sicht nicht nur als Idee, sondern auch durch seine Durchsetzbarkeit.

Darüber hinaus werden durch die bevorzugte Nutzung des öffentlichen Straßenraums langwierige privatrechtliche Verhandlungen mit Grundstückseigentümern vermieden, sodass eine schnelle Implementierung von CargoCap in die bestehende Infrastruktur (Bild 20) möglich ist [xv].

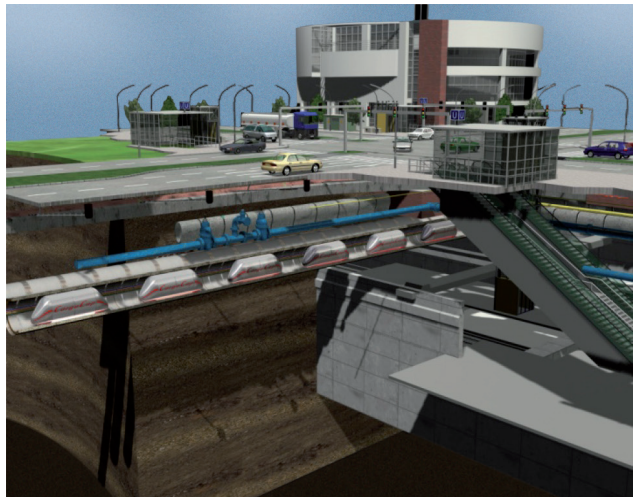


Bild 20: Unterbringung der CargoCap-Fahrrohrleitungen im öffentlichen Straßenraum neben bestehenden Infrastruktureinrichtungen [Computergrafik: visaplan GmbH]

Die im Bild 19 dargestellte Ruhrgebietstrasse stellt die sog. Mindestnetzgröße dar, die bereits einen wirtschaftlich rentablen Betrieb ermöglicht. Jede Netzerweiterung regional oder innerstädtisch – bringt zusätzliche wirtschaftliche Erfolge, sodass CargoCap als lohnende Investition in die Zukunft bewertet werden kann [xi, xii, xiv].

Untersucht wurden diese Nebeneffekte anhand einer Streckenerweiterung in das Rheinland, um insbesondere die drei Flughäfen Dortmund, Düsseldorf und Köln/Bonn, letzterer als größter Frachtflughafen in Nordrhein-Westfalen, in das CargoCap-System zu integrieren und damit der Entwicklung im Logistiksektor Rechnung zu tragen.

Betriebswirtschaftlich unberücksichtigt blieben in der Marktpotenzialanalyse [xi] sämtliche externen Kosten, bei denen CargoCap sowohl beim Bau als auch beim Betrieb gegenüber dem Straßenverkehr in jeder Hinsicht viel günstiger abschneidet. Folgekosten, wie z. B. von Staus, Unfällen, Lärm, Luftverschmutzung, Klimaveränderung, Natur- und Landschaftsverbrauch, die typisch sind für den oberirdischen Straßengüterverkehr, fallen bei diesem Transportsystem kaum an.

Sowohl beim Bau des Fahrwegs als auch der Fahrzeuge kann weitgehend auf bestehende und bewährte Bauteile bzw. Verfahren zurückgegriffen werden, sodass im Rahmen der Realisierung keine unerwarteten Schwierigkeiten auftreten können. Die wenigen vollständig neu zu entwickelnden Komponenten wurden und werden derzeit im Modellmaßstab 1:2 erprobt und zur Serienreife weiterentwickelt (Bild 21).

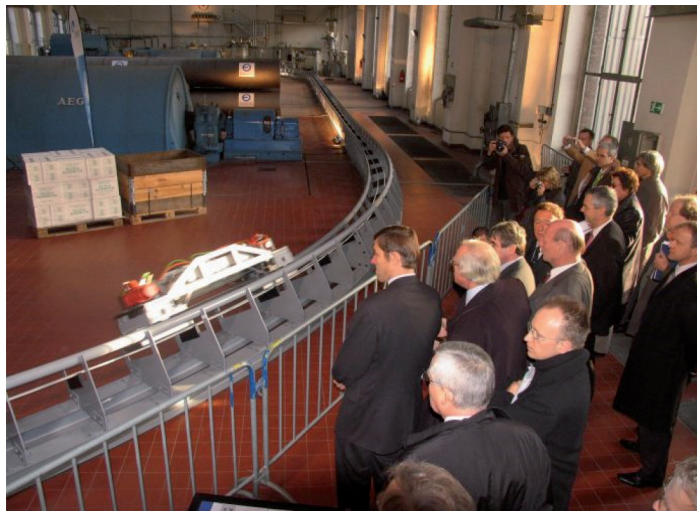


Bild 21: CargoCap-Modellstrecke im Maßstab 1:2 in Bochum

8. Von der Vision zur Selbstverständlichkeit

Auch wenn die vorgestellten Forschungsergebnisse eindeutig sowohl die Machbarkeit als auch die Wirtschaftlichkeit belegen, erscheint doch die Idee, den Güterverkehr zu automatisieren und in den Untergrund zu verlegen, bei erster, oberflächlicher Betrachtung zunächst utopisch oder zumindest technisch schwierig und nicht bezahlbar.

Genauso erging es unseren Vorfahren vor gerade einmal 150 Jahren, als man aus Gründen der Volksgesundheit und der Verbesserung der Lebensqualität erwog, in den Städten ein flächendeckendes unterirdisches Rohrleitungssystem zur Sammlung und Ableitung der Abwässer zu bauen. Trotz weitverbreiteter Skepsis trieben tatkräftige Menschen die Entwicklung an und setzten sie zunächst zaghaft, aber schon bald nachdrücklich und mit politischer und finanzieller Unterstützung über umfangreiche Baumaßnahmen in die Tat um. Heute, gerade einmal zwei Menschenleben später, bestehen allein in Deutschland ca. 2 Mill. Kilometer unterirdisch verlegte Kanäle, die wir im täglichen Leben gar nicht mehr wahrnehmen, deren tägliche Nutzung aber zur Selbstverständlichkeit geworden ist und ohne die das Leben in unseren Städten nicht mehr möglich wäre.

Vor einer ähnlichen, lebenswichtigen Weichenstellung stehen wir heute wieder. Auch diesmal ist die Gesundheit der Bevölkerung gefährdet. An die Stelle der choleraauslösenden Krankheitserreger aus dem Abwasser sind die von den Straßenfahrzeugen emittierten, gesundheitsgefährdenden Abgase (u. a. CO2), Feinstäube und Lärmemissionen in unsere Städte getreten. Durch den ständig zunehmenden LKW-Verkehr sinkt unsere Lebensqualität stetig, sei es durch die abnehmende Mobilität infolge der Überlastung der Straßen, sei es durch das nicht mehr zu befriedigende Bedürfnis nach Ruhe und Erholung in den Städten.

Analog zu der damaligen Beseitigung der offenen Abwassergräben ist heute ein Baustein für eine lebenswerte Zukunft, den Güterverkehr von der Oberfläche verschwinden zu lassen und gleichzeitig die dadurch hervorgerufenen Emissionen vollständig und nachhaltig zu eliminieren.

Die Idee, den Verkehr in den Untergrund zu verlegen, ist nicht neu und fast genauso alt wie die Eisenbahn. Zwar wurden die ersten Tunnel aus rein topographischen Erfordernissen gebaut, aber schon bald kamen politische („zur Eisenbahn gehört ein Tunnel") und umwelttechnische bzw. städtebauliche Gründe hinzu, z. B. in Form der Umfahrung von bewohnten Ufern in Flusstälern. Der Wunsch nach einer Entlastung der Straßen und die Notwendigkeit, den ständig wachsenden Pendlerverkehr zu bewältigen, ließ die U-Bahnnetze in den Großstädten entstehen, also zunächst nur dem Personenverkehr dienende Verkehrssysteme, die vollständig oder zumindest zum größten Teil unter der Erde verlegt wurden. Inzwischen werden auch die für den schnellen Fernverkehr eingerichteten Neubaustrecken mit großen Tunnelanteilen gebaut. So liegen schon die ersten, inzwischen 15–20 Jahre alten Neubaustrecken Deutschlands (Hannover – Würzburg und Mannheim – Stuttgart) zu etwa einem Drittel im Dunkeln. Heute nimmt der Tunnelanteil im Verkehrswegebau ständig zu, nicht nur topographisch bedingt, sondern auch zur Minderung der Emissionen. In Europa gibt es sogar bereits mehrere ausgeführte Beispiele für Tunnel, die trassierungstechnisch unnötig sind und lediglich eine ebenerdig oder im Einschnitt verlegte Bahnstrecke einhausen, um Emissionen zu mindern bzw. zu vermeiden (Beispiele: Tunnel-Offenbau Neubaustrecke Nürnberg – Ingolstadt (D) oder HSL 4 (Hogesnelheidslijn, Schiphol – Antwerpen, Belgien).

Bestandteil der ca. 230 Kilometer langen neuen Eisenbahn-Alpentransversale Zürich – Chiasso sind nicht nur der 57 Kilometer lange Gotthard-Basistunnel, sondern auch zahlreiche weitere Tunnel mit einer Gesamtlänge von 60 Kilometern, sodass etwa die Hälfte der Strecke unterirdisch verlaufen wird. Die 78,5 Kilometer lange Neubaustrecke von Firenze nach Bologna wird sogar zu mehr als 94% im Tunnel verlegt, sodass der Sprung zur vollständig unterirdischen Führung auch des Fernverkehrs nicht mehr groß ist und lediglich in letzter Konsequenz noch nicht vollzogen ist.

Auch für die regionale Güterversorgung existieren bereits erste Ansätze zur Verlagerung des Verkehrs unter die Erde. So werden in Berlin sämtliche Geschäfte der dreistöckigen Potsdamer Platz Arkaden über ein unterirdisches Ver- und Entsorgungszentrum bedient, sodass die oberirdischen Straßen vom Lieferverkehr weitgehend befreit sind. Die Anlieferung per LKW erfolgt über 19 unterirdische Andockstationen, von denen aus die Waren über Hubwagen und Elektroautos weiterverteilt werden. Auch die Müllentsorgung wird über dieses System realisiert.

Die Beispiele zeigen eine verstärkte Tendenz zur Verlegung des Verkehrs in den Untergrund. Noch immer fehlt allerdings die erforderliche konsequente Einführung eines umfassenden unterirdischen Verkehrssystems, um die resultierenden Vorteile wirklich nutzen zu können.

Mit der Verlegung des Güterverkehrs in den Untergrund lassen sich die folgenden, im Aktionsplan des Bundesministers für Verkehr [i] als besonders wichtig eingestuften Maßnahmen gleichzeitig verwirklichen:

- **Sicherheitsstrategie für die Güterverkehrs- und Logistikwirtschaft:**
  Die Verlässlichkeit der Transportketten erhöht sich erheblich, da der unterirdische Güterverkehr weder durch Witterungseinflüsse, Sabotage, Suizide oder durch Konflikte mit anderen Verkehrsträgern behindert wird.

- **Entmischung von Güter- und Personenverkehr:**
  Vollständige Entmischung durch Verbleib des Personenverkehrs an der Oberfläche.

- **Interoperabilität auf der Schiene in Europa (ETCS** (European Train Control System), **Level 2):**
  Obligatorische Anwendung des Sicherheitssystems ETCS, Level 2 oder sogar Level 3.

- **Feldversuch lange Güterzüge:**
  Lange Güterzüge sind sicherheitstechnisch problemlos. Mehrere konventionelle Güterzüge (bis 750 Meter Länge) können vor dem unterirdischen Abschnitt zusammengekuppelt und am Ende wieder getrennt werden. Dadurch kann der Betrieb ggf. einspurig geführt werden.

- **Förderung von Innovationen und Kapazitätssteigerungen im intermodalen Verkehr:**
  CargoCap ist ein neuer Modus des kombinierten Verkehrs und damit eine ideale Ergänzung.

- **Lärmminderung bei der Schiene:**
  Die unterirdische Streckenführung erlaubt einen Betrieb, der in der Umgebung nicht hörbar ist.

- **Reduzierung der Emissionen im Güterverkehr:**
  Die Emissionen des Güterverkehrs verbleiben im Tunnel und belasten nicht die Umgebung.

Durch den unterirdischen Betrieb werden somit zahlreiche Probleme des Güterverkehrs optimal gelöst.

9. Verschiebung der Prioritäten

Betrachtet man den Fernverkehrswegebau der letzten Jahre und die derzeitigen Planungen für neue Strecken, ist eine bevorzugte und zunehmende Verlagerung des Personenverkehrs in Tunnel zu beobachten, während der Güterverkehr weiterhin vielfach auf der Oberfläche verbleibt. Dies ist vollkommen unverständlich, da der Mensch sich vorzugsweise im Tageslicht auf der Erdoberfläche aufhält. Auch während der Fahrt möchte der Reisende den Blick in die Landschaft genießen oder ohne Kunstlicht ein Buch lesen. Hinzu kommt die ständige subjektive Angst der Fahrgäste in langen Tunneln und auch die objektive Lebensgefahr wegen eingeschränkter Fluchtmöglichkeiten bei einem nie zu vermeidenden Brand im Fahrzeug. Die Güter wird demgegenüber eine Fahrt im Dunkel des Tunnels nicht stören, und bei einem Feuer entstünde lediglich Sachschaden.

Eine durchgreifende Beschleunigung des Personenfernverkehrs lässt sich mit moderner Technik (z. B. Neigetechnik) auf entsprechend ausgebauten Altstrecken ebenfalls realisieren, wobei für besondere Problemabschnitte durchaus auch eine Neutrassierung nicht ausgeschlossen werden sollte. Flächendeckend kurze Reisezeiten sind ohnehin nicht allein mit dem Hochgeschwindigkeitsverkehr, sondern mit dichteren Taktfolgen und kurzen Umsteigezeiten zu erzielen. Auch im Nahverkehr stellt die U-Bahn nicht die optimale Lösung dar, da die Fahrzeiten unter der Erde zwar kürzer, der Fußweg zum Bahnsteig aber länger ist. Der Erlebniswert einer Fahrt mit der Straßenbahn mit Aussicht in die Schaufenster wird von den Fahrgästen sehr viel höher eingeschätzt als der triste Blick auf die dunklen Tunnelwände. Den Beweis liefert die U-Bahn-freie Großstadt Zürich, in der das äußerst beliebte „Tram“ die Hauptlast des Nahverkehrs trägt und selbst vom Bankdirektor bei der Fahrt zur Arbeit dem Auto vorgezogen wird.

Zu begrüßen ist die europaweit eindeutige Tendenz zur stärkeren Nutzung des Untergrunds zur Lösung der Verkehrsprobleme. Allerdings ist ein schnelles Umdenken hinsichtlich der Verteilung der Verkehrsarten unter und über die Erde erforderlich, um nicht weitere nicht reversible Fakten in der Verkehrsinfrastruktur zu schaffen. Wie die Forschungsarbeiten gezeigt haben, ist die Verlagerung des Güterverkehrs unter die Erde sowohl im Regional- als auch im Fernverkehr möglich und im Vergleich zum alternativen Tunnelbau für den Personenverkehr wirtschaftlicher.

Was im Personenverkehr in Form der U-Bahnnetze und großer Tunnelanteile auf Neubaustrecken bereits realisiert ist, lässt sich analog auch auf den Güterverkehr sogar mit wesentlich geringerem Aufwand und größerem Nutzen anwenden. Eine Umsetzung ist technisch und wirtschaftlich nicht nur möglich, sondern zur Erhaltung der Volksgesundheit und zur Beibehaltung der Lebensqualität auch unbedingt erforderlich.

10. Zusammenfassung

Deutschland und weite Teile Europas stehen vor der schwierigen Aufgabe, ihre Verkehrsinfrastruktur an die mittelfristig gewaltig steigenden Kapazitätsanforderungen anzupassen. Zudem gefährden Lärm, Abgase und Feinstaub zunehmend Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung.

Der im November 2010 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) herausgegebene „Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikinitiative für Deutschland“ [i] definiert „Besonders wichtige Maßnahmen“ zur nachhaltigen Verbesserung des Güterverkehrs in Deutschland. Bereits daraus wird deutlich, dass der alleinige Aus- und Neubau der Landverkehrswege Schiene und Straße mit konventionellen Methoden heute an ihre Grenzen stoßen und für zukünftige Anforderungen vielfach nicht mehr geeignet sind.

Eine machbare und auch finanzierbare Alternative besteht in der sukzessiven Verlagerung des Güterverkehrs unter die Erde. Mehrere Forschungsarbeiten an der Ruhr-Universität Bochum haben gezeigt, dass ein zunächst utopisch erscheinendes Güterverkehrsnetz unter der Erde durchaus machbar und unter Einbeziehung der externen Kosten und Nutzen auch wirtschaftlich ist.

Mit CargoCapContainer, d. h. mit automatisch betriebenen Güterfernverkehrs-Strecken für selbstfahrende Containertragwagen und insbesondere mit regionalen Netzen aus Fahrrohrleitungen mit einem Durchmesser von nur 2 Metern für das CargoCap-System zur Beförderung der Güter auf Paletten in Ballungsräumen, können die erwarteten Kapazitätsprobleme auf den konventionellen Verkehrsträgern gemildert oder sogar gelöst werden. Die Kompatibilität zu den bestehenden Transportketten und weitgehend zur konventionellen Eisenbahn erlaubt eine beliebig etappierte Realisierung und eine bedarfsgerechte Migration in das bestehende Güterverkehrsnetz.

Der automatische, umwelt- und klimafreundliche Güterverkehr unter der Erde könnte die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Europas nachhaltig stärken und dort gleichzeitig die Volksgesundheit und Lebensqualität sichern.

Die Grundforderung für den Verkehrswegebau muss deshalb lauten:
Güterverkehr unter die Erde, Personenverkehr ans Tageslicht!

Quellen

[i] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikinitiative für Deutschland. Berlin: BMVBS.

[ii] Neue Bahntechnik Paderborn (1997): Eine Forschungsinitiative zur Steigerung der Attraktivität des Systems Bahn. Universität Paderborn. (http://www.owl-nachhaltig-gestalten.de/project.php?project_id=19).

[iii] Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH u. a. (2005): Abschlussbericht zum Verbundforschungsvorhaben Rohrleitungstransport, Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung; Ruhr Universität Bochum, unveröffentlicht.

[iv] Weidemann, H.-J. (2002): CargoBeamer® – Innovationsvorschub für den kombinierten Verkehr. Speyer.

[v] Stein, D. (2003): Grabenloser Leitungsbau, Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

[vi] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO); Richtlinie des EBA vom 08.05.1967 (zuletzt geändert am 25.07.2012).

[vii] CargoCap GmbH (Hrsg.) (2013): Broschüre CargoCap. www.cargocap.de.

[viii] Stein, D. u. a. (1999, 2000, 2001): Transport- und Versorgungssysteme unter der Erde – Transport von Stückgut durch Rohrleitungen. Forschungsberichte im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen; Ruhr Universität Bochum, unveröffentlicht.

[ix] Stein, D.; Schößer, B. (2002): CargoCap – eine Vision wird Realität. In: Tunnel; 03/2002, S.14–20.

[x] Stein, D., Wagner, G., Aldejohann, St. (2010): CargoCap – automatischer, unterirdischer Gütertransport in Ballungsräumen. In: BauPortal, Heft 09, S. 504–509.

[xi] Stein, D., u. a. (2009): Automatischer Gütertransport im Untergrund – Marktpotentialanalyse am Beispiel einer Ruhrgebietsstrecke, unveröffentlicht.

[xii] Kersting, M. (2002): Subterrestrische Gütertransporte in Ballungsgebieten. Ökonomische Rahmenbedingungen und Potentiale. Hagen: ISL-Verlag.

[xiii] Kersting, M.; Klemmer, P.; Stein, D. (2004): CargoCap – wirtschaftliche Transportalternative im Ballungsraum. In: Internationales Verkehrswesen, (56) 11/2004, S. 493–498.

[xiv] Werbeck, N.; Kersting, M. (2008): Subterrestrische Transportalternativen in Ballungsräumen, unveröffentlichter Forschungsbericht von RUFIS im Auftrag des Ministeriums für Bauen und Verkehr des Landes NRW; Bochum, unveröffentlicht.

[xv] Pielow, J.-Ch. (2009): Cargo-Cap – Marktpotentialanalyse – Juristische Bewertung der anvisierten Pilotstrecke (Ruhrgebietsstrecke), unveröffentlicht.

Schlüsselwörter

CargoCap, Automatischer Güterverkehr im Untergrund, Verkehrstechnik, Güterverkehr im Ballungsraum, 5. Transportalternative

Herausgeber

dieses Beitrags und weiterer Beiträge des Forschungsprojekts „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik“

Prof. Dr. Helmut Keim

Seit 01/2005: Professor für Logistikmanagement mit dem Schwerpunkt Verkehrsinfrastrukturlogistik an der Europäischen Fachhochschule (EUFH, Brühl und Neuss).

(Zuvor: in verschiedenen leitenden Positionen der Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände BDA)

Prof. Dr. Johannes Wolf

Seit 04/2012: Professor für Betriebswirtschaftslehre, Duales Studium, an der Hamburger Fern-Hochschule, Hamburg. Forschungsschwerpunkte u.a. Transport- und Verkehrslogistik sowie Makrologistik.

Seit 09/2013 zudem Kanzler der Hamburger Fern-Hochschule.

(Zuvor: 2003 – 03/2012 (Gründungs-) Dekan des Fachbereichs Logistikmanagement an der Europäischen Fachhochschule (EUFH, Brühl und Neuss), Professor für Logistikmanagement)

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Stein

Bis 2004 Professor Leitungsbau und Leitungsinstandhaltung an der Ruhr Universität in Bochum. Seit 1998 bildet der unterirdische, automatische Güterverkehr einen besonderen Schwerpunkt seiner Arbeit, den er heute als Geschäftsführer der CargoCap GmbH in Bochum weiterhin vertritt. Autor zahlreicher Fachbücher und Träger des Bundesverdienstkreuzes am Bande.

Dr.-Ing. Dietmar Beckmann

Seit 1998 Mitarbeit an der Entwicklung des Systems zum unterirdischen, automatischen Gütertransport (CargoCap) und im Jahre 2004 Mitarbeit im Forschungsverbund: „Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen". Verantwortlich für die Entwicklung von statischen Berechnungsmethoden für den unterirdischen Rohrvortrieb (www.cojack.eu).

Prof. Dr. Thomas Siefer

Seit 2009 Professor und Leiter des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb (IVE), Technische Universität Braunschweig. Von 1997 bis 2009 Professor und Leiter des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb (IVE) an der Universität Hannover. Von 1982 bis 1997 Mitarbeiter der Deutschen Bundesbahn bzw. DB Netz AG in verschiedenen Funktionen.

Seit 1998 Mitgesellschafter der Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen mbH, Hannover (IVE mbH).

Dr.-Ing. Robert Stein

Geschäftsführender Gesellschafter der Prof. Stein & Partner GmbH in Bochum. Von 1998 bis 2002 Mitarbeit im Verbundforschungsvorhaben CargoCap und im Jahre 2004 Leiter des Forschungsverbundes: „Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen". Verantwortlich für die Entwicklung von UNITRACC, der international umfangreichsten Elearning-Plattform im Bereich des Bauwesens in Kooperation mit dem Hauptverband der deutschen Bauindustrie (www.unitracc.de).

Der vorliegende Beitrag ist Bestandteil des Forschungsprojektes „Logistikstandort Deutschland – Zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik" in Kooperation zwischen der Europäischen Fachhochschule (EUFH), Brühl und Neuss, sowie der HFH · Hamburger Fern-Hochschule.

Dieses umfassende Forschungsprojekt ist charakterisiert und ausgerichtet wie folgt:
Deutschland ist ein herausragendes Logistikland und erfreut sich in dieser Hinsicht auch international eines hohen Ansehens. Es ist dennoch unerlässlich, den Logistikstandort Deutschland im internationalen Wettbewerb weiter zu stärken. In diesem Zusammenhang stellen sich einige zentrale Fragen: Welchen Beitrag können der ***Masterplan*** und der ***Aktionsplan*** für Güterverkehr und Logistik leisten? Welche Lehren muss die Logistikwirtschaft aus der tiefen wirtschaftlichen ***Krise*** des Jahres 2009 ziehen? Wie kann eine leistungsfähige ***Verkehrsinfrastruktur*** bereitgestellt werden, die der Position Deutschlands als Transitland in Europa und Logistikdrehscheibe im globalen Gütertransport sowie dem wachsenden Verkehrsaufkommen und den steigenden Ansprüchen der Konsumenten an die Güterversorgung gerecht wird? Wie kann eine den Anforderungen entsprechende ***Qualifikation*** für logistische Aufgabenstellungen gewährleistet werden? Antworten auf diese Fragen sind die Grundlage für wirtschaftlichen Erfolg und gesellschaftlichen Wohlstand. Das Forschungsprojekt befasst sich in einer Reihe kritisch würdigender Untersuchungen von Experten aus Verkehrspolitik, Logistikpraxis und Wissenschaft mit dem Logistikstandort Deutschland sowie den Trends und Herausforderungen in Bezug auf die zukunftsorientierte Gestaltung der Güterverkehrslogistik.

Bisher erschienene Diskussionsbeiträge der HFH · Hamburger Fern-Hochschule

Nr.	Jahr	Titel	Autor/en
1	2013	Duale Studiengangsmodelle und Anerkennungsmodelle für berufliche Qualifikationen im betriebswirtschaftlichen Fernstudium	Peter François, Johannes Wolf

Bisher erschienene Diskussionsbeiträge der EUFH · Europäische Fachhochschule

Nr.	Jahr	Titel	Autor/en
1	2005	Lieferketten-Fehlfunktionen und Erfolgsfaktoren zur Implementierung eines effektiven Supply Chain Management	Otto Jockel, Johannes Wolf
2	2006	Kompetenzanforderungen für Kontraktlogistiker – Projektskizze	Otto Jockel, Marc Rothländer, Johannes Wolf
3	2006	Kompetenzanforderungen für Kontraktlogistiker – Erste empirische Ergebnisse	Otto Jockel, Marc Rothländer, Johannes Wolf
4	2007	RFID-Zahlungssysteme und Zahlstationen – Rationalisierungsmöglichkeiten beim Kassiervorgang im Einzelhandel	Martin Fröhlich, Stephan Pullem, Marcus Schuckel, Dirk Terbrüggen, Martin Vomstein
5	2007	Fehlfunktionen und Risikomanagement in Supply Chains	Johannes Wolf
6	2007	Marketing für Supervision	Annette Peltzer
7	2007	Anforderungsprofile an EUFH-Studierende zur Sicherung der Anschlussfähigkeit in den Unternehmen – Auswertung der Studie vom November 2006	Jutta Franke
8	2008	Grundstruktur des Datenmodells für die SAP-Integrations-Fallstudie „Produktionsplanung“	Rainer Paffrath, Johannes Wolf
9	2011	Masterplan und Aktionsplan für den Logistikstandort Deutschland – eine kontroverse Betrachtung	Helmut Keim, Johannes Wolf (Hrsg.), Alexander Eisenkopf, Andreas Scheuer (Autoren)
10	2013	4. EUFH-Logistiktag, Tagungsdokumentation. Cyber-Sicherheit – Gefahren und Schutz für Logistikunternehmen	Helmut Keim, Thomas Krupp, Michael Lorth (Hrsg.)