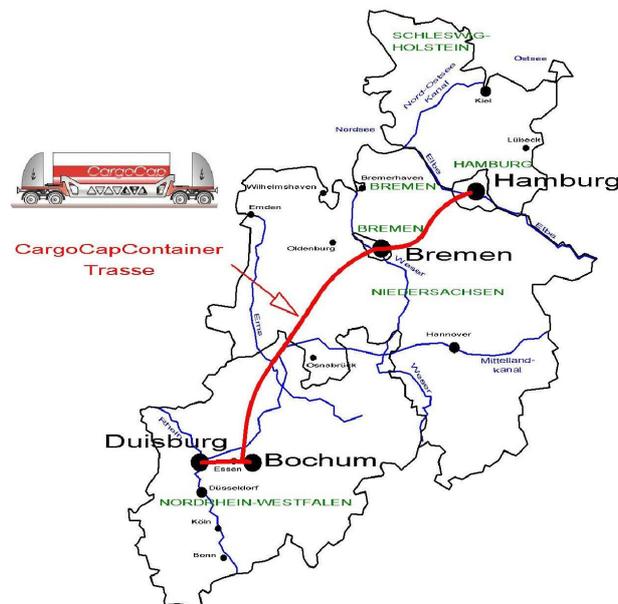




Abschlussbericht

Verbundvorhaben: Rohrleitungstransport Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Zusammenfassender Gesamtbericht



Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
(FKZ: 19G3011A-G)

Forschungspartner:

Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum

Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik, Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie, Ruhr-Universität Bochum

Ingenieurgruppe für Verkehrswesen und Verfahrensentwicklung, Aachen

Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Universität Hannover

Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V., Bochum

Institut für Berg- und Energierecht, Ruhr-Universität Bochum



Der vorliegende Bericht fasst in stark verkürzter Form die wichtigsten Forschungsergebnisse aller Projektpartner zusammen.

Nicht detailliert dargelegt sind in diesem Rahmen einzelne Entwicklungsschritte, die umfangreichen Variantenuntersuchungen sowie der größte Teil der angefertigten Tabellen und Karten. Die vollständige Dokumentation der Tätigkeiten der einzelnen Forschungspartner ist jeweils in den umfassenden Einzelberichten zusammengestellt.

Forschungspartner:

Forschungspartner	Abk.	Wissenschaftliche Leitung/Bearbeitung	Aufgabengebiet
Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum	S&P	Prof. Dr.-Ing. D. Stein Dr.-Ing. D. Beckmann	Projektleitung und Bautechnische Aufgabenstellungen
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik Ruhr-Universität Bochum	LMF	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. Servill Dr.-Ing. D. Hölsken	Aufgabenstellungen zur Untersuchung der Güterverkehrsströme und des Verkehrssystems Straße
Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Universität Hannover	IVE	Prof. Dr.-Ing. T. Siefer Dipl.-Ing. C. Eickmann	Aufgabenstellungen zur Untersuchung des Verkehrssystems Schiene
Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V., Bochum	RUFIS	Dr.-Oec. M. Kersting Dipl.-Oec. S. Draganinska	Ökonomische Aufgabenstellungen
Institut für Berg- und Energierecht, Ruhr-Universität Bochum	IBE	Prof. Dr. M. Burgi K. Hummert	Juristische Aufgabenstellungen

1	Einleitung.....	5
1.1	Forschungsauftrag.....	5
1.2	Verkehrliche Ausgangssituation	7
1.3	Stand der Technik	9
1.3.1	Komponenten	9
1.3.2	Gütertransport durch Rohrleitungen	10
1.3.2.1	Historie	10
1.3.2.2	Derzeitiger Forschungsstand.....	11
1.3.2.3	CargoCap	14
1.3.3	Der Kombinierte Verkehr (KLV)	17
1.3.3.1	Definition	17
1.3.3.2	Historie	17
1.3.3.3	Der Seehafenhinterlandverkehr.....	21
1.4	Zielsetzung des Forschungsvorhabens	22
1.4.1	Ursprüngliche Zielsetzung gemäß Forschungsantrag	22
1.4.2	Erweiterte Zielsetzung	23
1.4.2.1	Allgemeines.....	23
1.4.2.2	Ausweitung der Ladeformen und Transportgefäße	23
1.4.2.3	Konventionelle Güterzüge	25
1.4.2.4	Netzvarianten	27
2	Technisches Konzept	30
2.1	Allgemeines.....	30
2.2	Betriebskonzept.....	30
2.2.1	Vorgehensweise	30
2.2.2	Grundlagen.....	30
2.3	Terminalgestaltung	36
2.4	Bauliche Anlagen.....	38
2.4.1	Streckenführung	38
2.4.1.1	Trassierungsgrundsätze für den Streckenverlauf	39
2.4.1.2	Trassenführungsmöglichkeiten.....	41
2.4.1.3	Entwicklung und Auswahl von Streckenführungsvarianten ..	53
2.4.1.4	Festlegung des Streckenverlaufs	55
2.4.1.5	Modularisierung der gesamten Strecke	57
2.4.2	Bauverfahren	60

2.4.2.1	Variantenbetrachtung	60
2.4.2.2	Vergleich der offenen und geschlossenen Bauweise	64
2.4.3	Bauformen	66
2.4.3.1	Allgemeines	66
2.4.3.2	Querschnittsvarianten.....	67
2.4.3.3	Vergleich der Querschnittsvarianten.....	68
2.4.4	Entwicklung typisierter Konstruktionen für die Streckenmodule ..	69
2.4.4.1	Randbedingungen	69
2.4.4.2	Dimensionierung der Streckenabschnittsmodule.....	70
2.4.5	Betriebliche Einrichtungen	73
2.4.5.1	Festlegung der erforderlichen Einbauten.....	73
2.4.5.2	Richtlinien.....	73
2.4.5.3	Sicherheitstechnik für die Fahrrohrleitungen	74
2.4.6	Fahrwegausstattung	77
2.4.7	Energieversorgung	80
2.4.7.1	Energieversorgungssysteme	80
2.4.7.2	Konzept der Einspeisung.....	81
2.4.7.3	Energiebedarf	84
2.5	Transportfahrzeug	85
2.5.1	Umfeld der Untersuchung und Aufgabenstellung	85
2.5.2	Anforderungen an das Transportfahrzeug	86
2.5.2.1	Externe Anforderungen	87
2.5.2.2	Ladungsformen zu transportierender Güter.....	87
2.5.2.3	Interne Anforderungen.....	93
2.5.3	Fahrzeugkonzepte	97
2.5.3.1	Lastaufnahmekonzept	98
2.5.3.2	Antriebskonzept.....	101
2.5.3.3	Fahrwerkskonzept	107
2.5.3.4	Regelungs- und Steuerungskonzept	108
2.5.4	Antriebskonzept (Elektrotechnik)	112
2.5.4.1	Aufgabenstellung.....	112
2.5.4.2	Technische Daten.....	113
2.5.4.3	Antriebsauslegung.....	115
2.5.4.4	Zusammenfassung elektrische Auslegung	124

2.5.5	Zusammenfassung: Vergleich Konzept – Lkw.....	125
3	Statuts Quo-Analysen und Auswertung von Prognosen.....	128
3.1	Zielsetzung der ökonomischen Untersuchung.....	128
3.2	Auswahl der Untersuchungsregion.....	128
3.3	Eingrenzung der relevanten Verkehrsrelationen.....	135
3.3.1	Straße.....	135
3.3.2	Schiene.....	140
3.4	Bestimmung der Transportverlagerung – Modal-Shift	142
4	Ermittlung der Kosten und Nutzen für den Vergleichs- und Planfall	150
4.1	Abschätzung der Baukosten und des Realisierungszeitraumes.....	150
4.1.1	Allgemeines	150
4.1.2	Kostenschätzung für die geschlossene Bauweise.....	150
4.1.3	Unterquerungen.....	152
4.1.4	Kostenschätzung für die offene Bauweise.....	153
4.1.5	Realisierungszeitraum	154
4.1.6	Baukostenabschätzung über parametrisierte Module.....	158
4.2	Nutzenermittlung Straße.....	163
4.2.1	Aufgabenstellung.....	163
4.2.2	Ermittlung der Verkehrsauswirkungen 'Straße'	164
4.2.3	Berechnung des Nutzenbeitrags 'Straße'	173
4.2.4	Überprüfung auf verzichtbare Straßenbauprojekte.....	179
4.3	Ermittlung der Kosten und Nutzen Schiene.....	181
4.4	Bewertung der alternativen Verkehrsinfrastruktur.....	182
4.4.1	Aggregation der drei Verkehrssysteme.....	182
4.4.2	Vergleich der betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen	187
4.4.3	Vergleich der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen.....	189
4.5	Bewertung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse.....	191
5	Juristische Betrachtung	195
5.1	Rechtliche Aspekte des Autobahnausbaus	195
5.1.1	Das Planfeststellungsverfahren bei einem Autobahnausbau.....	196
5.1.2	Umweltrechtliche Regelungen.....	197
5.1.2.1	Immissionsschutz	197
5.1.2.2	Eingriffsregelung des Bundesnaturschutzgesetzes.....	198
5.1.2.3	Die Umweltverträglichkeitsprüfung	200

5.1.3	Ergebnis zu den rechtlichen Aspekten eines Autobahnausbaus	202
5.2	Rechtliche Aspekte des Baus	202
5.2.1	Erfordernis einer Planfeststellung	203
5.2.1.1	Qualifikation als Eisenbahn	203
5.2.1.2	Bau oder Änderung von Betriebsanlagen	207
5.2.2	Eisenbahnrechtliche Genehmigung gem. § 6 Abs. 1 AEG	208
5.2.3	Anwendbarkeit der LbauOen	208
5.2.4	Anwendbarkeit der EBO	208
5.2.5	Umweltrechtliche Zulässigkeit	210
5.2.5.1	BimSchG	210
5.2.5.2	Gewässerschutz	213
5.2.5.3	BbodSchG	214
5.2.5.4	BnatSchG	216
5.2.5.5	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	217
5.2.5.6	Ergebnis zur umweltrechtlichen Zulässigkeit	218
5.2.6	Inanspruchnahme von Grundstücken	218
5.2.6.1	Straßen	218
5.2.6.2	Private Grundstücke	220
5.2.6.3	Stillgelegte Eisenbahnstrecken	220
5.2.6.4	Hafengelände	221
5.3	Vergleich der beiden Alternativen und Ergebnis	221
6	Zusammenfassung und Ausblick	223
6.1	Technische Lösung	223
6.2	Weiterer Forschungsbedarf	226

1 Einleitung

1.1 Forschungsauftrag

Der Forschungsverbund „Transport- und Versorgungssysteme unter der Erde. Teilprojekt: Transport von Stückgut durch Rohrleitungen“ hat in der Vergangenheit an der Ruhr-Universität Bochum ein Transportkonzept für den unterirdischen, individuellen Transport von Euro-Paletten im Ruhrgebiet entwickelt, das unter dem Namen CargoCap bekannt geworden ist. Im Verlauf der Präsentation der Ergebnisse dieser Forschungen beim BMBF stellte sich dort die Frage, ob ein solches Konzept nicht auch für den Transport größerer Ladungseinheiten über weitere Entfernungen geeignet sei. Hieraus entwickelte sich ein neues Forschungsvorhaben, das den unterirdischen Transport von Überseecontainern (bis 45') zwischen den deutschen Nordseehäfen und dem Ruhrgebiet zum Gegenstand hat. Ein interdisziplinär zusammengesetztes Forscherteam aus Bochum, Aachen und Hannover untersuchte die Frage, welche Transportgrößen, Geschwindigkeiten, Transporttechniken und Netzentwürfe in der Lage sind, den Verkehr in den gegenwärtig genutzten Verkehrssystemen Straße und Schiene soweit zu entlasten, dass ausreichend Einspareffekte erzeugt werden, um eine entsprechende Investition in den unterirdischen Containertransport zu rechtfertigen.

Die konkrete Untersuchungsaufgabe bestand in der Entwicklung des Systems „CargoCapContainer“ (CCC), d.h. in einer Übertragung des bereits für regionale Güterverkehre in Ballungsgebieten konzipierten CargoCap-Systems auf den Güterfernverkehr mit Containern zwischen den Seehäfen Hamburg und Bremen/Bremerhaven einerseits und dem Ruhrgebiet andererseits, um Effizienz und Sicherheit des Güterverkehrs auf dieser Relation zu erhöhen und gleichzeitig die Umweltbelastung zu reduzieren.

Die technische und rechtliche Durchführbarkeit sowie die potenzielle ökonomische Vorteilhaftigkeit von automatisierten Stückguttransporten im Nah- und Regionalverkehr durch unterirdische Fahrrohrleitungen wurde bereits im Rahmen Forschungsarbeiten an der Ruhr-Universität Bochum belegt [1].

Systemspezifische Vorteile von CargoCap zeigten sich insbesondere

- in einer schnellen technischen und rechtlichen Realisierbarkeit ohne Verletzung von Bürgerinteressen;
- in einer einfachen Implementierbarkeit in bestehende Verkehrssysteme und Logistikkonzepte (Kompatibilität) sowie
- in einer hohen betriebswirtschaftliche Rentabilität.

Innerhalb des Forschungsvorhabens war zu überprüfen, ob auch in dieser Hinsicht eine Übertragbarkeit auf den Ferngüterverkehr besteht, wobei ein Vergleich mit den existierenden Verkehrssystemen Straße und Schiene hinsichtlich der Transportkosten, -kapazität, -geschwindigkeit und -zuverlässigkeit, Störanfälligkeit und weiterer externer Effekte wie Umweltbelastungen anzustellen war.

Die Tabelle 1-1 zeigt die an dem Forschungsvorhaben beteiligten Forschungspartner mit ihrem jeweiligen Zuständigkeitsbereich.

Tabelle 1-1: Aufgabengebiete der Forschungspartner

Forschungspartner	Abk.	Aufgabengebiet
Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum	S&P	Projektleitung und Bautechnische Aufgabenstellungen
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik Ruhr-Universität Bochum	LMF	Maschinenbautechnische Aufgabenstellungen
Lehrstuhl für Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie, Ruhr-Universität Bochum	EAAE	Elektrotechnische Aufgabenstellungen
Ingenieurgruppe für Verkehrswesen und Verfahrensentwicklung, Aachen	IVV	Aufgabenstellungen zur Untersuchung der Güterverkehrsströme und des Verkehrssystems Straße
Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Universität Hannover	IVE	Aufgabenstellungen zur Untersuchung des Verkehrssystems Schiene
Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V., Bochum	RUFIS	Ökonomische Aufgabenstellungen
Institut für Berg- und Energierecht, Ruhr-Universität Bochum	IBE	Juristische Aufgabenstellungen

Der vorliegende Bericht fasst in stark verkürzter Form die wichtigsten Forschungsergebnisse aller Projektpartner zusammen. Dabei werden nicht die

Kurzfassungen der Einzelberichte aneinandergefügt, sondern es erfolgt eine thematische, fach- bzw. disziplinübergreifende Neuordnung der Tätigkeitsfelder mit den folgenden Themenbereichen:

- Verkehrliche Ausgangsproblematik mit bestehenden Lösungsansätzen
- Technische Beschreibung des CargoCapContainer-Konzeptes
- Einbettung des CargoCapContainer-Konzeptes in die Untersuchungsregion
- Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung
- Juristische Aspekte und Randbedingungen

Nicht detailliert dargelegt sind in diesem Rahmen einzelne Entwicklungsschritte, die umfangreichen Variantenuntersuchungen sowie der größte Teil der angefertigten Tabellen und Karten. Die vollständige Dokumentation der Tätigkeiten der einzelnen Forschungspartner ist jeweils in den umfassenden Einzelberichten zusammengestellt.

1.2 Verkehrliche Ausgangssituation

Die Produktivität und das Entwicklungspotential eines Wirtschaftsstandortes werden maßgeblich durch effiziente Transportsysteme mit leistungsstarken Verkehrswegen - Straße, Schiene, Luft und Wasser - bestimmt. Eine durch Engpässe und Verzögerungen geprägte Verkehrsinfrastruktur limitiert unweigerlich die Entwicklung einer gesamten Region bzw. eines Wirtschaftsstandortes.

So warnt bspw. die deutsche Wirtschaft vor einem Verfall der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland: Nach aktuellen Aussagen, sei „die Bundesrepublik drauf und dran, durch die Vernachlässigung von Straße und Schiene, Wasserwegen und Brücken ein riesiges volkswirtschaftliches Vermögen und zugleich einen wichtigen Standortfaktor aufs Spiel zu setzen“. Zudem seien „die volkswirtschaftlichen Folgekosten durch Staus, Verspätungen und teure Spätreparaturen noch gar nicht abzuschätzen“.

So fordern der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (BDZ) und der Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden ein „Umdenken der Bundesregierung in der Verkehrsplanung“. Zeichen der sich verschlechternden Infrastruktur sind bspw. die Zunahme von Schlaglöchern auf den Straßen,

Langsamfahrstrecken und Verspätungen bei der Bahn sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen in der Binnenschifffahrt wegen unzureichender Wasserstände auf alten Kanälen [2].

Gleichzeitig stellen die Prinzipien moderner Produktionslogistik immer höhere Anforderungen an die liefernden Transportsysteme, wie „Just-in-Time“- und „Just-in-Case“-Transporte, mit einer zunehmenden Aufteilung der Wertschöpfungsketten in organisatorisch und räumlich getrennte Betriebe. So gehen immer mehr Betriebe dazu über, ihre Zulieferteile weltweit zu ordern, sie in ihrem Lager – bspw. direkt auf einem Hafengelände gelegen – zusammenzuführen und die Ware dann in die regionalen und überregionalen Märkte zu verteilen. Das bedeutet zum einen eine Verstärkung des Importhandels und zum anderen eine Steigerung der Anforderungen an eine möglichst schnelle und kostengünstige regionale und überregionale Verteilung und nicht zuletzt die Anlieferung der Waren an den Kunden.

Aufgrund der gegenwärtigen und der zu erwartenden Verkehrsbelastungen im Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland werden dringend alternative Lösungsmöglichkeiten erforderlich, die sowohl den Belangen der Nutzer von Verkehrsdienstleistungen als auch der vom Verkehr negativ betroffenen Bevölkerung und der Umwelt Rechnung tragen.

Die Anstrengungen der Politik richten sich gegenwärtig auf die Überwindung der finanziellen Engpassituation beim Ausbau bzw. bei der Pflege des bestehenden Verkehrswegenetzes. Die Lösung dieser Engpassproblematik ist jedoch nicht nur eine Frage fehlender Finanzmittel - aktuelle Schätzungen gehen von einem jährlichen Defizit von rund 2,5 Mrd. EUR aus [2]. Hinzu kommen planungsrechtliche und technische Barrieren sowie gesteigerte Umwelanforderungen. Beispielsweise ist ein dringend erforderlicher Ausbau der Straßeninfrastruktur angesichts der hohen Bebauungsdichte in den Ballungsgebieten und des bereits hohen Anteils an oberirdischen Verkehrsflächen nicht immer uneingeschränkt möglich.

Parallele Bestrebungen der Verkehrsplaner, eine intensivere Nutzung der bestehenden Infrastruktur durch eine Reduzierung von Staus und eine Erhöhung der Verkehrsgeschwindigkeit zu realisieren, verbessern nach übereinstimmender Ansicht von Experten zwar tendenziell die Verkehrssituation - eine Bewältigung der

steigenden Anforderungen an die Transportleistungen ohne eine entsprechende Kapazitätsanpassung der Infrastruktur ist jedoch nicht realisierbar.

Die bestehenden Verkehrswege und -träger sind demnach nicht in der Lage, die aktuellen und die in Zukunft notwendigen Transportleistungen ohne Ausbau zu erbringen und reibungslos, sicher und umweltgerecht zu bewältigen. Die zukünftige Verkehrspolitik steht dabei im Spannungsfeld der ökonomischen Anforderungen, der ökologischen und sozialen Folgewirkungen des Wirtschaftsverkehres sowie der Knappheit der öffentlichen Mittel für den Ausbau der vorhandenen Verkehrswege.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein wesentlicher Standort- und Wettbewerbsfaktor für ein Ex- und Importland wie Deutschland eine gut funktionierende Verkehrsinfrastruktur und in diesem Zusammenhang, der problemlose Vor- und Nachlauf der Güter bspw. zu und von den deutschen Seehäfen ist.

Dass sich diese Problematik, die existenziellen Transportaufgaben umweltgerecht und im Einklang mit den Anforderungen der Wirtschaft zu lösen, keinesfalls nur auf Ballungsgebiete in Deutschland beschränkt, dokumentieren die weltweiten Aktivitäten auf dem Gebiet des unterirdischen Gütertransportes durch Rohrleitungen (vgl. Abschnitt 1.3.2.2). Es lag daher nahe, die Potenziale und bisherigen Erkenntnisse des Forschungsverbundes an der Ruhr-Universität Bochum zu nutzen, um die Einsatzmöglichkeit und nachhaltige Effizienz eines neuen Gütertransportsystems für Fernverbindungen zwischen Ballungsgebieten oder natürlichen Umschlagstellen (wie z.B. Seehäfen) zu prüfen.

1.3 Stand der Technik

1.3.1 Komponenten

Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu entwickelnde Transportkonzept besteht im Wesentlichen aus einer Kombination der bereits zu Verfügung stehenden Systeme für den Gütertransport durch Rohrleitungen mit dem bewährten System des kombinierten Ladungsverkehrs (KLV). Dabei sollen

- die Flexibilität des intermodalen Transportes im KLV und
- die zeitliche Flexibilität des individuellen Verkehrs mit einzelnen Kapseln miteinander kombiniert werden.

Für diese beiden Hauptkomponenten werden in den nachfolgenden Abschnitten die Entstehungshistorie und der derzeitige Entwicklungsstand dargestellt. Außerdem erfolgt bereits eine Vorauswahl der für die vorliegende Aufgabenstellung relevanten Teilsysteme.

1.3.2 Gütertransport durch Rohrleitungen

1.3.2.1 Historie

Die Idee, Briefe oder Waren durch Rohrleitungen zu transportieren, ist nicht neu, d.h. in der Vergangenheit wurden zahlreiche Transportsysteme für unterschiedliche Anwendungsfälle entwickelt und eingesetzt.

Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden erste Anlagen zur Beförderung von Briefen in geschlossenen Rohrleitungen gebaut. Die erste, auf dem pneumatischen Prinzip basierende Transportanlage war im Jahr 1853 die Stadtröhrepost in London. Im Jahr 1865 errichtete die Firma Siemens & Halske in Berlin die erste Stadtröhrepost in Deutschland, die über 100 Jahre im Einsatz war und im Ostteil der Stadt sogar bis 1981 betrieben wurde.

Auf dem Prinzip der pneumatischen Rohrpost aufbauend, wurden nach dem zweiten Weltkrieg unabhängig voneinander sowohl in der U.d.S.S.R. als auch den USA neue Forschungsarbeiten zum Kapseltransport in größeren Dimensionen initiiert. Es entstanden pneumatische Systeme mit Durchmessern von 1.000 mm und mehr, in denen eine große Anzahl an Transportkapseln operierte [3, 4].

Auch in Deutschland wurden die Arbeiten zum pneumatischen Transport durch Rohrleitungen vorangetrieben. In den 60er Jahren verband die „Hamburger Großrohrpost“ zwei Postämter miteinander. Der Durchmesser der Fahrrohrleitungen betrug 450 mm.

Als eigenständige Weiterentwicklung der durch Luftdruck passiv angetriebenen Transportkapsel der Großrohrpost entstand im Posttechnischen Zentrum in Darmstadt das Konzept der „Gleislosen Rohrzugbahn“. Die Transporteinheiten bestanden aus motorisierten, zweiachsigen Drehgestellen und aufsattelbaren Frachtbehältern. Erste Entwürfe sahen einen Durchmesser von 700 mm vor, der später auf 1.500 mm vergrößert wurde.

Im Jahr 1983 wurde in Japan der auf dem pneumatischen Prinzip basierende „Capsule Liner“ mit einem Rohrdurchmesser von 1.000 mm gebaut. Über eine Entfernung von 3,2 km transportiert dieser Kalkstein von einem Steinbruch zu einer weiterverarbeitenden Zementfabrik.

Generell dienen diese Transportsysteme - mit Ausnahme der Stadtröhrepostanlagen - zur Verbindung zweier Standorte und sind als Speziallösungen anzusehen, deren Vorteile die Spezifizierung der genauen Anforderungen an das System und die genaue Abschätzung der zu erwartenden Transportfälle in Umfang und Zeitpunkt sind.

1.3.2.2 Derzeitiger Forschungsstand

Aktuell werden in den USA Arbeiten zur Umsetzung von Transportsystemen durch Rohrleitungen für zwei unterschiedliche Einsatzbereiche intensiviert. Ein Projekt in Texas [5] untersucht zur Zeit den Einsatz des unterirdischen Stückguttransportes unter dem Interstate Highway 35 (IH 35) auf einer Länge von ca. 690 km zwischen den Städten Dallas/Fort Worth und Laredo. Diese Strecke ist aufgrund des Nordamerikanischen Freihandelsabkommens (NAFTA) zwischen Kanada, Mexiko und den USA eine der am stärksten belasteten Nord-Süd-Verbindungen. Zu ihrer Entlastung soll nun ein Großteil der palettierten Güter mit den Palettenmaßen 1,00 x 1,20 m und einer Beladungshöhe von 1,50 m durch unterirdische „Fracht-Pipelines“ transportiert werden [5]

Nach Schätzungen und Untersuchungen des Texas Department of Transportation (TxDOT) benutzen 31,6 % aller durch die NAFTA verursachten LKW-Transporte den IH 35. Dabei ergeben sich, ähnlich wie in der Bundesrepublik Deutschland, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen, eine Zunahme der Anzahl und Schwere von Verkehrsunfällen, eine stärkere Schädigung der Straßenoberfläche und nicht zuletzt eine Zunahme der Luft- und Umweltverschmutzungen.

Bereits 1996 sind im Bundesstaat Texas durch Instandhaltung und soziale Folgekosten mehr als 600 Mio. Dollar Gesamtkosten entstanden. Schätzungen zufolge werden diese Kosten zukünftig aufgrund der steigenden Anzahl der LKW-Transporte ebenfalls ansteigen. Ein kontinuierlicher Ausbau der vorhandenen Infrastruktur könnte zwar dem steigenden LKW-Verkehr entgegenwirken, er bietet

aber keine Erhöhung der Sicherheit. Die sozialen Probleme, wie Luftverschmutzung und Lärmemissionen bleiben davon ebenfalls unberührt.

Scheinbare Alternativen zu dem LKW, wie der Transport auf der Schiene und durch die Luft, scheiden nach Auffassung der Experten des Rail Research Center (Texas Transportation Institute) ebenso aus, wie der Transport via Schiff. Der Schienentransport ist in den USA bei Transportentfernungen von 480–800 km zwar vergleichsweise kostengünstig, aber aufgrund der dortigen Verhältnisse bei der Infrastruktur Schiene weniger zuverlässig und dauert somit länger. Der Lufttransport ist schnell, aber wesentlich teurer als der LKW. Der Transport mit dem Schiff ist als kosteneffizient anzusehen, aber wie der Schienentransport zu langsam.

Diese Ausgangssituation bildete hierbei die Grundlage für die Durchführung einer Machbarkeitsstudie über einen möglichen Einsatz einer „Fracht-Pipeline“ für den Gütertransport. Als Vorteile eines solchen Systems werden der hohe Automatisierungsgrad, der geringe Energieverbrauch, die hohe Sicherheit, der Schutz der Güter vor der Witterung und die geringen Instandhaltungsanforderungen angegeben. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil sind die geringen Schadstoff- und Lärmemissionen, die bei einem unterirdischen System gar nicht oder nur kaum entstehen. Das System verfügt zudem über eine hohe Zuverlässigkeit im Betrieb. Ein Ergebnis dieser Machbarkeitsstudie ist unter anderem die Festlegung der minimalen durchschnittlichen Geschwindigkeit der „Fracht-Pipeline“-Transporteinheiten auf 80 km/h, damit das System in diesem Punkt wettbewerbsfähig ist [5].

Ein weiteres aktuelles Projekt in den USA beschäftigt sich mit dem Transport von Containern, die zu und von den Häfen Houston, Texas City und Galveston transportiert werden sollen.

Die Probleme, die bei diesen Transporten entstehen, sind nahezu identisch mit denen des bereits beschriebenen Projektes in Texas. Aufgrund der starken Verkehrsbelastung kommt es im Ballungsgebiet der drei Häfen zu Staus, Straßenschädigungen, sozialen Folgekosten und Umweltschädigungen. Zusätzlich treten jedoch auch Staus in den Terminals auf, da sich die ankommenden LKWs zunächst in einer Warteschlange am Terminal-Gate und anschließend in einer Warteschlange vor der Be- und Entladung und an der Zollabfertigung einreihen müssen.

Die Überlegungen des Department of Maritime Administration gehen nun dahin, ein unterirdisches Logistiksystem (Underground Logistic System/ULS) als Alternative zu den LKW-Transporten zu errichten, um zum einen die Transportfolgekosten zu reduzieren und zum anderen die Wettbewerbsfähigkeit der Häfen auch untereinander zu verstärken [6].

Auch in Japan gehen die Untersuchungen über alternative Transportmöglichkeiten in eine ähnliche Richtung. Zur Zeit wird ein Transportsystem geprüft, bei dem der Fracht- und Personentransport weitestgehend räumlich getrennt wird. Der Frachttransport wird hierbei über sogenannte „Dual-Mode-Trucks“ (DMT) abgewickelt, die sowohl wie ein normaler LKW auf den herkömmlichen Straßen, als auch fahrerlos, auf speziell dafür vorgesehenen, unterirdisch und oberirdisch geführten Straßen fahren können.

Für dieses System sind zwei Anwendungsmöglichkeiten angedacht worden – zum einen für den Transport innerhalb von Stadtgebieten und zum anderen für den Transport zwischen Städten.

Bei dem Transport innerhalb der Stadtgebiete soll der verfügbare Raum unter den bereits bestehenden Straßen genutzt werden. Die DMTs fahren automatisch gesteuert durch ein Tunnelsystem und werden durch Aufzüge und Rampen an dafür vorgesehenen Punkten an die Oberfläche befördert. Dort werden sie dann von einem Fahrer übernommen, der die Güter über die normalen Straßen zum Kunden transportiert.



Bild 1-1 Frachttransport mittels DMT zur Verbindung zweier Städte [7]

Für den Transport zwischen zwei Städten werden statt des Tunnelsystems oberirdische Fahrwege benutzt, die die den Städten vorgelagerten Terminals verbinden.

Das System des DMT befindet sich momentan im Versuchsstadium. Auf einer 760 m langen Strecke werden Steuerungs- und Kommunikationssysteme getestet [7].

Im europäischen Raum dagegen konzentrieren sich Forschungs- und Entwicklungsprojekte zum unterirdischen, leitungsgeführten Transport lediglich auf die Aktivitäten des Forschungsverbundes an der Ruhr-Universität Bochum und an der TU Delft in den Niederlanden. Dort werden Projekte zur Vernetzung von Güterverteilzentren und zur spezifischen Verbindung zweier Wirtschaftsstandorte innerhalb einzelner Ballungsräume erarbeitet.

Das niederländische Projekt sieht die Vernetzung des Flughafens Schiphol, der Blumenaktionshalle Hoofddorp und des internationalen Bahnhofes Aalsmeer vor. Mittels eines automatisierten unterirdischen Logistiksystems sollen Blumen und andere zeitkritische Waren in Transporteinheiten mit einer Grundfläche von 3,18 x 2,44 m und einer max. Beladungshöhe von 2,60 m unabhängig von steigenden Verkehrsbelastungen im Straßen- und Schienennetz transportiert werden [8].

1.3.2.3 CargoCap

CargoCap ist die 5. Transportalternative zu den traditionellen Verkehrsträgern Straße, Schiene, Wasser und Luft in Form von individuell angetriebenen, spurgeführten Einzelfahrzeugen, die Güter durch unterirdische Fahrrohrleitungen schnell, zuverlässig und zeitgenau transportieren.

Im Rahmen interdisziplinärer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Ruhr-Universität Bochum seit 1998 konnte am Beispiel des Ruhrgebietes bereits nachgewiesen werden, dass sich CargoCap technisch und rechtlich ohne Verletzung von Bürgerinteressen schnell realisieren und problemlos in die traditionellen Verkehrssysteme und Logistikkonzepte implementieren lässt.

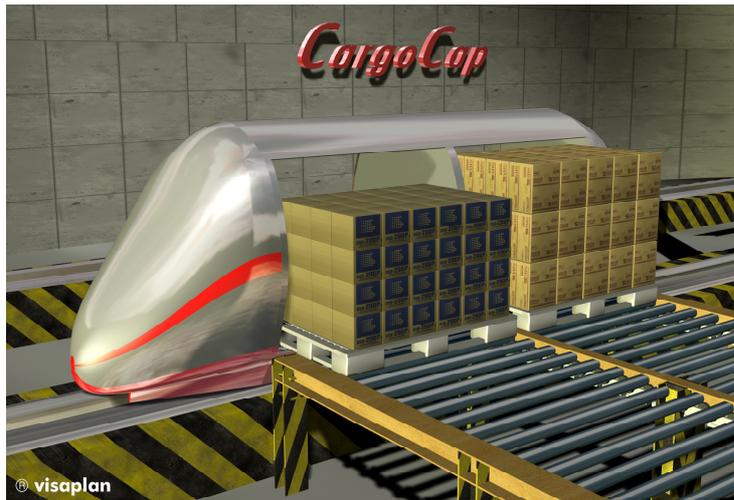


Bild 1-2 CargoCap-System für den Nah- und Regionalverkehr [visaplan, Bochum]

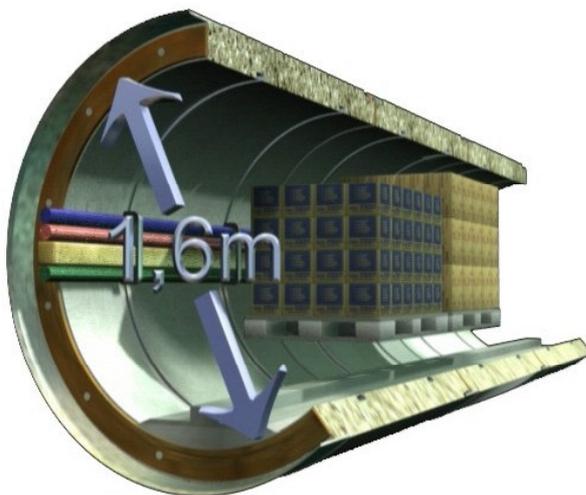


Bild 1-3 Durchmesser der Fahrrohrleitungen von CargoCap [visaplan, Bochum]

Der Transportvorgang erfolgt durch unbemannte, automatisch und individuell gesteuerte Transporteinheiten (Caps), die 24 Stunden am Tag in einem unterirdischen, weitverzweigten Fahrrohrleitungsnetz automatisch zu ihren Zielstationen geleitet und dort über ein ebenfalls automatisches Fördersystem be- und entladen werden. Das Fassungsvermögen der Caps von je zwei Paletten oder Kleincontainern ($B \times T \times H = 800 \times 1.200 \times 1.050 \text{ mm}$) garantiert einerseits eine hohe Kompatibilität zu anderen Verkehrsträgern und andererseits die Beförderung nahezu aller anfallenden Güter bei einem Durchmesser der Fahrrohrleitung von 1.600 mm. CargoCap ist als eigenständiges, flexibles, leistungsfähiges, bedarfsgerecht erweiterbares und witterungsunabhängiges System konzipiert,

Zum Einsatz kommen unbemannte, schienengebundene Fahrzeuge (Caps) mit einem elektrischen Antriebssystem, das eine hohe Beförderungssicherheit garantiert. Die Energieversorgung erfolgt über in der Fahrrohrleitung installierte Schleifleitungen. Spezielle Überwachungssysteme haben die Aufgabe, vorzeitige Ausfälle von Komponenten frühzeitig zu erkennen.

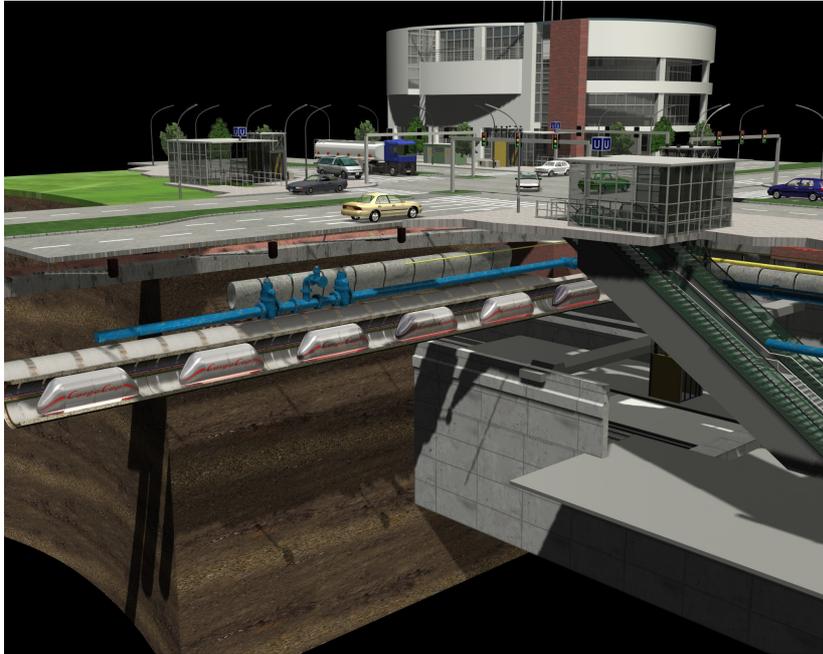


Bild 1-4 Integration von CargoCap in die bestehende Infrastruktur [visaplan, Bochum]

Durch die intelligente Kombination modernster Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus, welche weitestgehend ohne Straßen- und Geländeaufbrüche auskommen, mit leistungsstarken maschinenbautechnischen Entwicklungen sowie mit innovativen Technologien im Bereich von Controlling, Monitoring und Logistik werden alle Voraussetzungen zur Bewältigung der wesentlichen Transportaufgaben in Ballungsräumen erfüllt. Die Eingliederung in bestehende Logistikketten ist ebenso problemlos möglich wie die Integration in die bestehende unterirdische Infrastruktur.

Als eigenständiges, flexibles, leistungsfähiges, problemlos erweiterbares und witterungsunabhängiges System konzipiert erfüllt es nachweislich alle betrieblichen Rentabilitätsanforderungen.

1.3.3 Der Kombinierte Verkehr (KLV)

1.3.3.1 Definition

Unter dem intermodalen Transport (gleichbedeutend mit dem KLV = Kombinierter Ladungs-Verkehr) versteht man die Beförderung von Gütern in geschlossenen oder offenen Ladeeinheiten unter der Nutzung unterschiedlicher Verkehrsträger (Schiene, Straße, Wasser, Luft) während eines Transportvorganges, wobei zwar die Ladeeinheit umgesetzt wird, ein Umschlag der Güter aber unterbleibt. Die Ladeeinheit kann entweder ein Behälter (z.B. Container, Wechselbehälter) oder aber auch ein Sattelauflieger sein. Sonderformen stellen die Beförderungssysteme für ganze Lkw auf der Schiene einerseits oder einzelner Güterwagen auf der Straße andererseits dar.

Die Zielsetzung dieses Konzepts besteht darin, die Systemvorteile der verschiedenen Verkehrsträger miteinander zu verknüpfen. So können über große Entfernungen die Massenleistungsfähigkeit, Umweltfreundlichkeit und Sicherheit der Eisenbahn genutzt werden. Dem regionalen Verteilerverkehr und der direkten Bedienung des Kunden dient dagegen die Flexibilität des Lkw oder des regionalen CargoCap-Systems.

1.3.3.2 Historie

Während der KLV in seiner heutigen Form erst 37 Jahre alt ist, liegen seine Ursprünge und Vorläufer viele Jahre weiter zurück.

Bereits Mitte der dreißiger Jahre setzte die Deutsche Reichsbahn (DRG) sogenannte „**Von Haus zu Haus**“-Behälter ein, die vorwiegend ein Fassungsvermögen von 3,5 m³ aufwiesen. Nach dem zweiten Weltkrieg optimierte die Deutsche Bundesbahn (DB) dieses Beförderungssystem weiter und konzentrierte sich fortan auf den sogenannten pa-Behälter (pa: porteur aménager). Sein Grundriß von 3,1 m x 2,3 m entsprach einerseits der Ladebreite der Güterwagen und andererseits mit dem kleineren Maß derjenigen des Lkw. Die darauf aufbauende äußere Gestalt des eigentlichen Behälters passte sich den Anforderungen der Güter an. So gab es kastenförmige Behälter geschlossen für Stapelgüter oder offen für Schüttgüter, stehende und liegende Zylinder für Flüssigkeiten, und sogar die Kugelform für druckbeaufschlagte Medien war nicht selten zu beobachten. Seinen Höhepunkt

erreichte das Haus-zu-Haus-Konzept Mitte der sechziger Jahre mit mehr als 20.000 Ladeeinheiten, wurde danach aber sukzessive von den Containern verdrängt.

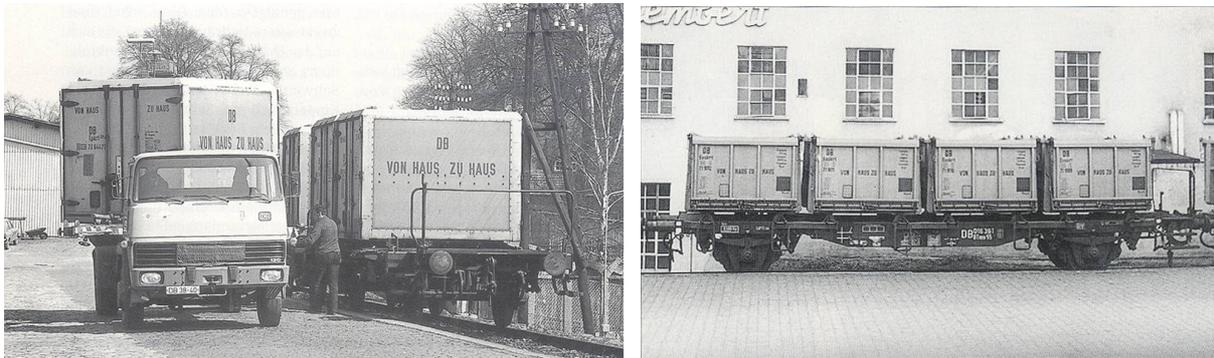


Bild 1-5: „Von Haus zu Haus“-Behälter

Ebenfalls in den dreißiger Jahren entwickelte der Reichsbahn-Oberrat Hans **Culemeyer** den nach ihm benannten **Straßenroller**, der es ermöglichte, Kunden ohne eigenen Gleisanschluss mit Güterwagen zu bedienen. Über eine Gleisbrücke und sechzehn aktiv gelenkte, vollgummibereifte Räder konnte die Last des Güterwagens auf die Straße gebracht und über eine verstellbare Kuppelstange von einer leistungsfähigen Zugmaschine zum Kunden geschleppt werden. Diese kuriose Form des kombinierten Verkehrs, die sich allerdings nur zur Überbrückung recht kurzer Distanzen eignete, konnte noch bis vor wenigen Jahren vereinzelt auf deutschen Straßen beobachtet werden.

Das umgekehrte Verfahren, die Verladung kompletter Lastzüge (inkl. der Zugmaschine) auf Eisenbahnzüge („**Rollende Landstraße**“) begann mit Experimenten der frühen Deutschen Bundesbahn und lediglich geringfügig angepassten Rungenwagen. Dabei konnten Lkw bis zu einer Eckhöhe von 2,5 m „**huckepack**“ genommen werden. Nach der Entwicklung von Niederflurwagen mit kleinen Rädern und niedriger Plattformhöhe sowie der streckenseitigen Anpassung des Lichtraumprofils ist heute der Transport fast aller gängigen Lastwagen bis zu einer Eckhöhe von 4,0 m möglich, auf einigen Strecken sogar bis 4,2 m. In einem beigestellten Liegewagen kann der Fahrer seine gesetzlich vorgeschriebene Lenkpause verbringen. Dennoch bleibt die „Rollende Landstraße“ wegen des ungünstigen Verhältnisses von Zuggewicht und Nutzlast nur wenigen grenzüberschreitenden Verbindungen vorbehalten. Vorwiegend dient sie in den

besonders umweltsensiblen Alpenländern Österreich und Schweiz der Entlastung der Autobahnen von schweren Fernlastzügen.



Bild 1-6: Die „Rollende Landstraße“ im alpenquerenden Verkehr

Ein völlig anderes Konzept, Straßenfahrzeuge auf der Schiene zu befördern, ist der sogenannte **Trailerzug**. Die Grundlage bilden bimodale Sattelaufleger, die auf der Straße von normalen Zugmaschinen gezogen werden können. Mit Hilfe von speziellen Jacobs-Drehgestellen mutieren sie zu Schienenfahrzeugen, die im grundsätzlich artreinen Zugverband über Adapterwagen an den Enden von allen normalen Lokomotiven befördert werden können. Zur Aufnahme der dabei auftretenden Zug- und Druckkräfte sind erhebliche Verstärkungen des Rahmens der Auflieger erforderlich. Obwohl sich der Trailerzug in den USA bereits bestens bewährt hat, fasst er in Europa nur sehr zögerlich Fuß.



Bild 1-7: Sattelaufleger des Trailerzuges auf der Straße (l.) und auf der Schiene (r.)

Den bei weitem größten Anteil am kombinierten Verkehr bilden heute sowohl **Container** als auch **Wechselbrücken** und **Sattelaufleger**. Alle drei Verladeformen

können in Europa in denselben Umschlaganlagen zwischen Schiene und Straße umgesetzt werden.

Der erste Containerzug der DB startete am 5. Februar 1968 und leitete die Verbindung der Nordseehäfen Bremen und Hamburg mit den neuen Binnenterminals in Mannheim, Stuttgart und München ein. Anlass dazu waren die ersten Überseecontainer, die im Sommer 1966 im Bremer Hafen zur Versorgung der US-Ruppen in Deutschland angelandet und zunächst mit US-Straßen-Trailern transportiert wurden. Hieraus entwickelte sich der heutige Landtransport von Überseecontainern mit den genormten Längen von 20 Fuß (6,1m) und 40 Fuß (12,2m).



Bild 1-8: KLV-Zug mit Containern, Wechselbehältern und Sattelauflegern

Im europäischen Landverkehr dominiert der Wechselbehälter. Er ist im Prinzip ein abnehmbarer Fahrzeugaufbau, der durch einen Kran vom Lkw abgehoben und auf einem Güterwagen platziert werden kann.

Alternativ dazu kann auch der komplette Sattelanhänger per Kran auf den Güterwagen umgesetzt werden. Dazu ist der Auflieger „kranbar“ zu machen, und die Längsträger müssen zuvor zur Aufnahme der zusätzlichen Beanspruchungen verstärkt werden. Sein Fahrwerk ruht während der Fahrt in der Tasche, d.h. in einer passenden Vertiefung in der Plattform des Waggons.

1.3.3.3 Der Seehafenhinterlandverkehr

Heute werden allein auf dem deutschen Schienennetz jährlich etwa 30 Mio. t Güter mit Zügen des Kombinierten Verkehrs befördert – das entspricht dem Transportvolumen von mehr als 7000 Lkw-Fahrten täglich im deutschen Fernstraßennetz.



Bild 1-9: Containerschiff im Hafen Hamburg-Altenwerder bei der Entladung



Bild 1-10: Abfahrt eines Containerzuges im Hafen Hamburg-Altenwerder

Auf der Schiene besonders effizient gestaltet sich die Verbindung der deutschen Nordseehäfen mit dem Hinterland über Entfernungen von mehr als 300 km. Das

hohe Frachtaufkommen und ein Marktanteil der Schiene von 80% rechtfertigen hier den Einsatz fast täglich verkehrender Ganzzüge zu allen wichtigen Terminals im Binnenland. Dieses unter „Albatros Express“ vermarktete Konzept basiert auf festen Abfahrts- und Ankunftszeiten mit kurzen Laufzeiten. Spezielle Zugüberwachungen sorgen für einen hohen Pünktlichkeitsgrad der Züge und sichern eine zuverlässige Transportkette Hochseeschiff – Eisenbahn – Lkw.

Mit dem Albatros Express wird eine Symbiose zwischen Strasse und Schiene vollzogen. Für die Ferndistanzüberwindung werden optimal ausgenutzte Ganzzüge eingesetzt und für die Verteilung in der Fläche der LKW mit seinen hier bestehenden Vorteilen eingesetzt. Zur Auslastungsoptimierung der Züge werden speziell für diesen Zweck entwickelte Buchungs- und Steuerungssysteme eingesetzt.

1.4 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

1.4.1 Ursprüngliche Zielsetzung gemäß Forschungsantrag

Entscheidend für die Bearbeitung der vorliegenden Problemstellung ist die Fragestellung nach der technischen, juristischen und wirtschaftlichen Übertragbarkeit des vorliegenden, regionalen Transportkonzeptes CargoCap (s. Abschn. 1.3.2.3) auf die überregionalen Gütertransporte. Auf Grund der bisherigen Arbeiten und Forschungsergebnisse der Antragsteller war zu erwarten, dass durch die Einführung eines Transportsystems, das auf die besonderen Anforderungen der Gütertransporte eingeht und im Vergleich mit polyvalent nutzbaren Verkehrswegen (simultane Personen- und Gütertransporte) Kostenvorteile aufweist, Spezialisierungsvorteile mobilisiert werden können und die Belastung der bestehenden Verkehrssysteme deutlich verringert werden kann. Durch die Verbesserung der Erreichbarkeitsverhältnisse im Güterverkehr werden die Standortattraktivität sowie die Leistungsfähigkeit und damit letztendlich die Beschäftigungssituation in den erschlossenen Regionen gestärkt.

Grundlegend soll die Leistungsfähigkeit des CargoCap-Systems für Fernverkehre anhand eines Vergleichs mit den bestehenden Straßen- und Schienenverkehrssystemen vorgenommen werden. Hierfür ist zunächst die Planung des neuen Systems erforderlich. Der Vergleich wird unter der Maßgabe durchgeführt, dass die vorab ermittelte und von CargoCapContainer übernommene Transportleistung alternativ von dem Straßengüterverkehr einerseits und dem

Schienentransport andererseits übernommen werden soll. Hierdurch ergeben sich drei Fälle mit einer gleichwertigen Leistungsabgabe, die sich hinsichtlich ihrer Kosten gegenüber stellen lassen.

Da Investitionen im Verkehrssektor (insbesondere in die Verkehrsinfrastruktur) langfristige Folgen für zukünftige Verkehrsplanungen aufweisen und somit zu entsprechenden Entwicklungspfaden führen, müssen neben dem direkten Vergleich der Transportkosten auch die langfristigen Chancen und Risiken mit untersucht werden. Unter anderem spielt hierbei die Möglichkeit eine Rolle, wie das neue Transportsystem in den bestehenden Verkehrssektor integriert werden kann und welche Optionen sich daraus auch für andere Regionen ergeben (bspw. durch die Erweiterung des zunächst geplanten Netzes oder die Errichtung eines neuen Netzes). Zusätzlich kann durch die Errichtung des CargoCapContainer-Systems die Forschung und Entwicklung auch in den bestehenden Verkehrssystemen gefördert werden, indem hier technische Lösungen verwendet werden können, deren Einführung zunächst problematisch ist (bspw. neuartige Sicherheitskonzepte der Abstandsregelung).

1.4.2 Erweiterte Zielsetzung

1.4.2.1 Allgemeines

Während der anfänglichen Recherchen und der weiteren Bearbeitung des Projektes konnten neue Erkenntnisse über die Verkehrsströme auf den betrachteten Relationen und den zugehörigen Ladungs- und Beförderungsgefäßen gewonnen werden, die eine (kostenneutrale) Erweiterung der Zielsetzung des Forschungsvorhabens erforderten. Die vorgenommenen Modifizierungen sind in den nachfolgenden Unterabschnitten beschrieben und begründet.

1.4.2.2 Ausweitung der Ladeformen und Transportgefäße

Diese Zielsetzung beschränkte sich entsprechend dem Forschungsauftrag zunächst auf die Beförderung von Containern zwischen den Seehäfen Hamburg und Bremen/Bremerhaven einerseits und Duisburg im Ruhrgebiet andererseits.



Bild 1-11: Wechselbehälter mit Containergrundriss (l.) und Sattelaufleger im KLV-Zug (r.)



Bild 1-12: Wechselbrücken (LKW-Aufbauten) beim Umschlag (l.) und auf einem Eisenbahn-Tragwagen (r.)

Während der Bearbeitung des Projektes konnten allerdings neue Erkenntnisse über die Güterverkehrsströme auf der betrachteten Relation gewonnen werden. Insbesondere im Hinblick auf die Integrierbarkeit eines entsprechend angepassten CargoCapContainer-Systems in die logistische Struktur und in die technischen Randbedingungen des kombinierten Ladungsverkehrs (KLV) erforderten eine (kostenneutrale) Erweiterung der Zielsetzung des Forschungsvorhabens.

Die Bestimmung der auf das CargoCapContainer-System verlagerbaren Gütermengen unter der Berücksichtigung der gegenwärtigen Verkehrsträger ergab die Notwendigkeit, nicht nur die Beförderung von Containern, sondern auch anderer Transportbehälter zu untersuchen. Aus diesem Grund erfolgte eine Erweiterung der Zielrichtung des Forschungsvorhabens auf weitere Ladeformen des KLV, wobei alle gängigen Wechselbehälter und insbesondere Sattelaufleger einbezogen wurden.

Auf die Mitnahme der Zugmaschine bzw. auf die Beförderung ganzer LKW-Züge („Rollende Landstraße“) wurde allerdings verzichtet, da

- das Verhältnis von Zuggewicht zur Nutzlast sehr ungünstig ist und
- die Beförderung der zugehörigen Fahrer separat mit konventionellen Verkehrsmitteln oberirdisch durchgeführt werden müsste.

1.4.2.3 Konventionelle Güterzüge

Insbesondere der Transport der Sattelaufleger mit einer Eckhöhe von 4,0 m erfordert ein Lichtraumprofil (s. Bild 1-13), das die Grenzlinie G2 der konventionellen Eisenbahnen in Deutschland vollständig einschließt.

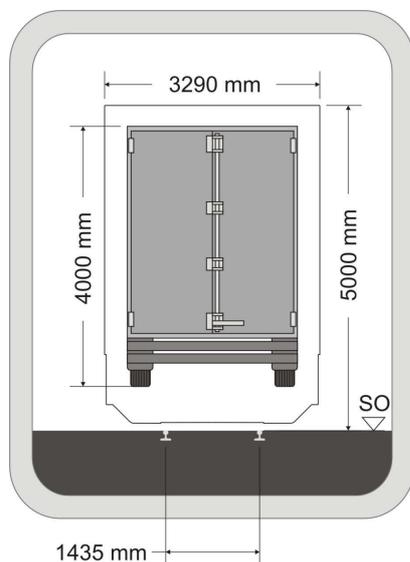


Bild 1-13: Sattelanhängers in erweiterter Grenzlinie

Aus diesem Grunde lag es nahe, die zu konzipierende Infrastruktur des CargoCapContainer-Systems ohne größeren Mehraufwand auf die optionale Durchleitung konventioneller Güterzüge auszulegen. Der gesamte Zugverband könnte bei einer Durchfahrt durch den CargoCapContainer-Tunnel bestehen bleiben. Lediglich das Triebfahrzeug müsste an die speziellen Anforderungen des führerlosen Betriebes und an die Energieversorgung mit 3 kV Gleichstrom per Stromschiene angepasst werden. Für die Konstruktion der CargoCapContainer-Lokomotiven bestehen zwei grundsätzliche Varianten:

1. Fertigung von speziellen Einsystem-Lokomotiven ausschließlich für den führerlosen Betrieb im CargoCapContainer-Tunnel, deren Hauptelemente aus den Baukästen der Tfz-Hersteller entnommen werden können oder
2. Ausrüstung von bestehenden Mehrsystem-Lokomotiven mit zusätzlichen Bauelementen für den führerlosen Betrieb und für die Stromabnahme per Stromschiene

Im ersten Fall müsste bei jedem Zug die Lokomotive sowohl vor als auch nach der Tunnelbenutzung gewechselt werden. Die Umspanndauer von jeweils ca. 15 bis 20 Minuten würde aber in der Regel durch die höhere Durchschnittsgeschwindigkeit im Tunnel gegenüber einer Fahrt über das überirdische Streckennetz kompensiert. Eine Möglichkeit, diese Betriebsaufenthalte zu minimieren, bestünde zudem darin, die konventionelle Lok im Tunnel abgebügelt am Zug zu belassen und die Tunnellok lediglich vorzuspannen.

Die zweite Alternative besteht in der Auslegung der Triebfahrzeuge sowohl für den Einsatz im CargoCapContainer-Tunnel als auch im konventionellen oberirdischen Eisenbahnnetz. Diese Loks müssten die folgenden Ausstattungsmerkmale besitzen:

- Energieversorgung sowohl mit 15 kV, 16,7 Hz Wechselstrom als auch mit 3 kV Gleichstrom
- Einrichtung für die Bedienung sowohl durch einen Tfz-Führer als auch für den automatischen (ferngesteuerten) Betrieb
- Stromabnahme sowohl über Fahrdrabt als auch über Stromschiene

Dazu sind keine grundsätzlichen Neuentwicklungen erforderlich. Derzeit existieren bereits in recht großen Stückzahlen Lokomotiven, die mit unterschiedlichen Stromsystemen fahren können, z.B. sowohl mit 15 kV und 16,7 Hz Wechselstrom auf dem Netz der DB AG in Deutschland als auch mit 3 kV Gleichstrom in den Landesnetzen von Belgien und Italien. Darüber hinaus ist bei der DB AG die automatische Ansteuerung bzw. Regelung der Lokomotiven bei Geschwindigkeiten über 160 km/h über LZB und AFB seit vielen Jahren üblich. Auch die Alternative Stromabnahme über Fahrdrabt oder Stromschiene wurde bereits beim TGV in England oder auch am Mont Chenis in den französischen Alpen erfolgreich

angewendet. In beiden Fällen lag der Grund in dem eingeschränkten Lichtraumprofil insbesondere in Tunneln.



Bild 1-14: Lokomotive mit alternativer Stromabnahme aus dem Fahrdrabt oder aus einer Stromschiene, Mont Chenis (F) 1970

Die Neuentwicklung bestünde somit lediglich in der Kombination der drei zusätzlichen Anforderungen an die Lokomotivkonstruktion.

Die Option der Durchleitung konventioneller Güterzüge wurde in den weiteren Untersuchungen bei der Auslegung der Infrastruktur zwar in technischer Hinsicht berücksichtigt, positive ökonomische Effekte durch eine etwaige Senkung der Betriebskosten und die Entlastung der oberirdischen Infrastruktur blieben aber im Rahmen dieser Studie unberücksichtigt.

1.4.2.4 Netzvarianten

Die gemäß dem Forschungsauftrag zu untersuchenden Verkehrsrelationen beinhalteten die Seehäfen Hamburg, Bremen und Bremerhaven einerseits und dem LogPort in Duisburg andererseits. Im Rahmen der Ermittlung des relevanten und verlagerbaren Güterverkehrsaufkommens sowie des Entwurfs verschiedener Netze konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die zu erwartenden Gütermengen von und nach Bremerhaven sind im Vergleich zu Hamburg und Bremen so gering, dass für die weiteren Untersuchungen auf die Berücksichtigung der Stichstrecke von Bremen nach Bremerhaven verzichtet wurde.
- Die linksseitige Positionierung des Endpunktes Duisburg-LogPort machte eine

weitere (rechtsrheinische) Station im mittleren Ruhrgebiet zur Bedienung des gesamten Ballungsraumes erforderlich. Aus diesem Grunde wurde als weitere Station Bochum-Langendreer festgelegt, wo ein inzwischen stillgelegter und noch nicht anderweitig genutzter Containerbahnhof angefahren werden kann.

- Die Anbindung des Rheinlandes und des Raumes Hagen ließ zusätzliche Gütermengen erwarten, so dass in einer alternativen Untersuchung auch die Bedienung der Güterbahnhöfe Köln-Eifeltor und Hagen-Vorhalle berücksichtigt wurde. Diese Endpunkte spielen insbesondere im hier nicht näher untersuchten Fall der Durchleitung konventioneller Güterzüge eine herausragende Rolle, da über diesen Weg die Rhein- und die Ruhr-Sieg-Strecke eine günstige Einfahrmöglichkeit in den CargCap-Tunnel erhalten.

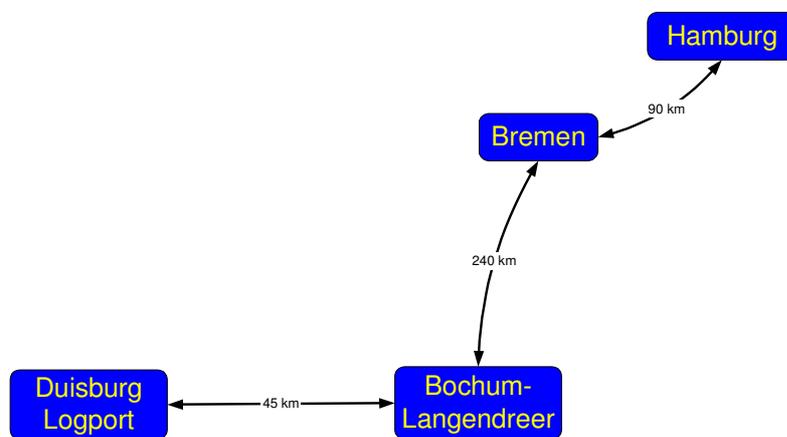


Bild 1-15: Untersuchte Netzvariante: Enges Netz (Variante G)

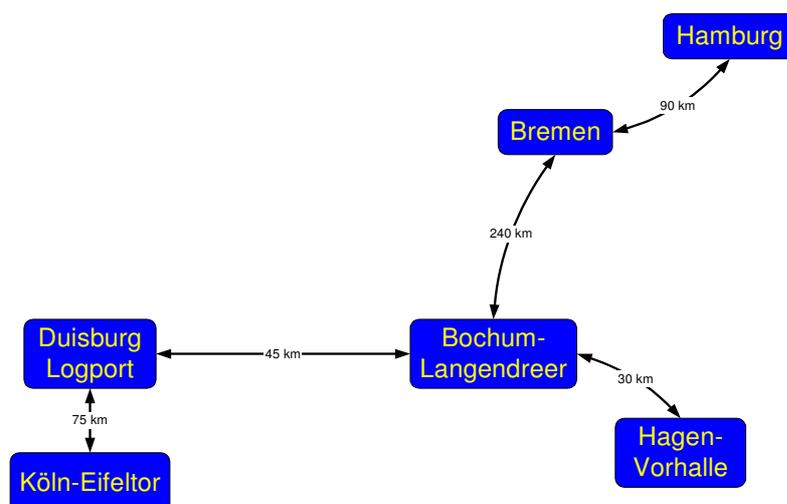


Bild 1-16: Untersuchte Netzvariante: Weites Netz (Variante E)

In Erweiterung des Forschungsauftrages wurden zwei Netzvarianten näher untersucht. Das Bild 1-15 zeigt das enge Netz mit den Seehäfen in Hamburg und Bremen sowie den Stationen Bochum-Langendreer und Duisburg-LogPort im Ruhrgebiet. Bremerhaven bleibt für die weiteren Betrachtungen unberücksichtigt. Das weite Netz (Bild 1-16) beinhaltet zusätzlich die Anbindung von Köln-Eifeltor und Hagen-Vorhalle.

2 Technisches Konzept

2.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Unterabschnitte fassen die technische Konzeptionierung des CargoCapContainer-Systems für den intermodalen Güterfernverkehr mit den folgenden Hauptuntersuchungsgebieten zusammen:

- Betriebskonzept mit der Entwicklung eines grundsätzlichen Strecken-Layouts
- Umschlagsystem in den Terminals
- bauliche Anlagen mit der Entwicklung des Tunnelquerschnitts, der Trassierung und der Energieversorgung
- mechanische und elektrische Fahrzeugauslegung

Grundsätzlich werden im Rahmen der vorliegenden Zusammenfassung ausschließlich die Ergebnisse der Forschungsarbeiten präsentiert. Die umfangreichen Untersuchungen von alternativen Systemen und die jeweilige vergleichende Bewertung der Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit sind in den jeweiligen Einzelberichten umfassend dargestellt.

2.2 Betriebskonzept

2.2.1 Vorgehensweise

Betriebskonzepte für Schienenbahnen müssen in der Regel auf der Basis eines bereits existierenden Streckennetzes mit seinen Verkehrs- und Betriebsstationen erstellt werden. Bauliche Anpassungen sind meist nur in einem eng begrenzten Umfang möglich.

Im vorliegenden Fall bietet sich dagegen die einzigartige Möglichkeit, die Infrastruktur den verkehrlichen und betrieblichen Anforderungen nicht nur anzupassen sondern bereits entsprechend zu planen. Damit kann mit dem Ziel einer Minimierung der Investitions- und Betriebskosten zunächst ein optimales Betriebskonzept entworfen werden, das die Dimensionierung und Positionierung der baulichen Anlagen definiert.

2.2.2 Grundlagen

Die Durchführung sämtlicher Transportleistungen im CargoCapContainer-System soll definitionsgemäß mit autarken Kapseln durchgeführt werden, die jeweils mit allen

Antriebs- und Steuereinrichtungen ausgestattet sind, um als Einzelfahrzeuge uneingeschränkt einsatzfähig zu sein. Bei Bedarf können aber auch zwei oder mehrere Fahrzeuge mechanisch oder virtuell zusammengekuppelt werden und so einen Zugverband bilden, dessen Länge flexibel an die zu erbringende Beförderungsleistung angepasst werden kann.

Diese Flexibilität erfordert ein Betriebskonzept, das sich ebenso flexibel an die unterschiedlichen Beförderungsmengen und Zuglängen anpasst. Dabei wurden in Abstimmung zwischen den Forschungspartnern die nachfolgenden disziplinübergreifenden Parameter festgelegt:

- Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge: 80 km/h
- Beschleunigungsvermögen: $0,5 \text{ m/s}^2$
- Bremsverzögerung: $0,5 \text{ m/s}^2$

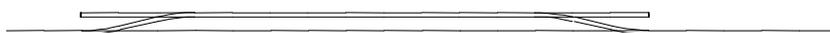
Die Selektion des Grundkonzeptes für die Betriebsführung umfasste zunächst drei alternative Betriebskonzepte inkl. der zugehörigen Grobplanung der Infrastruktur:

- Variante A: Einzelspur mit Kreuzungsstationen
- Variante B: Einzelspur mit Doppelspurabschnitten
- Variante C: Durchgehende Doppelspur mit Überleitstellen

Phase 1: Einzelspur mit Kreuzungsstationen



Phase 2: Einzelspur mit Doppelspurinsel



Phase 3: Durchgehende Doppelspur mit Spurwechsel



Bild 2-1 Betriebliche Grundformen

Wie das Bild 2-1 verdeutlicht, besteht bei der einfachsten Lösung einer Einzelspur mit Kreuzungsstationen (Phase 1) eine problemlose Erweiterbarkeit auf eine

Einzelspur mit Doppelspurinseln durch die Verlängerung der Kreuzungsstation (Phase 2). Dieses System lässt sich wiederum durch eine Verbindung der Nebengleise zu einer durchgehenden Doppelspur (Phase 3) erweitern. Damit ist zu jeder Zeit die Anpassungsfähigkeit an möglicherweise wachsende Transportmengen gegeben.

Bewertungskriterien für die Vorauswahl des Betriebskonzeptes für die vorliegende Beförderungsaufgabe waren insbesondere

- Beförderungsdauer (Durchschnittsgeschwindigkeit),
- Beförderungsqualität (Betriebsstabilität) und
- Kostenschätzungen für die jeweils notwendige Infrastruktur.

Dabei zeigte sich, dass die erforderliche Beförderungsleistung mit einer Einspurstrecke mit Doppelspurabschnitten problemlos erbracht werden kann, wenn jeweils mehrere Kapseln gebündelt verkehren, d.h. zu einem Zugverband zusammengefasst werden. Eine durchgehende Doppelspur mit entsprechend hohen Investitionskosten (Variante A) ist für die vorliegende Beförderungsaufgabe nicht unbedingt erforderlich.

Tabelle 2-1: Rohbaukosten der technischen Varianten im Vergleich

Technische Variante	Erläuterungen	Durchschnittsgeschwindigkeit (in km/h)	Wartezeit (in Min)	Rohbaukosten (in EUR/m)	Doppelspuranteil
EBO-01	Durchgehende Doppelspur	79,1	4,0	31.374,0	100,0%
EBO-02	Einzelspur mit Doppelspurinseln für beide Linien	79,1	9,2	24.433,0	44,5%
EBO-03	Einzelspur mit Doppelspurinseln für Güterzüge und Kreuzungsstationen für CCC	55,0	9,7	22.842,0	28,9%
EBO-04	Einzelspur mit Kreuzungsstationen für beide Systeme	48,3	9,7	20.964,0	15,9%
CCC-01	Durchgehende Doppelspur	79,8	2,0	21.527,0	100,0%
CCC-02	Einzelspur mit Doppelspurinseln	79,8	9,1	14.514,0	17,9%
CCC-03	Einzelspur mit Kreuzungsstationen	70,5	9,6	13.244,0	3,0%

Die Tabelle 2-1 zeigt die in die Bewertung einbezogenen technischen Varianten mit ihren charakterisierenden Parametern und den vorab geschätzten Rohbaukosten pro Meter Streckenlänge. Dabei bezeichnen die Varianten CCC-01 bis CCC-03 Systeme mit einem Tunnelquerschnitt, der lediglich einen Transport von Containern zulässt.

Bei den Varianten EBO-01 bis EBO-04 sind auch die Beförderung von Sattelauflegern und die Durchschleusung konventioneller Güterzüge möglich.

Der Betrieb auf einer Einspurstrecke benötigt in regelmäßigen Abständen doppelspurige Kreuzungsabschnitte, in denen sich die Züge mit unterschiedlicher Fahrtrichtung begegnen können. Dabei gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Methoden der Betriebsabwicklung. Bei der konventionellen Eisenbahn sind meist in regelmäßigen Abständen Kreuzungsstationen angeordnet, die nur wenig länger sind als die längsten auf der jeweiligen Strecke verkehrenden Züge. Bei einer Begegnung muss einer der Züge im Ausweichgleis anhalten, um den Gegenzug passieren zu lassen. Ein Kreuzungsaufenthalt dauert mehrere Minuten und bewirkt in Verbindung mit den Brems- und Beschleunigungsphasen eine erhebliche Verringerung der Durchschnittsgeschwindigkeit.

Eine wesentlich elegantere Lösung besteht in der Anordnung von Doppelspurinseln, in denen sich zwei Züge begegnen können ohne anzuhalten oder auch nur ihre Geschwindigkeit zu reduzieren. Die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Züge ist dabei identisch mit derjenigen bei einer durchgehenden Doppelspur. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h und einer maximalen Zuglänge von 750 Metern (34 Kapseln) ergab die theoretische Berechnung unter der Berücksichtigung des Anhalteweges für den Notfall (z.B. Ausfall eines Weichenmotors) und Zeitreserven zum Ausgleich von Synchronisierungsfehlern eine Länge des Doppelspurabschnittes von ca. 3 Kilometern. Die im IVE durchgeführte Simulation des Betriebsablaufes ergab sogar ein stabiles Verhalten des Gesamtsystems bis zu einer minimalen Länge des Doppelspurabschnittes von 2700 m.

Dieses Betriebskonzept stellt die folgenden zwei Hauptanforderungen an die Betriebsabwicklung und an die Infrastruktur:

- Taktfahrplan, d.h. die Züge verkehren in einem regelmäßigen Abstand. Die Beförderungskapazität wird über die Zuglänge gesteuert, die zwischen keiner Kapsel (Trasse bleibt frei) und 34 Kapseln variieren kann.
- In exakt definierten, regelmäßigen Abständen sind Doppelspurabschnitte anzuordnen.

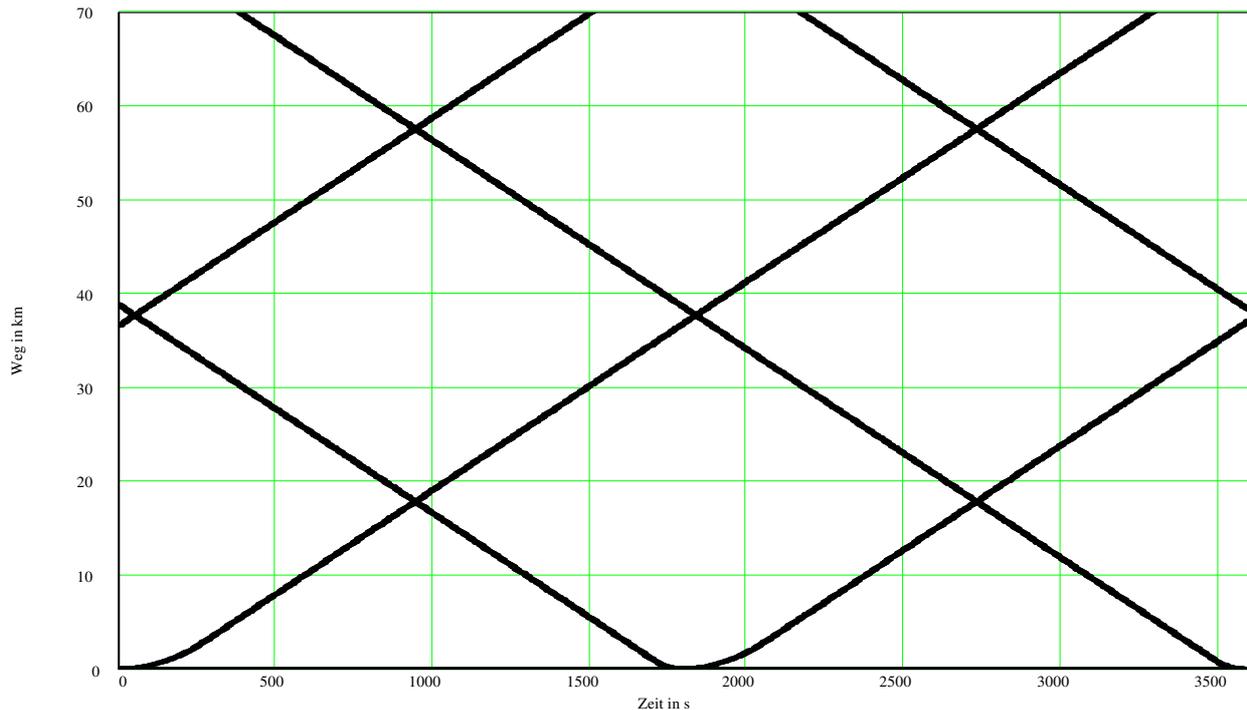


Bild 2-2 Bildfahrplan für einen 30-Minuten-Takt

Alle Züge verkehren auf einer zuvor festgelegten Fahrplantrasse, d.h. sie folgen einer definierten Linie im Zeit- Wegdiagramm. Diese Linien verlaufen parallel zueinander im Abstand der Taktzeit, d.h. dem zeitlichen Abstand von zwei aufeinanderfolgenden Zügen (horizontaler Abstand der Linien). Der räumliche Abstand der Züge ergibt sich aus dem in dieser Zeitspanne zurückgelegten Weg und kann als vertikaler Abstand aus dem Diagramm abgelesen werden.

Im Bild 2-2 ist ein räumlicher und zeitlicher Ausschnitt aus einem Bildfahrplan mit einem 30 Minuten-Takt und einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h dargestellt. Die Positionen, an denen sich die Linien kreuzen, sind die Begegnungsstellen (Kreuzungsstellen) der beteiligten Züge. Es zeigt sich ein regelmäßiges Muster, in dem die Kreuzungsstellen sowohl räumlich als auch zeitlich einen gleichmäßigen Abstand haben. Dies bedeutet, dass bei einem 30 Minuten-Takt und einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h die Doppelspurabschnitte ausnahmslos in einem Abstand von 20 Kilometern angeordnet werden müssen.

Bei einem 30 Minuten-Takt können unter diesen Voraussetzungen 68 Kapseln pro Stunde und Richtung verkehren, was einer Kapazität von 68 Sattelaufliegern oder 40-Fuss-Containern bzw. 136 20-Fuss-Containern entspricht.

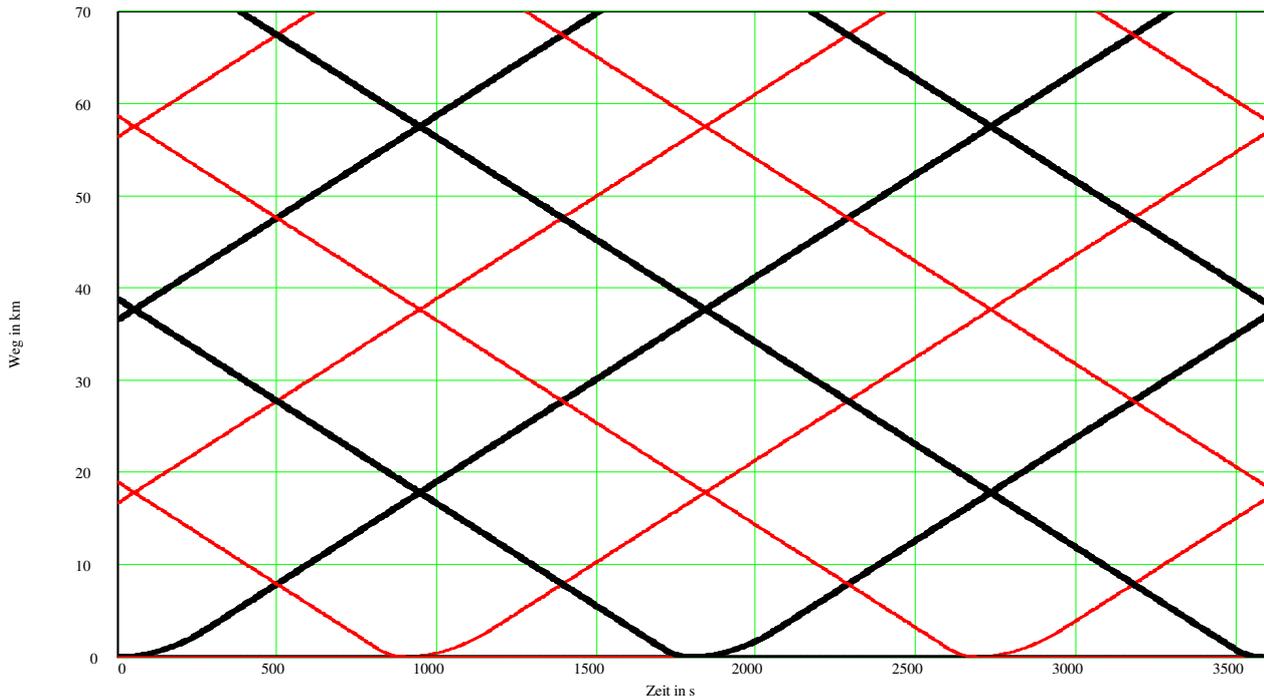


Bild 2-3 Bildfahrplan für eine Verdichtung auf einen 15-Minuten-takt

Eine Leistungssteigerung kann durch eine Erhöhung der Zugdichte und einer Verringerung der Taktzeit erreicht werden. Das Bild 2-3 zeigt eine Verdoppelung der Zugdichte und eine daraus resultierende Halbierung der Taktzeit auf 15 Minuten. Die zusätzlichen (rot dargestellten) Züge begegnen sich untereinander exakt an denselben Stellen wie die Züge des ursprünglichen 30-Minuten-Taktes, d.h. sie benutzen dieselben Doppelspurabschnitte zu einem jeweils um 15 Minuten versetzten Zeitpunkt. Die Begegnung der zusätzlichen (roten) Züge mit den ursprünglichen (schwarzen) Zügen findet exakt auf der halben Strecke zwischen zwei Doppelspurabschnitten statt. Dies bedeutet, dass eine Erhöhung der Zugdichte um ein ganzes Vielfaches eine um denselben Faktor größere Anzahl von Doppelspurabschnitten erfordert, worin die vorhandenen Doppelspuren automatisch integriert sind. Weitere Umbaumaßnahmen sind nicht erforderlich. Dieses Verfahren lässt sich so lange fortsetzen, bis die Doppelspurabschnitte zu einer durchgehenden Doppelspur „zusammengewachsen“ sind.

Damit ist die problemlose Erweiterbarkeit der Infrastruktur in Anpassung an eventuell steigende Gütermengen ohne Umbaumaßnahmen gewährleistet.

Den weiteren Untersuchungen wurde die Variante EBO-02 gemäß Tabelle 2-1 zugrunde gelegt.

2.3 Terminalgestaltung

Ein mögliches Terminallayout kann auf Basis des im Zuge der Fahrzeugkonzeption gewählten Umschlagsprinzips nach dem Konzept CargoBeamer® (vgl. Kapitel 2.5.3.1) allerdings ohne Berücksichtigung der am jeweiligen Standort herrschenden Umgebungsbedingungen entworfen werden.

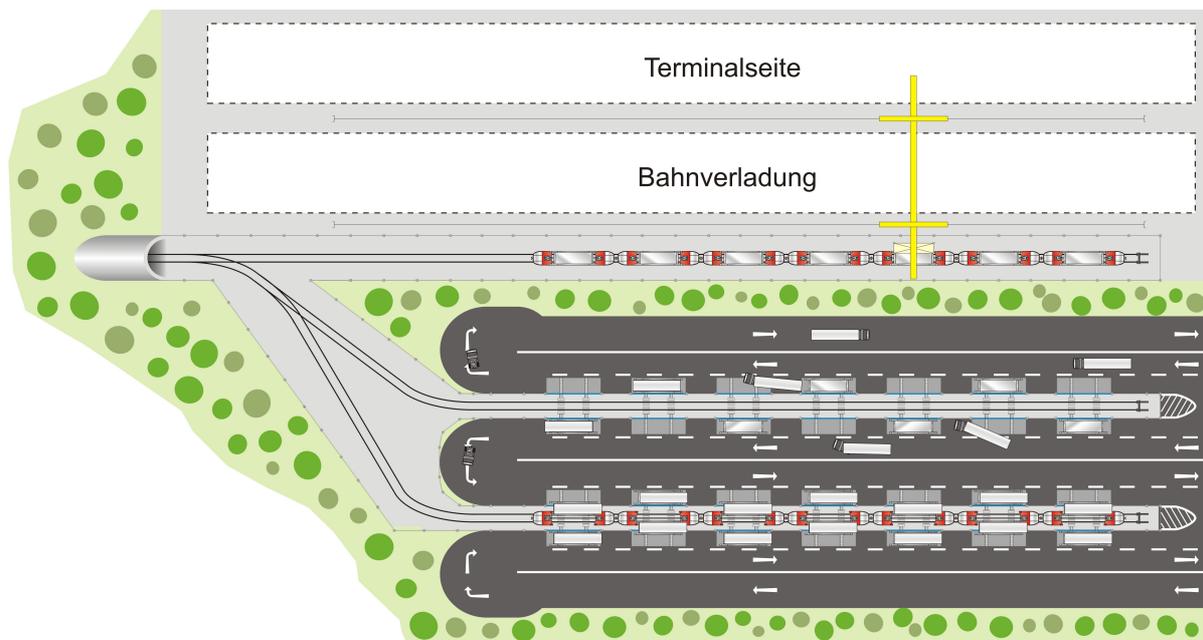


Bild 2-4 Terminallayout - Prinzip

Bild 2-4 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Terminals mit örtlich getrenntem Umschlag von Containern bzw. Wechselbehältern und Sattelanhängern.

Der Umschlag von Containern und Wechselbehältern erfolgt mittels eines Krans und kann beispielsweise in die bestehende Logistik eines im kombinierten Verkehr agierenden Terminals, wenn die örtlichen Gegebenheiten und die logistischen Kapazitäten es erlauben, eingebunden werden. In Bild 2-4 ist diese Möglichkeit in Form eines parallel zu den vom Schienengüterverkehr genutzten Gleisen (Bahnverladung) zusätzlich verlegtes Gleise für die Transportfahrzeuge und einer Erweiterung des Portalkranes um einen Ausleger dargestellt.

Ebenfalls in der Abbildung zu sehen ist der Aufbau des Lkw-Umschlagsbereichs. Die für die Transportfahrzeuge verlegten Schienen sind leicht versenkt in die sie umgebende asphaltierte Fläche eingelassen. Im Falle des automatischen Fahrbetriebs des Transportsystems im Umschlagsbereich, d.h. bei Abfahrt oder

Ankunft eines Fahrzeugs oder Fahrzeugverbandes, verhindern die Umzäunung des Fahrwegs und elektrisch betriebene Rolltore oder -zäune an den Umschlagspositionen ein Betreten des automatischen Bereichs. Zusätzlich kann durch weitere Sicherheitseinrichtungen wie etwa optische Personen- und Objekterkennungssysteme verhindert werden, dass sich Personen im Gefahrenbereich aufhalten. Zu beiden Seiten eines jeden Schienenstrangs befinden sich an definierten Positionen jeweils mit einer Hub- und Verschiebeeinrichtung ausgestattete Abstellplätze für die befahrbaren Lademodule.

Bild 2-5 zeigt den Ablauf eines Verladevorgangs. Pro Umschlagsposition steht zu jedem Zeitpunkt ein leeres Lademodul (Bild 2-5 – 1) bereit, um einen Sattelanhänger aufzunehmen. Die Lkw-Fahrer füllen die Lademodule vom in Abfahrtsrichtung am Verladegleis vordersten Modul ausgehend (vgl. mittleres Gleis in Bild 2-4) mit Sattelanhängern auf (Bild 2-5 – 2, 3 und 4). Während die Sattelzugmaschinen und die Fahrer somit direkt neuen Transportaufgaben zur Verfügung stehen – beispielsweise kann ein im Transportsystem angelieferter Sattelanhänger direkt abgeholt werden – verbleiben die Sattelanhänger auf den Lademodulen bis der nächste Fahrzeugverband eintrifft. Nach Ankunft eines Fahrzeugverbandes wird die Zufahrt zu den Umschlagspositionen versperrt und der Verladebereich geräumt. Der seitliche Umschlag der Lademodule von den Fahrzeugen auf die freie Seite der Umschlagsstelle (Bild 2-5 – 6) und die anschließende Verladung der sich in Warteposition befindenden Sattelanhänger (Bild 2-5 – 7) kann nun sowohl halbautomatisch und vom Terminalpersonal überwacht als auch vollautomatisch erfolgen. Im zweiten Fall ist durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu verhindern, dass sich Personen im Aktionsbereich der Umschlagsstelle befinden, was wiederum beispielsweise durch optische Überwachungssysteme realisiert werden kann.

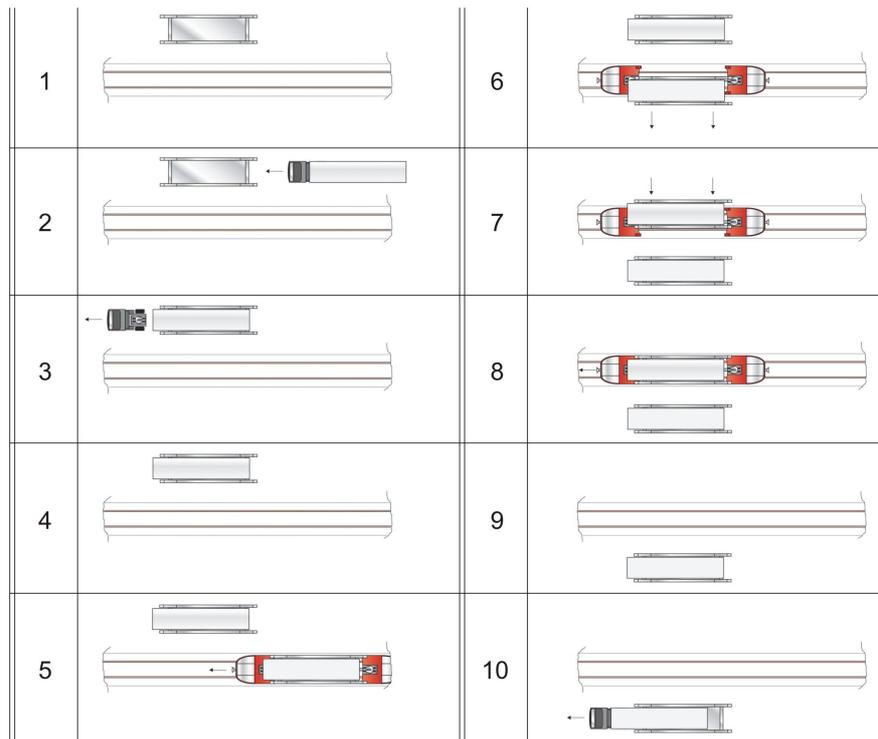


Bild 2-5 Ablauf eines Verladevorgangs

Aufgrund der im Vergleich zum vertikalen Umschlag mittels Krananlagen erheblich geringeren Gesamtumschlagszeit für alle Lademodule kann der Umschlagsbereich bereits nach kurzer Zeit wieder für das Befahren freigegeben werden. Stehen die Fahrer mit ihren Sattelzugmaschinen bereit, können Sie ihre Sattelanhänger direkt vom Lademodul abholen. Sattelanhänger die Lademodule blockieren und nicht direkt abgeholt werden, werden mit terminaleigenen Sattelzugmaschinen auf einer gesonderten Parkfläche abgestellt.

2.4 Bauliche Anlagen

2.4.1 Streckenführung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie war eine Streckenführung für CargoCapContainer zu entwickeln, die den Hamburger, den Bremer und den Duisburger Hafen sowie das Containerterminal Bochum - Langendreer miteinander verbindet.

Dazu wurden zunächst Trassierungsgrundsätze für die Festlegung des Streckenverlaufs definiert. Vor dem Hintergrund dieser Grundsätze wurden unterschiedliche Trassenführungsmöglichkeiten entwickelt und bewertet; darauf

aufbauend wurden Trassierungsvarianten aufgestellt und die geeignetste Variante ausgewählt.

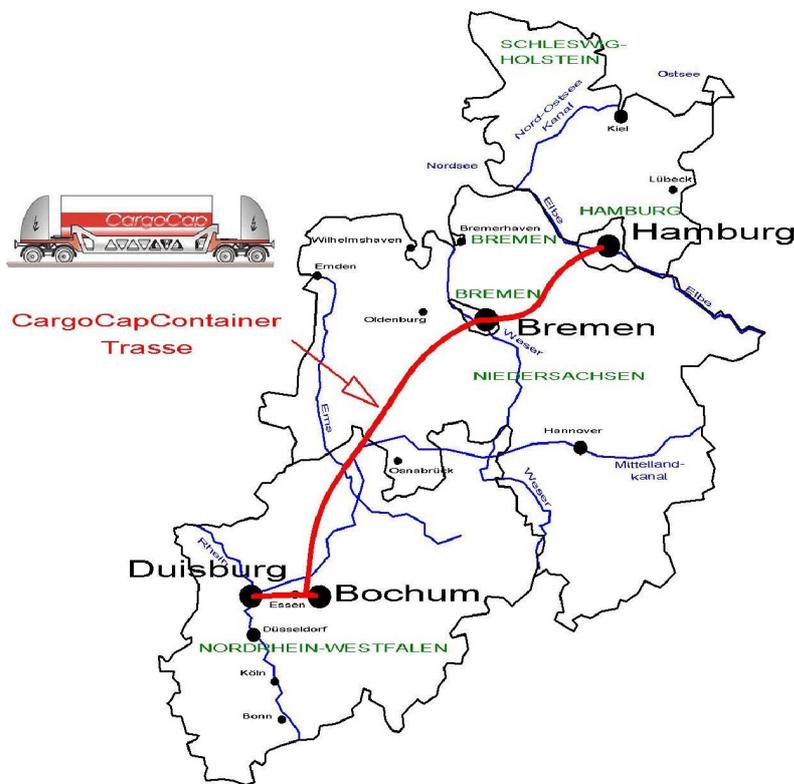


Bild 2-6: Grobe Streckenführung

Auf Grundlage der gewählten Trassierungsvariante erfolgte dann die Planung einer Strecke für CargoCapContainer, die für die Weiterverarbeitung beispielhaft im Rahmen der Kostenabschätzung modularisiert wurde.

2.4.1.1 Trassierungsgrundsätze für den Streckenverlauf

Um einen möglichst geeigneten Streckenverlauf festzulegen, wurden zunächst Trassierungsgrundsätze definiert, auf deren Basis eine Entwicklung, Bewertung und Auswahl von Trassierungsvarianten möglich ist.

Diese Grundsätze sind technischer, ökonomischer und juristischer Art.

Die **technischen Trassierungsgrundsätze** sollen gewährleisten, dass der Streckenverlauf mit angemessenem technischen Aufwand realisierbar ist und dass er den technischen Anforderungen von CargoCapContainer gerecht wird. Sie dienen

zudem als gemeinsame Schnittstelle zum Forschungspartner Maschinenbau. Bei den technischen Rahmenbedingungen handelt es sich im einzelnen um:

- maximale Steigung 1,25 %,
- minimaler Krümmungsradius 1000 m,
- festes Raster einspuriger und zweispuriger Streckenabschnitte in Abhängigkeit der Taktzeit im Betrieb (siehe Abschnitt 2.2).
- Bauwerksbreite (innen): ca. 7 m bei Einzel- und ca. 10 m bei Doppelspur (siehe auch Abschnitt 2.4.3.2)

Die technischen Rahmenbedingungen ergeben sich vor allem aus den betrieblichen Anforderungen von CargoCapContainer.

Wichtige **ökonomische Trassierungsgrundsätze** sind:

- eine möglichst direkte Linienführung,
- die Minimierung aufwändiger Bauwerke (z.B. schwierige Kreuzungsbauwerke),
- die Ausführung aufwändiger Bauwerke möglichst in einspuriger Bauweise,
- möglichst wenige Abschnitte in geschlossener (unterirdischer) Bauweise,
- eine möglichst geringe Beanspruchung kostenintensiver Flächen (z.B. innerstädtische Gebiete, etc.),
- eine möglichst geringe Beanspruchung von Flächen mit besonderer ökologischer Bedeutung,
- möglichst geringe Störungen in der Bauphase insbesondere von sensiblen Bereichen (z.B. Hauptverkehrsadern)

Über die Berücksichtigung dieser Anforderungspunkte werden schon bei der Entwicklung von Trassierungsvarianten die Baukosten und die Kosten für die benötigten Flächen möglichst begrenzt.

Um den juristischen Aufwand den Umständen entsprechend relativ gering zu halten müssen die folgenden **juristischen Trassierungsgrundsätze** berücksichtigt werden:

- Vorzugsweise Linienführung unter öffentlichen Grundstücken,
- Beanspruchung von möglichst wenig Gelände, das unter vielen verschiedenen

Eigentümern gestreut ist.

- Keine Längsquerung bzw. Linienführung unter Bundesautobahnen und Eisenbahnen.

Indem eine Konzentration auf öffentliches Gelände stattfindet und nur in Einzelfällen die Nutzung von Privateigentum erfolgt, soll der rechtliche Aufwand für die Beschaffung der erforderlichen Flächen gering gehalten werden.

Die Linienführung von CargoCapContainer unterhalb von Bundesautobahnen und Eisenbahnen (Längsquerung) ist aufgrund deren Widmung unzulässig.

Die o.g. Grundsätze technischer, ökonomischer und juristischer Art sollen zunächst bei der Bewertung der unterschiedlichen Trassenführungsmöglichkeiten (siehe Abschnitt 2.4.1.2) und danach bei der Aufstellung, Bewertung und Auswahl der Streckenführungsvarianten berücksichtigt werden.

2.4.1.2 Trassenführungsmöglichkeiten

Für CargoCapContainer bestehen mehrere grundsätzliche Möglichkeiten einer Trassenführung. Die wesentlichen Varianten

- Verlegung unterhalb von Straßen verschiedener Kategorien,
- Verlegung unterhalb stillgelegter Bahnstrecken und
- Verlegung im verkehrsträgerfreien Gelände

weisen unterschiedliche Eigenschaften auf, die sie für eine Trassierung mehr oder weniger geeignet machen.

Im folgenden werden die spezifischen Eigenschaften und die damit verknüpften Vor- und Nachteile der o.g. Trassenführungsmöglichkeiten dargestellt.

2.4.1.2.1 Trassenführung unter Straßen

Eine Führung der Trasse von CargoCapContainer unter bestehenden Straßen bietet mehrere grundsätzliche Vorteile, die je nach der Form der jeweiligen Straße unterschiedlich ausgeprägt sind.

Das wesentliche Kriterium, das für eine Verlegung von CargoCapContainer unterhalb von Straßen spricht, ist die Möglichkeit der Nutzung zusammenhängenden

öffentlichen Geländes: So kann weitgehend vermieden werden, dass mit vielen privaten Eigentümern Verhandlungen geführt werden müssen. In der Regel ist lediglich die Abstimmung mit dem Straßenbaulastträger nötig und nur dort, wo die Kurvenradien der Straßen nicht ausreichen, sind zusätzliche Flächen anderer Eigentümer erforderlich.

Da an der Oberfläche keine Gebäudebebauung vorliegt, eignen sich Straßen in der Regel für die kostengünstigere offene Bauweise (siehe Abschnitt 0) bei der die Röhre von CargoCapContainer in einem offenen Graben erstellt wird. Lediglich in Kreuzungsbereichen kann es teilweise erforderlich werden, dass die Trasse in geschlossener Bauweise, d.h. mit unterirdischen Bauverfahren (siehe Abschnitt 0), hergestellt werden muss.

Durch die Nutzung des Straßenraumes werden ökologisch und landschaftlich wertvolle Flächen möglichst gering beansprucht. Teilweise ist darüber hinaus im Zuge der Baumaßnahme eine Wiederintegration der bestehenden Straßen in das Landschaftsbild denkbar.

Sowohl in der Bauphase als auch im späteren Betrieb bietet die Straße eine Zuwegung einerseits zur Baustelle und andererseits zu Einstiegsbauwerken. So werden zusätzliche Erschließungsmaßnahmen vermieden.

Bei untergeordneten Straßenkategorien sind aufgrund der geringen Breite in Verbindung mit z.T. engen Kurven die o.g. Vorteile einer Verlegung unter Straßen nicht vollständig vorhanden: Um den zulässigen Minimalradius von 1000 m einzuhalten, muss hier auf Gelände ausgewichen werden, das nicht zur Straße gehört und damit ggf. weniger gute Eigenschaften aufweist.

Die Beeinträchtigung des Straßenverkehrs in der Bauphase stellt eine wesentliche Problematik der Verlegung unter Straßen dar, deren Ausprägung in Abhängigkeit von Breite und Verbindungsfunktion der jeweiligen Straße mehr oder weniger stark ist.

Eine Verlegung unter Straßen bietet damit die folgenden prinzipiellen **Vorteile**:

- Direkte Linienführung (in Abhängigkeit der Straßenkategorie),
- Nutzung zusammenhängender öffentlicher Flächen,
- Eignung für die kostengünstige offene Bauweise,

- Geringe Beanspruchung von Flächen mit besonderer ökologischer Bedeutung,
- Gute Verkehrsanbindung in der Bauphase,
- Gute Erschließbarkeit für Einstiegsbauwerke.

Dem stehen die folgenden Punkte als **Nachteile** gegenüber:

- Bei untergeordneten Straßenkategorien geringe Breite in Verbindung mit z.T. engen Kurven,
- Beeinträchtigung des Straßenverkehrs in der Bauphase.

Im folgenden sollen unterschiedliche für das Untersuchungsgebiet typische Kategorien von Straßen mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen vorgestellt werden.

2.4.1.2.2 Wirtschaftswege

Prinzipiell ist eine Verlegung der CargoCapContainer - Trasse unterhalb von Wirtschaftswegen möglich. Es kommen insbesondere solche Wirtschaftswege in Frage, die weitgehend gerade verlaufen. Bild 2-7 zeigt solche Wege mit geradem Verlauf.

Wirtschaftswege zeichnen sich gegenüber anderen Straßen durch ihre geringere Breite und ihr besonders geringes Verkehrsaufkommen aus.

Die geringere Breite macht in der Bauphase die Nutzung von Gelände erforderlich, das nicht zur Straße und damit nicht zum öffentlichen Straßenraum gehört. So ist denkbar, dass eine gesonderte Baustraße auf angrenzenden Grundstücken erstellt werden muss. Für die spätere Betriebsphase ist die zur Verfügung stehende Breite vielfach ausreichend bzw. fast ausreichend.

Aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens ist in der Regel eine Vollsperrung der Wirtschaftswege in der Bauphase möglich. Gegebenfalls können für einzelne Gehöfte Behelfsstraßen erforderlich werden. Durch die Vollsperrung der Wirtschaftswege wird die Herstellung der CargoCapContainer - Trasse in der kostengünstigeren offenen Bauweise möglich.

Wirtschaftswege bieten damit die Vorteile:

- Mindestens teilweise Nutzung öffentlichen Geländes,

- Direkter, geradliniger Trassenverlauf,
- Sehr geringe Verkehrsbeeinträchtigung.

Es muss allerdings mit den folgenden Nachteilen gerechnet werden:

- Beanspruchung auch nicht-öffentlichen Geländes,
- Eingeschränkte Erschließbarkeit in der Bauphase.



Bild 2-7: Trassenführung unter Wirtschaftswegen

2.4.1.2.3 Straßen mit parallel verlaufenden Radwegen

Eine typische Straßenform in Norddeutschland sind Straßen mit parallel verlaufenden Radwegen (siehe Bild 2-8). Für die CargoCapContainer - Trasse sind solche Straßen insbesondere durch ihre große Gesamtbreite (üblicherweise über 12 m bis 18 m, teilweise im Bereich von 30 m) und das im Vergleich dazu geringe Verkehrsaufkommen besonders geeignet.

In der Regel kann die CargoCapContainer - Trasse unter dem Radweg in offener Bauweise erstellt werden. Der meist geringe Fahrradverkehr kann mit entsprechenden Verkehrslenkungsmaßnahmen während der Bauzeit über die Fahrbahn umgeleitet werden.

Falls die Breite von Fahrradweg und Grünstreifen nicht ausreichend ist, kann der angrenzende Fahrstreifen ebenfalls für CargoCapContainer genutzt werden, indem der Verkehr je nach Belastung entweder richtungsweise auf einem Fahrstreifen geführt oder für eine Richtung umgeleitet wird.

In der Bauphase ist normalerweise keine zusätzliche Baustraße erforderlich, da der wesentliche Baustellenverkehr bei der offenen Bauweise durch die Baugrube selbst geleitet werden kann.

Über die Straße ist eine einfache Erschließung von Zugangsbauwerken für die Betriebsphase möglich.



Bild 2-8: Trassenführung unter Straßen mit Radweg

Zusammenfassend sind die folgenden Vorteile für eine Verlegung unter Straßen mit seitlichem Radweg vorhanden:

- Geringe Störung des Straßenverkehrs,
- Weitgehende Nutzung öffentlichen Geländes,
- Offene Bauweise möglich,
- Zuwegung in der Bauphase,
- Erschließung für Zugangsbauwerke in der Betriebsphase.

Der wesentliche Nachteil einer Nutzung solcher Straßen ist trotz des zumeist nur mäßigen Fahrzeugverkehrs dessen Beeinträchtigung in der Bauphase.

2.4.1.2.4 Straßen mit lokaler Bedeutung ohne Radweg

Straßen mit Radweg sind in Norddeutschland zwar sehr häufig aber nicht ausschließlich vorhanden. Straßen mit lokaler Bedeutung ohne Radweg (siehe Bild 2-9) weisen bezüglich einer Verlegung von CargoCapContainer ähnliche Eigenschaften auf wie solche mit Radweg. Im Vergleich ist die deutlich geringere Breite (meist kleiner als 12 m) jedoch ein wesentlicher Nachteil.

In der Regel ist der Bau der CargoCapContainer-Trasse unter Straßen ohne Radweg in offener Bauweise möglich. Vielfach ist es jedoch erforderlich, die Straße in der Bauphase für den Straßenverkehr vollständig zu sperren und entsprechende

Umleitungen einzurichten. Bei einigen Straßen mit breiterem Grünstreifen kann ggf. ein Fahrstreifen geöffnet bleiben.

Eine zeitlich begrenzte Verkehrsumleitung ist vor dem Hintergrund der auf diesen Straßen meist geringen oder nur mäßigen Verkehrsbelastung möglich.



Bild 2-9: Trassenführung unter lokalen Straßen ohne Radweg

2.4.1.2.5 Regionale und überregionale Straßen ohne Radweg

Bei fehlendem Radweg weisen sowohl regionale als auch überregionale Straßen (siehe Bild 2-10) eine geeignete Breite auf, sind vor dem Hintergrund ihres dichten Verkehrsaufkommens für eine Verlegung von CargoCapContainer jedoch meist wenig oder nicht geeignet, da keine ausreichend leistungsfähigen Ausweichstrecken vorhanden sind, die den Straßenverkehr in der Bauphase aufnehmen könnten.



Bild 2-10: Trassenführung unter überregionalen / regionalen Straßen

Eine Verlegung der CargoCapContainer - Trasse unterhalb dieser Straßen ist deshalb nur in der kostenintensiveren geschlossenen Bauweise möglich oder dort offen möglich, wo ein zur Straße gehörender besonders breiter Grünstreifen vorhanden ist, unter dem die Trasse erstellt werden kann.

2.4.1.2.6 Autobahnen

Die direkte Linienführung von Autobahnen wäre für die Verlegung der CargoCapContainer prinzipiell günstig. Da eine Längsquerung von Autobahnen aber gesetzlich unzulässig ist, wird diese Variante ausgeschlossen.

2.4.1.2.7 Straßen innerhalb von Ortschaften

Straßen innerhalb von kleineren Ortschaften (siehe Bild 2-11) weisen in der Regel eine geringe Breite in Verbindung mit einem hohen Verkehrsaufkommen auf. Geeignete Alternativstrecken für den Straßenverkehr fehlen meist. Somit ist die Erstellung der Trasse von CargoCapContainer unterhalb dieser Straßen in offener Bauweise normalerweise ausgeschlossen, da die in diesem Falle meist erforderliche Vollsperrung der Straßen ausgeschlossen ist.

Die räumliche Nähe solcher Straßen zur Bebauung und ihre Trassierung mit zu engen Kurvenradien schließen die Herstellung der Trasse in offener Bauweise in der Regel aus. Vielfach ist auch bei der geschlossenen Bauweise eine mindestens teilweise Nutzung angrenzender Grundstücke erforderlich.

Die Querung von im Verlauf der CargoCapContainer - Trasse liegenden Ortschaften unterhalb von Durchgangsstraßen ist gegenüber einer Umfahrung allerdings teilweise mit geringerer Streckenlänge möglich. Durch die erforderliche geschlossene Bauweise ist die Nutzung von Straßen innerhalb von Ortschaften trotzdem besonders kostenintensiv. Deshalb scheint sie nur bei Fehlen geeigneter Alternativen sinnvoll.



Bild 2-11: Trassenführung unter Straßen innerhalb von Ortschaften

2.4.1.2.8 Trassenführung unter stillgelegten Bahnstrecken

Eine Alternative zur Führung der CargoCapContainer - Strecke unterhalb von Straßen ist die Verlegung unter stillgelegten Bahnstrecken.

Stillgelegte Bahnstrecken weisen einige Eigenschaften auf, die sie für die Trassierung von CargoCapContainer besonders geeignet machen.

Der über viele Kilometer geradlinige Verlauf sowie die großen Trassenradien stillgelegter Bahnstrecken ermöglichen es, dass in weiten Bereichen keine angrenzenden Grundstücke für die Trasse von CargoCapContainer erforderlich sind.

Im Normalfall handelt es sich bei stillgelegten Bahnstrecken auch innerhalb von Ortschaften um ungenutzte Brachflächen. Im Zuge der Baumaßnahme ist eine Umnutzung der Oberfläche z.B. für Naherholungszwecke möglich.

Bei einer Lage der ehemaligen Bahn im Einschnitt (siehe Bild 2-12 rechts) ist eine relativ einfache Umsetzung der Baumaßnahme in offener Bauweise möglich. Auch in den übrigen Bereichen ist im Regelfall die offene Bauweise durchführbar. Lediglich in Kreuzungsbereichen, z.B. zur Querung anderer Verkehrsträger, kann eine Erstellung in geschlossener Bauweise erforderlich sein.

Damit bietet die Nutzung stillgelegter Bahnstrecken die folgenden Vorteile:

- offene Bauweise möglich,
- lange zusammenhängende Trasse,
- sehr gerader und direkter Trassenverlauf,
- ausreichend große Kurvenradien,
- keine Nutzung von Flächen in Streubesitz,
- bei einer Lage im Einschnitt relativ einfache bauliche Umsetzung,
- selbst innerhalb von Ortschaften vielfach ausreichender Freiraum,
- bauliche Kombination mit der Umgestaltung der Oberfläche möglich.

Bild 2-12 zeigt beispielhaft stillgelegte Bahnstrecken, die für eine Nutzung als CargoCapContainer - Trasse geeignet wären.



Bild 2-12: Trassenführung unter stillgelegten Bahnstrecken

Durch ihre vielen wesentlichen Vorteile stellt die Verlegung von CargoCapContainer unter stillgelegten Bahnstrecken eine sehr gute Trassierungsalternative dar.

2.4.1.2.9 Trassenführung unter in Betrieb befindlichen Bahnstrecken

Prinzipiell wäre auch eine Trassenführung von CargoCapContainer unter in Betrieb befindlichen Bahnstrecken denkbar. Insbesondere ihr direkter Verlauf würde für diese Variante sprechen. Da die Längsquerrung von Bahnstrecken aufgrund deren Widmung jedoch gesetzlich unzulässig ist, scheidet sie als Trassenführungsmöglichkeit aus.

2.4.1.2.10 Trassenführung im verkehrsträgerfreien Gelände

In den Bereichen, in denen eine Parallelverlegung zu Straßen oder Bahnstrecken nicht möglich oder ungeeignet ist, muss die Trassierung im verkehrsträgerfreien Gelände erfolgen, das unbebaut oder bebaut sein kann.

Bild 2-13 zeigt landwirtschaftliche Nutzflächen, die für die Trasse von CargoCapContainer Verwendung finden könnten. Solche landwirtschaftliche Nutzflächen bieten die Vorteile geringer Bodenpreise und, durch die für Norddeutschland typischen großen Flächeneinheiten, eine relativ geringe Anzahl verschiedener Eigentümer. Die Trasse kann auf Freiflächen nahezu vollständig in der kostengünstigeren offenen Bauweise hergestellt werden.

Neben diesen tatsächlichen Freiflächen ist eine Trassierung von CargoCapContainer auch im Bereich von bebauten Flächen möglich. Diese Flächen sind für eine Nutzung allerdings vergleichsweise schlecht geeignet, da sie zahlreiche Nachteile aufweisen:

- mögliche Beeinträchtigung der Bebauung (z.B. durch Setzungen),
- vielfach gestreuter Privatbesitz,
- hohe Flächenpreise,
- nur geschlossene Bauweise möglich.



Bild 2-13: Trassenführung unter verkehrsträgerfreiem Gelände (unbebaut)

Die Eignung verkehrsträgerfreien Geländes hängt somit stark von der vorhandenen Bebauung ab. Während eine Trassierung von CargoCapContainer im unbebauten Gelände eine gute Alternative ist, wenn sich keine Verlegung unter einem Verkehrsträger anbietet, ist die Unterquerung bebauter Flächen in geschlossener Bauweise mit relativ hohen Schwierigkeiten verbunden und sollte nur in letzter Konsequenz gewählt werden.

2.4.1.2.11 Bewertung und Zusammenfassung

Für die Trassierung von CargoCapContainer wurden mehrere grundsätzlich unterschiedliche Varianten auf ihre Eignung hin untersucht. Dabei handelte es sich um die folgenden Gruppen:

- Trassenführung unter Straßen unterschiedlicher Kategorien,
- Trassenführung unter Bahnstrecken (stillgelegt und in Betrieb),
- Trassenführung im verkehrsträgerfreien Gelände.

Tabelle 2-2: Vergleichende Bewertung von Trassenführungsvarianten

bestehende Oberflächen- nutzung:	Bewertung								Rang
	offene Bauweise möglich	direkte Linienführung	allgem. Platzverhältnisse	juristische Durchsetzbarkeit	Verkehrsbeeinträchtigung im Bau	Akzeptanz	Erschließbarkeit	gesamt	
Wichtung:	25 %	15 %	15 %	15 %	15 %	10 %	5 %	100 %	
Wirtschaftswege:	++	-	o	++	++	+	+	+	3
Straßen mit Radweg:	++	o	+	+	+	+	++	+	2
lokale Straßen ohne Radweg:	+	o	o	+	o	+	++	+	5
regionale / über-regionale Straßen ohne Radweg:	-	+	-	-	--	+	+	-	6
Autobahnen:	-	++	-	--	-	-	o	--	-- ¹
Straßen innerhalb von Ortschaften:	-	-	--	o	--	o	+	-	7
stillgelegte Bahnstrecken:	++	++	+	o	++	++	o	++	1
Bahnstrecken in Betrieb:	--	++	-	--	-	-	o	--	-- ¹
Freigelände un bebaut:	++	+	+	o	++	-	-	+	4
Bebautes Gelände:	--	o	--	-	-	--	-	--	8
	++ sehr gut + gut o mittel - schlecht -- sehr schlecht ¹ Abwertung und kein Rang, da unzulässig.								

Abschließend erfolgte eine vergleichende Bewertung der einzelnen untersuchten Varianten, die in Tabelle 2-2 dokumentiert ist und die auf Basis der folgenden unterschiedlich gewichteten Kriterien durchgeführt wurde:

– Möglichkeit der offenen Bauweise:

Bei der offenen Bauweise wird die Röhre für CargoCapContainer in einer Baugrube erstellt. Die offene Bauweise ist in der Regel wesentlich kostengünstiger als die aufwändigere geschlossene Bauweise bei der unterirdische Bauverfahren eingesetzt werden. Da die Bauweise für die Kosten von CargoCapContainer besonders relevant ist, macht dieses Kriterium 25 % der Gesamtbewertung aus.

– Direkte Linienführung:

Eine direkte Linienführung bestimmt einerseits die kostenbeeinflussende Länge der Gesamtstrecke und ist weiterhin erforderlich, um die zulässigen Minimalradien der Trasse einzuhalten. Das Kriterium der direkten Linienführung geht zu 15 % in die Gesamtbewertung ein.

– Allgemeine Platzverhältnisse:

Die für die einzelnen Trassenführungsvarianten typischen allgemeinen Platzverhältnisse sind insbesondere für die Bauphase relevant. Sie beeinflussen beispielsweise den Aufwand für die Baustelleneinrichtung wesentlich. (Wichtung: 15 %).

– Juristische Durchsetzbarkeit:

Die juristische Durchsetzbarkeit ist im Extremfall dafür maßgebend, ob die Trassierung umsetzbar ist. Regelmäßig ist sie ein Maß für den juristischen Aufwand, der für eine Durchsetzung der Trassierung erforderlich ist. Bei öffentlichen Flächen kann grundsätzlich von einem geringeren Aufwand als bei privaten Flächen ausgegangen werden. Bei Autobahnen und in Betrieb befindlichen Bahnstrecken ist eine Längsquering gesetzlich unzulässig und damit juristisch nicht durchsetzbar. (Wichtung: 15 %)

– Verkehrsbeeinträchtigung in der Bauphase:

Bei einer Führung der Trasse von CargoCapContainer unterhalb von bestehenden Verkehrsträgern ergibt sich in der Bauphase ein Beeinträchtigung des bestehenden Verkehrs, deren Umfang und Bedeutung insbesondere von den Platzverhältnissen, dem Bauverfahren und dem Verkehrsaufkommen abhängig ist. (Wichtung: 15 %).

– Akzeptanz:

Die Akzeptanz der CargoCapContainer - Trasse in der Bevölkerung und bei lokalen Institutionen und Entscheidungsträgern ist vom Grad der aus ihr resultierenden Beeinträchtigungen abhängig. Das betrifft Beeinträchtigungen einerseits in der Bauphase, z.B. durch Verkehrsumleitungen, und andererseits grundsätzlicher Art, wie z.B. Bedarf an privaten Grundstücken. (Wichtung: 10 %).

– Erschließbarkeit:

Die Erschließbarkeit ist sowohl in der Bauphase für die Baustelle, als auch im späteren Betrieb für Zugangsbauwerke relevant. (Wichtung: 5 %)

Die Bewertung der einzelnen Trassenführungsalternativen, die auf Basis von deren oben dargestellten Eigenschaften erfolgte, ist in Tabelle 2-2 dargestellt. Auf Basis der Gesamtbewertung wurde eine entsprechende Rangfolge der einzelnen Varianten festgelegt.

Die Rangordnung, die sich aus Tabelle 2-2 ergibt, wurde bei der Entwicklung und Festlegung des Streckenverlaufs (siehe Abschnitt 2.4.1.3 f.) berücksichtigt.

2.4.1.3 Entwicklung und Auswahl von Streckenführungsvarianten

Um eine für CargoCapContainer geeignete Strecke zu entwickeln, wurden mehrere Streckenführungsvarianten in einer zweistufigen Vorgehensweise untersucht. Die spätere konkrete Festlegung der Trasse für CargoCapContainer (siehe Abschnitt 2.4.1.4) orientiert sich an der über das nachfolgend beschriebene Bewertungsverfahren ausgewählten Streckenvariante.

1. Großräumige Streckenführungsvarianten

Im ersten Hauptschritt werden großräumige Streckenführungsvarianten mittels der folgenden mehrstufigen Vorgehensweise entwickelt und ausgewählt:

- a) Grobe Trassierung mehrere Varianten anhand von Kartenwerken,
- b) Inaugenscheinnahme und Dokumentation der Örtlichkeiten,
- c) Grobe Bewertung der Varianten hinsichtlich der Trassierungsrangfolge nach Tabelle 2-2, insbesondere Berücksichtigung von Umsetzbarkeit, Streckenlänge und Anteil offener und geschlossener Bauweise.

- d) Auswahl einer großräumigen Streckenführung auf Basis der Bewertung.

2. Kleinräumige Streckenführungsvarianten

Im zweiten Hauptschritt erfolgt eine genauere Betrachtung kleinräumiger Streckenführungsvarianten:

- a) Detailliertere Vortrassierung anhand genauerer Karten- und Planwerke,
- b) Abgleich mit der zuvor erstellten Dokumentation der Örtlichkeiten,
- c) Bewertung hinsichtlich der Trassierungsrangfolge nach Tabelle 2-2 und in Bezug auf das Gesamtkonzept eines größeren Streckenabschnitts,
- d) Auswahl einer Streckenführung.

Bild 2-14 zeigt als Beispiel das Prinzip zweier großräumiger Streckenführungsvarianten zwischen Hamburg und Bremen, die in der ersten Bearbeitungsstufe aufgestellt und verglichen wurden.

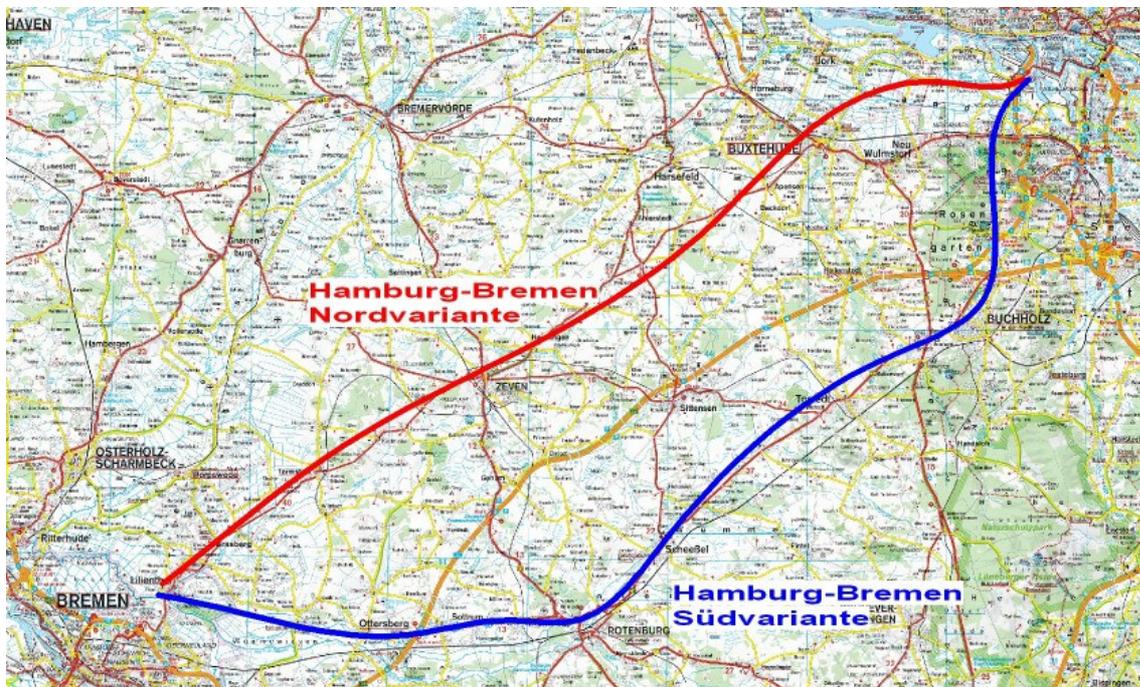


Bild 2-14: Hauptvarianten einer Streckenführung zwischen Hamburg und Bremen (Prinzip)
Die Aufstellung, der Vergleich und die Auswahl der unterschiedlichen Trassierungsvarianten ist ausführlich im Abschlussbericht von S&P dokumentiert.

2.4.1.4 Festlegung des Streckenverlaufs

Die Festlegung des Streckenverlaufs für CargoCapContainer erfolgte auf Basis der zuvor entwickelten und ausgewählten Streckenführungsvarianten (siehe Abschnitt 2.4.1.3).

Grundlage für den Lageplan des Streckenverlaufes ist die topographische Karte 1: 25.000, da sie alle Verkehrsträger und Bebauungen sowie grundsätzliche Angaben zur Flächennutzung enthält und somit für die Grobplanung im Rahmen der Machbarkeitsstudie eine ausreichende Genauigkeit bietet.

Bei der Festlegung des Streckenverlaufs waren die technischen, ökonomischen und juristischen Trassierungsgrundsätze entsprechend Abschnitt 2.4.1.1 zu berücksichtigen. Bei der tatsächlichen Trassierung war insbesondere der Minimalradius von 1000 m einzuhalten.

Die CargoCapContainer - Strecke wurde von Hamburg ausgehend entwickelt und kilometriert.

Die Grobplanung der Streckenführung wird hier beispielhaft anhand eines Abschnitts südlich von Spelle vorgestellt, der zwar nicht typisch für die Gesamttrasse ist, in dem aber relativ viele unterschiedliche Trassierungsformen vorhanden sind und der sich damit insbesondere zur Beschreibung der Modularisierung der Strecke (siehe Abschnitt 2.4.1.5) eignet.

Bild 2-15 zeigt die CargoCapContainer - Strecke bei Spelle.

Nördlich von Spelle verläuft die CargoCapContainer-Trasse auf einer stillgelegten Bahnstrecke, die ab dem Bahnhof Spelle noch befahren wird, so dass eine Umnutzung für CargoCapContainer dort nicht möglich ist. Ab Spelle muss die Trassierung deshalb entweder entlang öffentlicher Straßen oder im verkehrsträgerfreien Gelände erfolgen bis nach etwa 20 km südlich von Rheine wieder eine stillgelegte Bahntrasse als beste Trassierungsmöglichkeit genutzt werden kann.

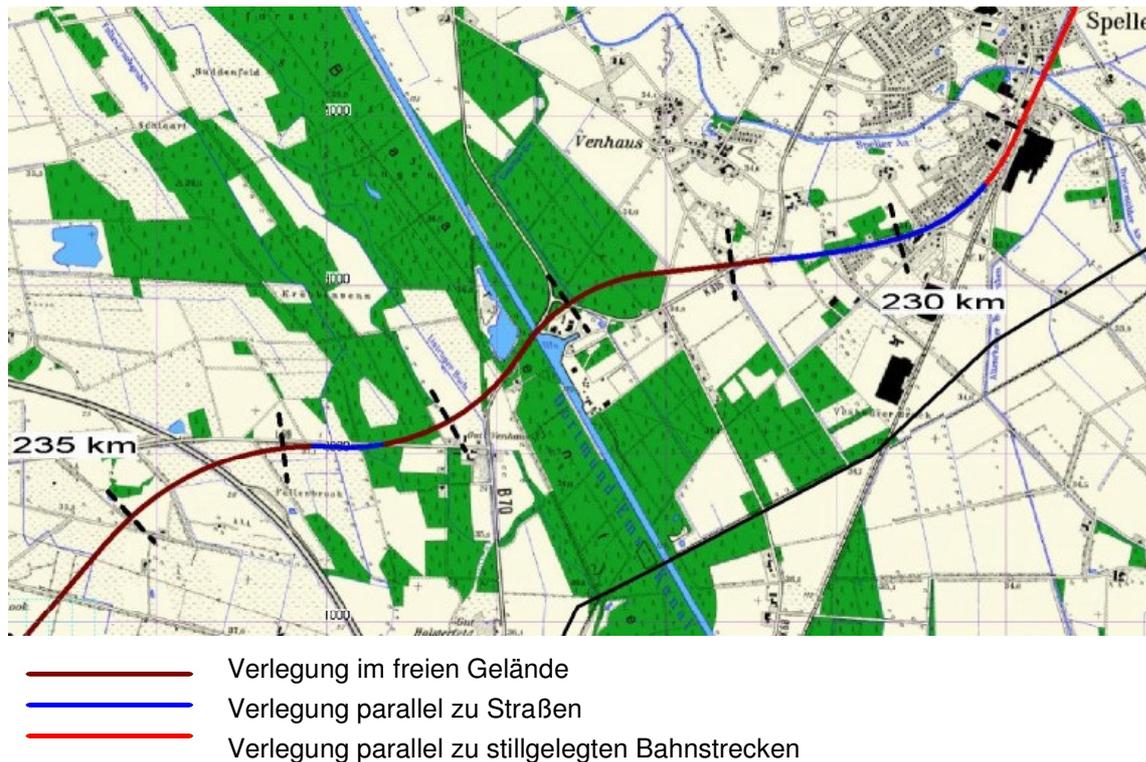


Bild 2-15: Beispielabschnitt südlich von Spelle: Festlegung des Streckenverlaufs

Gut zwei Kilometer südlich von Spelle ist die Querung des Dortmund-Ems-Kanals und nach etwa weiteren 2 Kilometern die Querung der Bundesautobahn 30 erforderlich.

Ab dem Bahnhof Spelle wird die Trasse innerhalb der Ortschaft im öffentlichen Straßenraum geführt, um die juristischen und ökonomischen Schwierigkeiten, die mit einer Nutzung privaten Streubesitzes insbesondere in bebauten Gebieten verbunden sind, zu vermeiden (siehe auch Abschnitt 2.4.1.1).

Nach Verlassen des bebauten Bereiches wird die Streckenführung im wesentlichen durch die Querung des Dortmund-Ems-Kanals bestimmt: Einerseits müssen ein dort vorhandenes Binnenhafenbecken und ein jenseits des Kanals vorhandener Baggersee möglichst gemieden werden, um das Querungsbauwerk nicht zu vergrößern; andererseits soll ein möglichst großer Anteil der Trasse im Bereich der öffentlichen Straßen liegen. Da die Ausfallstraße aus Spelle sehr kleine Krümmungsradien aufweist ist die Kombination dieser beiden Anforderungspunkte nur sehr bedingt möglich: Zunächst muss die Trasse im freien Gelände im Bogen verlaufen, um den Kanal dann nahezu senkrecht zwischen Hafenbecken und Baggersee hindurch queren zu können.

Zwischen der Kanal- und der Autobahnquerung schwenkt die Streckenführung von CargoCapContainer nochmals in den Straßenverlauf ein. Die Querung der Autobahn erfolgt im freien Gelände in einem möglichst stumpfen Winkel.

Im Anschluss an die Festlegung des Trassenverlaufs wurde in den einzelnen Streckenteilabschnitten hinterlegt, zu welchem Verkehrsträger sie parallel verlaufen bzw. ob eine Verlegung im freien Gelände vorliegt. Innerhalb von Bild 2-15 ist diese Kategorisierung bereits enthalten.

Die Entwicklung der übrigen Streckenabschnitte erfolgte entsprechend, so dass eine Strecke zwischen dem Hamburger, dem Bremer und dem Duisburger Hafen sowie eine Anschlussstrecke an den Güterbahnhof Bochum - Langendreer trassiert wurde.

Die gesamte Streckenplanung ist im Abschlussbericht von S&P dokumentiert.

2.4.1.5 Modularisierung der gesamten Strecke

Im Stadium einer Machbarkeitsstudie ist einerseits keine detaillierte Planung von CargoCapContainer möglich, andererseits ist es erforderlich, die grundlegenden baulichen und betrieblichen Anforderungen in einer Planung zu berücksichtigen und die Grundlage für eine Baukostenabschätzung zu schaffen. Dieses Problem wurde für CargoCapContainer über eine Modularisierung der gesamten Strecke hinsichtlich der Parameter

- Parallelverlegung zu anderen Verkehrsträgern,
- Spurigkeit und
- Bauweise

gelöst. Darin integriert sind die in Abschnitt 2.4.4.2 entwickelten Streckenabschnittsmodule für Querungen von Verkehrswegen und Gewässern.

Der erste Schritt einer Modularisierung ist mit der Erfassung des Verkehrsträgers, zu dem die Trasse parallel liegt, bereits bei der Festlegung des Streckenverlaufs erfolgt (siehe Bild 2-15 und Abschnitt 2.4.1.4).

Im folgenden Schritt wurden die Doppelspurabschnitte, die dort erforderlich sind, wo sich Fahrzeuge oder Fahrzeugverbände begegnen, für einen 10-Minuten-Takt (siehe

Abschnitt 2.2) so positioniert, dass die besonders aufwändige Weserquerung in einspuriger Bauweise möglich ist. Die anderen Takt-Varianten können einfach aus dieser Variante entwickelt werden.

Durch das feste Raster der Abfolge von ein- und zweispurigen Streckenabschnitten ergeben sich diese somit auch für den Beispielabschnitt südlich von Spelle (siehe Bild 2-16).

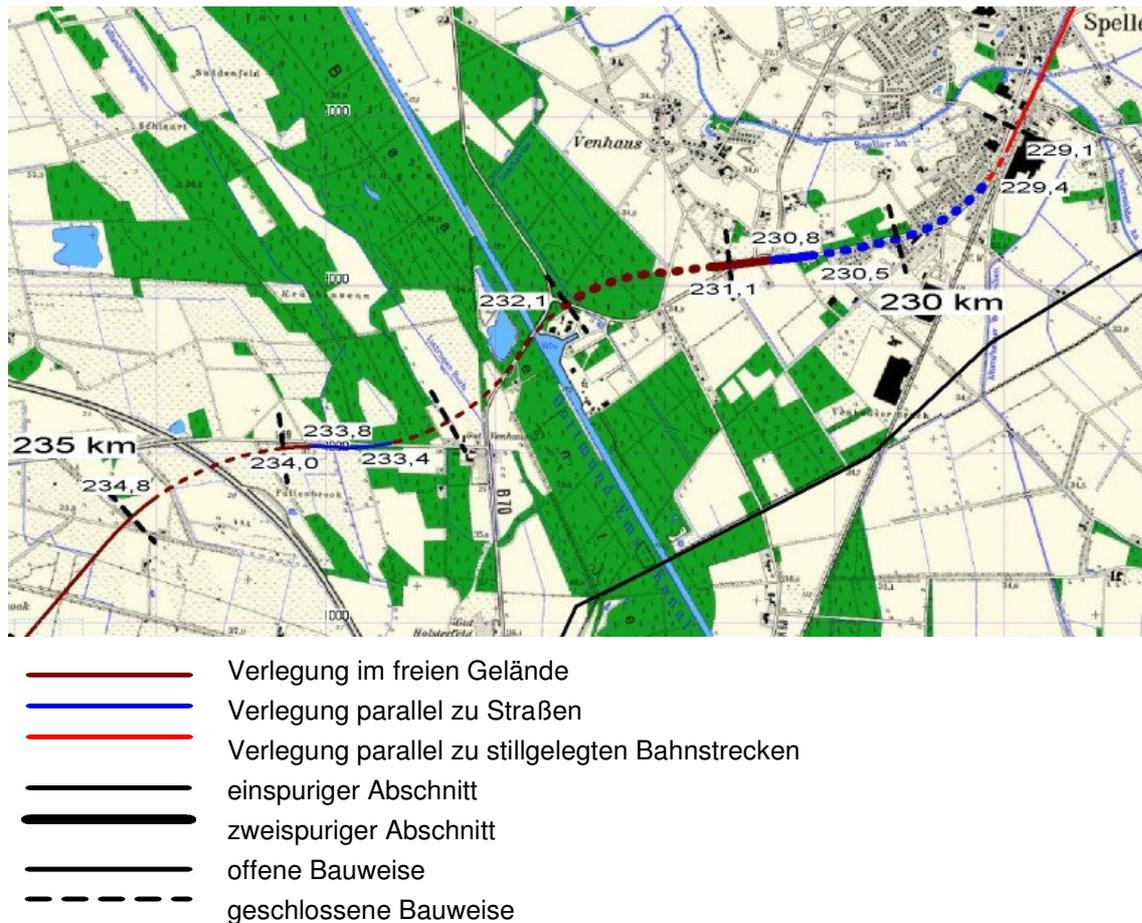


Bild 2-16: Beispielabschnitt südlich von Spelle: Modularisierung der Strecke

Im nächsten Modularisierungsschritt erfolgt die Unterscheidung zwischen der offenen und der geschlossenen Bauweise. Grundsätzlich ist die offene Bauweise aufgrund ihrer geringeren Kosten vorzuziehen. Dort, wo die Querung anderer Bauwerke erforderlich ist oder wo die Platzverhältnisse beschränkt sind, wie in einigen Teilen des Beispielabschnitts bei Spelle, muss die deutlich teurere geschlossene Variante erstellt werden (siehe auch Abschnitt 0).

Nachdem die CargoCapContainer - Strecke so hinsichtlich Parallelverlegung (siehe Abschnitt 2.4.1.4), Spurigigkeit und Bauweise modularisiert wurde, wurden eine Erfassung der Positionen und Längen der Module abschließend für die Weiterverarbeitung, z.B. für die Kostenabschätzung, in mehreren Vektoren erfasst (siehe Bild 2-17).

Trassenparameter

Spurigigkeit		Bauweise		Verlegung	
bis km	Spuren	bis km	offen=1 geschlossen=2	bis km	Land(frei)=1 Straße=2; Bahn=3
1,7	1	1,7	1	21,6	1
4,4	2	2,8	2	22,2	2
8,4	1	15,3	1	25,7	1
11,1	2	17,6	2	33	2
15,1	1	18,5	1	34,5	1
17,8	2	19,1	2	38,6	2
21,8	1	28,1	1	40,9	1
24,5	2	28,9	2	41	2
28,5	1	35,6	1	44,3	1
31,2	2	36,8	2	47,1	2
35,2	1	38,9	1	47,9	1
37,9	2	39,7	2	51,3	2
41,9	1	41,5	1	52,4	1
44,6	2	42	2	53,9	2
48,6	1	43,7	1	55	1
51,3	2	44,4	2	55,3	2
55,3	1	46,3	1	56,1	1
57,9	2	48,7	2	56,5	2
61,9	1	51,4	1	57,9	1
64,6	2	53,5	2	59,7	2
68,6	1	57,5	1	60,8	1
71,3	2	58,3	2	61,1	2

Bild 2-17: Programminterne Modulbeschreibung durch Trassenparameter (Ausschnitt des Berechnungsprogramms)

Durch die Kombination der zwei möglichen Werte für die Spurigigkeit, der 2 Werte für die Bauweise und der drei Werte für die Verlegung ergeben sich 12 unterschiedliche Normalmodule. Hinzu kommen zwei besondere Module für die Weserunterquerung und die Rheinbrücke. Mit diesen insgesamt 14 Modulen werden die CargoCapContainer - Strecke und ihre bauliche Umsetzung für die Machbarkeitsstudie hinreichend genau beschrieben.

Die Modularisierung der Strecke wird im Abschlussbericht von S&P detaillierter beschrieben.

2.4.2 Bauverfahren

2.4.2.1 Variantenbetrachtung

Die Herstellung der Fahrrohrleitungen erfolgt im vorliegenden Anwendungsfall grundsätzlich sowohl in offener als auch in geschlossener Bauweise (s. [9]). In Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit bzw. –nutzung, wie z.B.

- vorh. Bahnstrecken oder Wasserstraßen / Gewässer,
- Straßen (Autobahnen, Bundesstraßen, Landstraßen, etc.)
- Ortschaften,
- freies Gelände, etc.
- wird die Auswahl der verschiedenen Bauweisen modular betrachtet.

Die offene Bauweise wird charakterisiert durch das Ausheben einer Baugrube, Herstellung des Bauwerkes im Schutze einer Böschung oder eines Verbaus in Ortbetonbauweise und anschließendes Verfüllen der Baugrube. Die Fahrrohrleitungen in offener Bauweise können sowohl als Rechteck- als auch als Gewölbequerschnitt in Ortbeton ausgeführt werden.



Bild 2-18: Bau eines Tunnels in offener Bauweise

Ist die offene Bauweise aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit bzw. –nutzung oder aufgrund großer Tiefenlagen nicht möglich, kommt die geschlossene Bauweise zum

Einsatz. Die geschlossene Bauweise wird charakterisiert durch die unterirdische Herstellung eines Bauwerkes, wobei Baugruben nur als Start- und ggf. Zielbaugruben erforderlich werden.

Die grabenlose Herstellung der Fahrrohrleitungen mit einem Durchmesser von ca. 8000 mm bis ca. 11000 mm erfolgt für den vorliegenden Anwendungsfall als maschineller Vortrieb mit einer Schildmaschine (SM), wobei die Sicherung und der Ausbau vor Ort mit Tübbingem bzw. Extrudierverfahren durchgeführt wird.

Mit den standardmäßigen Vortrieb-/ Schildmaschinentypen werden aus maschinen- und bauverfahrenstechnischen Gründen kreisförmige Tunnelquerschnitte hergestellt (Bild 2-19, Bild 2-20).



Bild 2-19: Mixschild \varnothing 8160 mm [10]



Bild 2-20: Mixschild \varnothing 11670 mm [10]

Eventuell kann es jedoch sinnvoll sein, eine andere Querschnittsform, z.B. einen Rechteckquerschnitt zu fordern. Sie haben den Vorteil, bei gleicher Querschnittsfläche durch den Einsatz eines Profils geringerer Höhe und Breite die erforderliche Mindestüberdeckungshöhen einhalten zu können. Ein rechteckiger Querschnitt bringt zudem Vorteile bei besonders beengten Platzverhältnissen, sowohl in der Höhe als auch in der Breite.

Unter dem Aspekt, dass die effektive Nutzung des knappen unterirdischen Raumes im Stadtbereich häufig zwingend geboten ist, werden in Japan im urbanen Untergrund zunehmend neue verfahrenstechnische Lösungen entwickelt, wie z.B. das DPLEX-System (Developing Parallel Link Excavating Shield Method) [11], [12].

Dieses System ermöglicht Schildvortriebe mit nicht nur ausschließlich kreisförmigen Querschnitten, sondern auch mit rechteckigen, ovalen oder hufeisenförmigen Querschnitten. Der Bodenabbau erfolgt hierbei nicht wie bei den herkömmlichen Vollschnittmaschinen durch ein sich drehendes Schneidrad, sondern durch die Rotation eines mit Abbauwerkzeugen besetzten Schneidrahmens (Bild 2-21, Bild 2-22).



Bild 2-21: DPLEX-Schild für rechteckige Querschnitte [13]

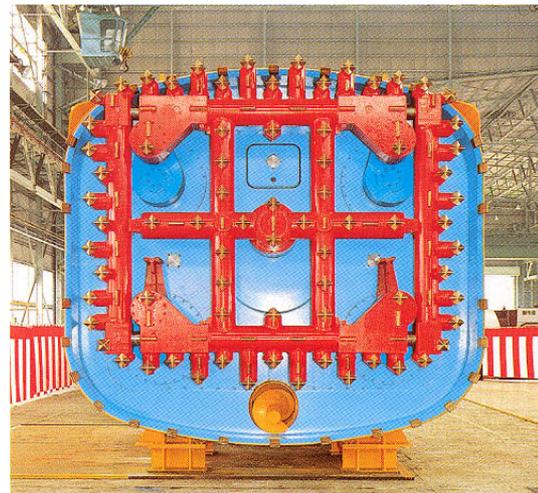


Bild 2-22: DPLEX-Schild, Ansicht [13]

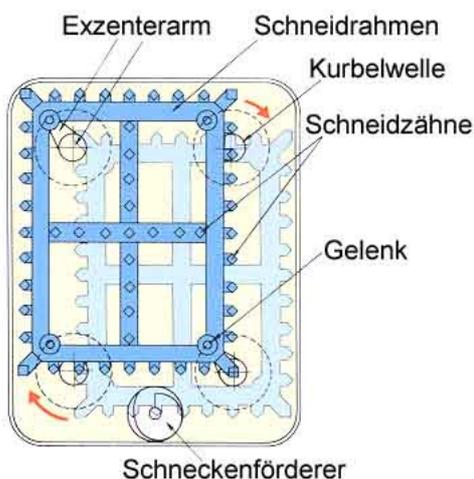


Bild 2-23: Prinzipskizze der exzentrischen Schneidrotation [13]

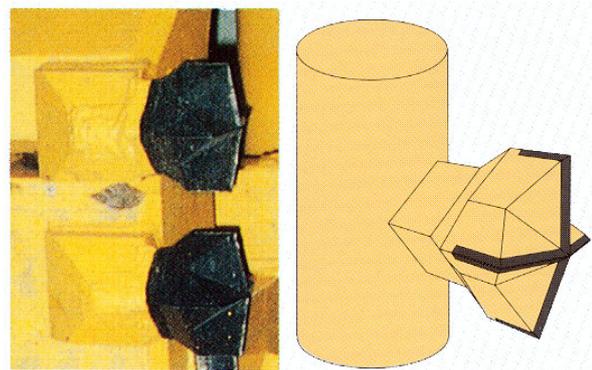


Bild 2-24: Kreuzdach-Schneide für DPLEX- System [13]

Um den gewünschten Querschnitt an den Ortsbrust abzubauen, arbeitet der sog. Schneidrahmen, ein mittig gelagertes, rechteckiges Schneidrad, das auf mehreren Wellen befestigt ist, im Betriebszustand mit exzentrisch rotierenden Abbau-

werkzeugen (Bild 2-23). Bei den letztgenannten handelt es sich um sog. Kreuzdachschneiden, die in jeder Richtung die gleiche Schneidwirkung erzielen (Bild 2-24).

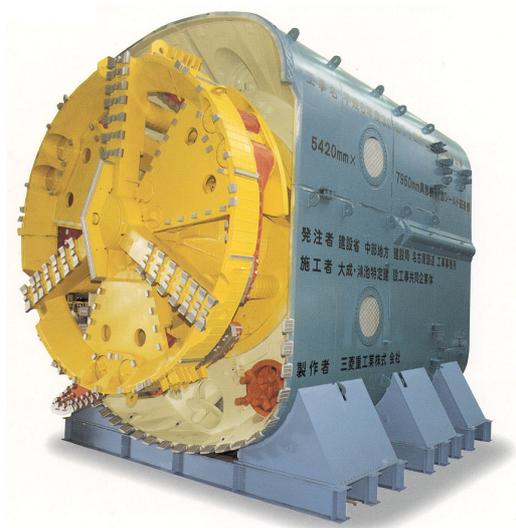


Bild 2-25: Schildmaschine von Takenaka [14]

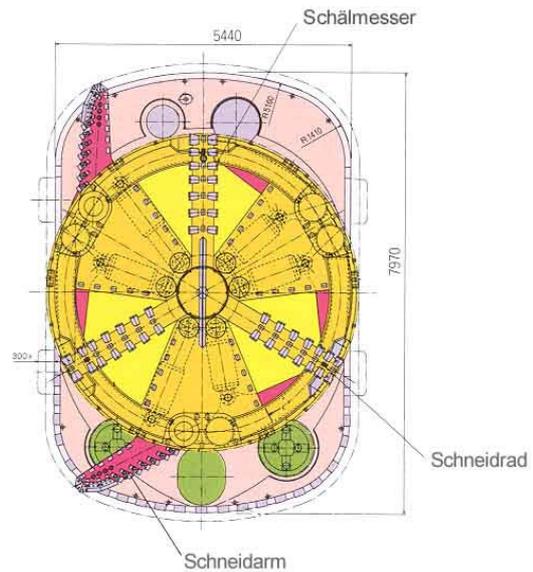


Bild 2-26: Schildmaschine, Ansicht [14]

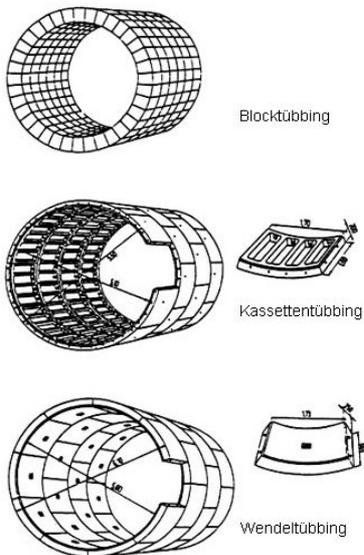


Bild 2-27: Verschiedene Arten der Tübblinge

Neben der DPLEX-Schildvortriebsmethode bietet die japanische Firma Takenaka Ltd.[14] ebenfalls Schildmaschinen zum Auffahren von rechteckigen Querschnitten an. Das Auffahren des rechteckförmigen Hohlraums erfolgt zweistufig in einem Arbeitsgang. In der ersten Stufe wird der Bodenabbau mit Hilfe des vorstehenden, konventionellen runden Schneidrades realisiert, in der zweiten Stufe wird der noch fehlende Restquerschnitt in den Eckbereichen durch hinter dem Schneidrad

zurückversetzte und mit Pendelbewegungen agierende Schneidarme abgebaut (Bild 2-25, Bild 2-26). Darüber hinaus ist der Sohlenbereich des Schneidenschusses mit einer mit Hartmetallzähnen bestückten Schildschneide zum Vorschneiden des Bodens ausgerüstet.

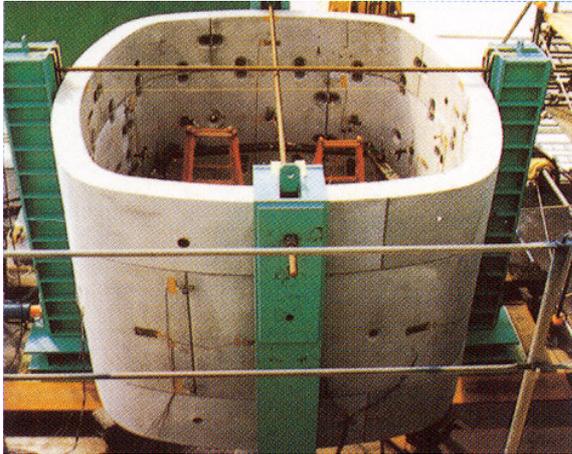


Bild 2-28: rechteckiger Querschnitt [13]

Bild 2-29: Innenansicht [13]

Der Ausbau und die Sicherung der aufgefahrenen Hohlräume kann beim maschinellen Vortrieb mit Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) und damit auch im vorliegenden Anwendungsfall generell durch

Tübbingauskleidungen (

- Bild 2-27, Bild 2-28, Bild 2-29) oder
- „vor Ort“ betonierten Auskleidungen
- erfolgen.

2.4.2.2 Vergleich der offenen und geschlossenen Bauweise

Generell sind bei der offenen Bauweise im Gegensatz zu der geschlossenen Bauweise erheblich größere Einflüsse und Auswirkungen auf das Umfeld aufgrund der umfassenden Erdarbeiten zu erwarten. Die offene Bauweise wirkt sich speziell im innerstädtischen Bereich bzw. in dicht besiedelten Bereichen zum Teil beträchtlich störend aus. Sie ist verbunden mit folgenden wirtschaftlichen und umweltbezogenen Nachteilen:

- Lärm-, Schwingungs- und Emissionsbelastungen aus Baustellenbetrieb und Verkehrsumleitungen,
- Beeinträchtigung benachbarter baulicher Anlagen und Bepflanzungen, z.B. durch

Wasserhaltungsmaßnahmen,

- Steigerung des Energieverbrauchs sowie Umsatz- und Arbeitszeitverluste durch Verkehrsumleitungen,
- Sicherheitsrisiken für Anlieger,
- schwerwiegende Eingriffe in die Substanz des Straßenkörpers, die zu einer vorzeitigen Herabsetzung des Gebrauchswertes und der Nutzungsdauer der Straße führen können,
- überproportionale Kostensteigerungen mit zunehmender Verlegetiefe,
- Steigerung des Verbrauches von Ressourcen,
- Steigerung der Inanspruchnahme von Deponieräumen.

Die Baukosten bei der offenen Bauweise stehen grundsätzlich in starker Abhängigkeit zu den baustellenspezifischen Randbedingungen. Die hauptsächlichen Kostenparameter bestehen aus den folgenden, nicht beeinflussbaren Kostenanteilen:

- Verlegetiefe bzw. Überdeckungshöhen,
- Anstehende Bodenart,
- Grundwasserstand- und strömung,
- Topografische Gegebenheiten,
- Gewässerwirtschaftlichen Anforderungen.

Besonders in dicht besiedelten Bereichen kann eine Baumaßnahme in offener Bauweise unter Berücksichtigung nicht nur der direkten sondern auch der indirekten Kosten, wie z.B. Oberflächenfolgekosten, Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigungen, Kosten durch Schädigungen des Bewuchses, Kosten durch Beeinflussung des Einzelhandels etc., erhebliche monetäre Größenordnungen erreichen. Prinzipiell hat die Wahl eines geeigneten Bauverfahrens wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme.

Angesichts dieser Sachverhalte werden im vorliegenden Fall die Fahrrohrleitungen in Abhängigkeit von der Oberflächennutzung bzw. –beschaffenheit sowohl in offener als auch in geschlossener Bauweise hergestellt. In Streckenabschnitten mit einer dichten, bzw. nicht einschränkbarer Oberflächennutzung, wie z.B. Ortschaften, Verkehrswege, Gewässer, etc. und den damit verbundenen größeren Überdeckungs-

höhen (min. $1 \times d_a$) (Abschnitt 2.4.4) kommt die geschlossene Bauweise zum Einsatz. Die offene Bauweise wäre in diesen Bereichen aufgrund der genannten Randbedingungen unwirtschaftlich, unzumutbar für das Umfeld oder sogar unmöglich. In Streckenabschnitten, die unter freiem Gelände oder weniger intensiv genutzte Verkehrswegen verlaufen, kann dagegen problemlos die offene Bauweise angewendet werden. Aufgrund der geringeren Überdeckungshöhen von min. $0,5 \times d_a$ und der vorh. Oberflächennutzung ist in diesen Bereichen die offene Bauweise die wirtschaftlichere Alternative.

2.4.3 Bauformen

2.4.3.1 Allgemeines

In diesem Bearbeitungsschritt erfolgt auf der Grundlage der Streckenkonfiguration (Abschnitt 2.2), der Streckenführung (Abschnitt 2.4.1) sowie der gewählten Bauverfahren eine Festlegung und Vordimensionierung der Fahrrohrleitungsquerschnitte.

Bei der Dimensionierung der Querschnittsvarianten wurden folgende Richtlinien herangezogen:

- Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung (EBO); Richtlinie des EBA; 08.05.1967 [15]
- Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten; DB-Netz; Stand 01.10.1998 [16]
- ZTV-ING; Teil 5 Tunnelbau; Bundesanstalt für Straßenwesen; 01.03 [17].

Wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt, werden aus betrieblichen Gründen die Fahrrohrleitungen als kombiniertes Einspur- / Doppelspursystem ausgelegt. Die Abmessungen bzw. Querschnittsflächen der verschiedenen Querschnitte ergeben sich zum einen aus dem erweiterten Lichtraumprofil für den Transport von LKW-Aufliegern mit einer Eckhöhe von 4,0 m (gelb dargestellt), einem Versperrungsgrad von 50,0 % sowie einem notwendigen bautechnischen Nutzraum von 0,3 m und den folgenden Randbedingungen:

- Spurweite = 1435 mm [15],
- Gleismittenabstand bei Doppelspur = 4,0 m [15],
- Schienenprofil UIC 60

2.4.3.2 Querschnittsvarianten

Für die Streckenabschnitte, die in offener Bauweise hergestellt werden (Abschnitt 2.4.1), wird die Fahrrohrleitung als Rechteckquerschnitt sowohl als Einspur- als auch als Doppelspurrohre (Bild 2-30, Bild 2-31) in Ortbetonbauweise ausgeführt. Die Rechteckquerschnitte haben eine Querschnittsfläche von $A = 37,15 \text{ m}^2$ für Einspurrohren und $A = 73,79 \text{ m}^2$ für Doppelspurrohren.

2.4.3.2.1 Querschnitte offene Bauweise

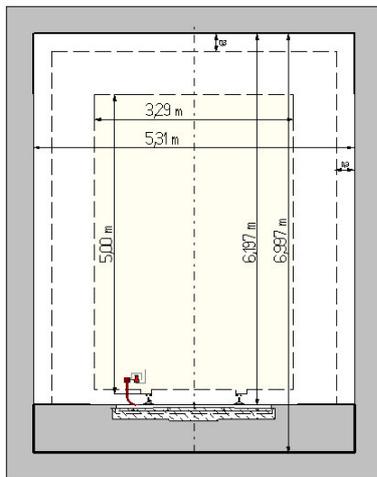


Bild 2-30: Rechteckquerschnitt,
Einspur, 5,31 m x 6,99 m

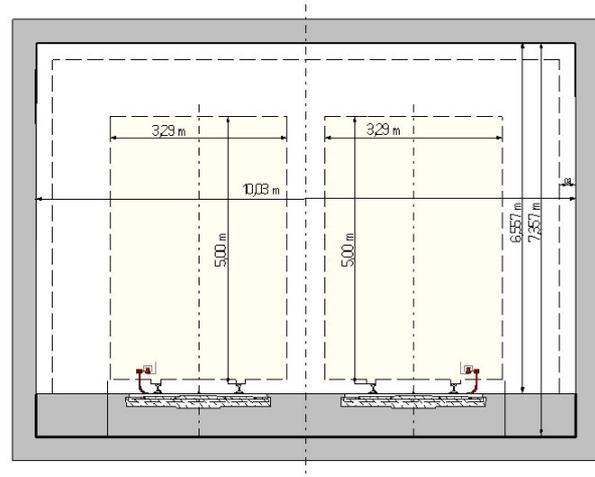


Bild 2-31: Rechteckquerschnitt,
Doppelspur, 10,08 m x 7,36 m

Bei der geschlossenen Bauweise werden die Fahrrohrleitungen in zwei verschiedenen Querschnittsformen hergestellt. Alle Streckenabschnitte werden ebenfalls, wie bei der offenen Bauweise, als Rechteckquerschnitt als Einspur- und Doppelspursystem (Bild 2-32, Bild 2-33) mit einer Querschnittsfläche von $A = 37,15 \text{ m}^2$ und $A = 73,79 \text{ m}^2$ ausgeführt. Im Bereich der Weserunterquerung wird die Fahrrohrleitung dagegen als Kreisquerschnitt, Einspursystem (Bild 2-34) mit einer Querschnittsfläche von $A = 51,53 \text{ m}^2$ hergestellt. Der Kreisquerschnitt wurde in diesem Streckenabschnitt aufgrund der hohen vorherrschenden Wasserdrücke und des günstigeren statischen Tragverhaltens von Kreisquerschnitten gegenüber Rechteckquerschnitten gewählt.

2.4.3.2 Querschnitte geschlossene Bauweise

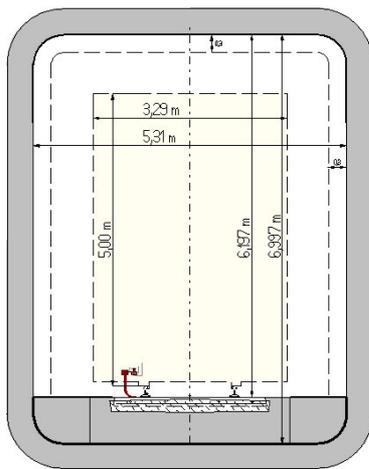
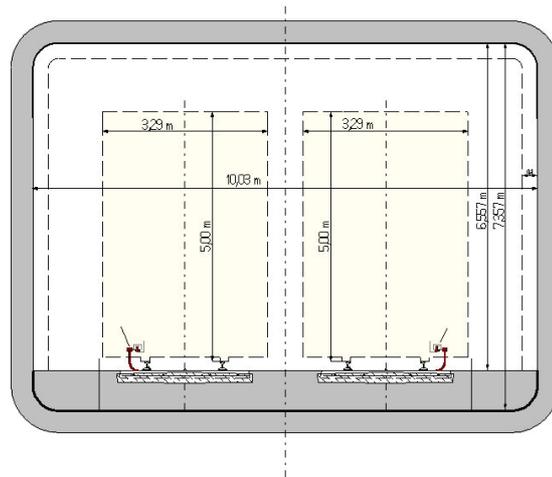


Bild 2-32: Rechteckquerschnitt,
5,31 m x 6,99 m



Einspur, Bild 2-33: Rechteckquerschnitt,
Doppelspur, 10,08 m x 7,36 m

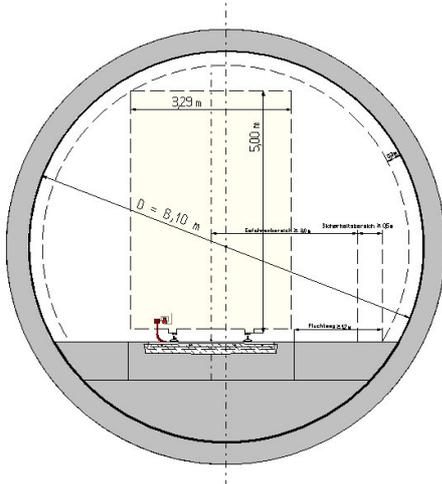


Bild 2-34: Kreisquerschnitt, Einspur,
D = 8,10 m (nur Weserquerung)

2.4.3.3 Vergleich der Querschnittsvarianten

Im vorliegenden Anwendungsfall wurde eine Anpassung der Querschnittsform der Fahrrohrleitung an die Querschnittsform der Fahrzeuge vorgenommen. Dadurch wird eine geringere Querschnittsfläche und damit eine geringere Höhe und Breite des Profils erreicht. Bei gleicher Querschnittsfläche weist ein Rechteckquerschnitt beispielsweise mit $h/b = 1/3$ eine deutlich geringere Bauhöhe als ein Kreisquerschnitt auf (Bild 2-35, Bild 2-36). Durch den Einsatz eines Profils geringerer Höhe und Breite können die erforderlichen Mindestüberdeckungshöhen sowie der damit verbundene Bodenaushub (offene Bauweise) bzw. Bodenausbruch (geschlossene Bauweise)

verringert werden. Ein rechteckiger Querschnitt hat auch Vorteile bei besonders beengten Platzverhältnissen, sowohl in der Höhe als auch in der Breite. Wie in Bild 2-32 und Bild 2-34 ersichtlich, ist bei Rechteckprofilen grundsätzlich eine bessere Ausnutzung des Querschnittes möglich. Kreisquerschnitte verfügen über mehr ungenutzte Fläche, wie z.B. im Sohlbereich. Eine Möglichkeit zur Nutzung dieses Bereiches wäre neben der Verlegung der notwendigen Tunnelentwässerung (Bild 2-47), die Verlegung weiterer Ver- bzw. Entsorgungsleitungen, wie z.B. Abwasserleitungen, Telefonkabel, etc..

Kreisquerschnitte dagegen weisen insbesondere bei größeren Einbautiefen ein besseres statisches Tragverhalten als Rechteckquerschnitte auf, was sich zudem positiv auf die erforderlichen Wanddicken der Fahrrohrleitungen auswirkt.

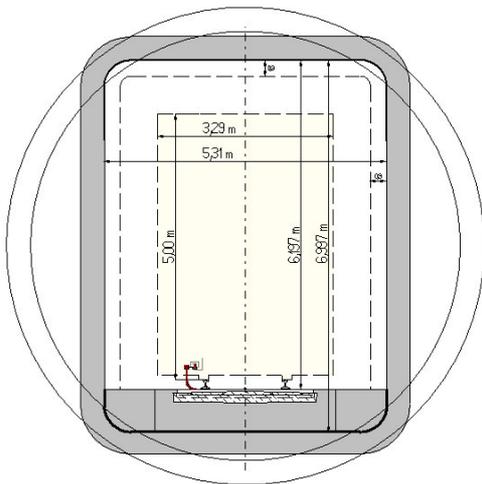


Bild 2-35: Gegenüberstellung
Rechteckquerschnitt, $A = 37,15 \text{ m}^2$ /
Kreisquerschnitt, $A = 51,53 \text{ m}^2$

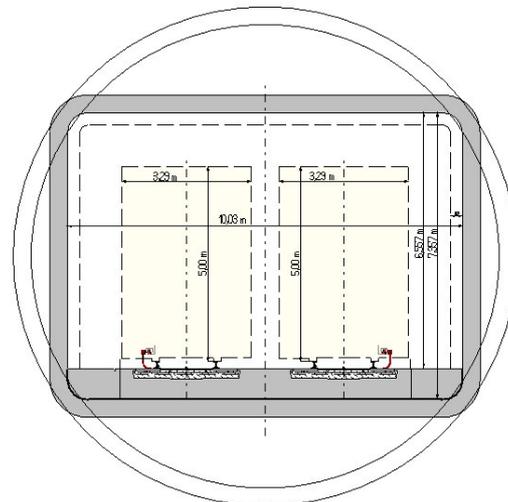


Bild 2-36: Gegenüberstellung Rechteck-
querschnitt, $A = 73,79 \text{ m}^2$ / Kreis-
querschnitt, $A = 111,22 \text{ m}^2$

2.4.4 Entwicklung typisierter Konstruktionen für die Streckenmodule

2.4.4.1 Randbedingungen

In Abhängigkeit von der Oberflächennutzung wurde die gesamte Strecke in parametrisierte Module gemäß Abschnitt 2.4.1 gegliedert. Für die Streckenabschnittsmodule für Querungen wurde jeweils ein Entwurf mit einer Vordimensionierung angefertigt. Die Längsprofile der Strecken wurden in Abhängigkeit folgender Randbedingungen dimensioniert:

- max. angesetzte Steigfähigkeit der Züge: 12,5 ‰,
- Außen- bzw. Innendurchmesser der Tunnelröhre,
- Mindestüberdeckung der Tunnelröhren (Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Mindestüberdeckung der Tunnelröhre

Oberflächennutzung	Mindestüberdeckung	Quelle
Mindestwert	$\frac{1}{2} \times d_a$ (4,00 m)	
Unter Flusssohle	1 x d_a (8,00 m)	Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB)
BAB und Bundesstraßen	1 x d_a (8,00 m)	Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB)
Landstraßen	1 x d_a (8,00 m)	Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen (DAUB)
Eisenbahnen	1 x d_i (7,00 m)	DS 853
Ortschaften	Je nach örtlicher Bebauung	

Die Herstellung der in den nachfolgenden Unterabschnitten dargestellten Unterquerungen (Bild 2-37 bis Bild 2-44) erfolgt in geschlossener Bauweise. Die Fahrrohrleitungen werden entweder als Rechteck- oder Kreisquerschnitt ausgeführt. Als Kreisquerschnitt wird nur die Tunnelröhre der Weserunterquerung aufgrund der großen Tiefenlage von ca. 22,0 m und des hohen vorherrschenden Wasserdrucks ausgeführt. Aus den Mindestüberdeckungen gemäß Tabelle 2-3 und der max. angesetzten Steigfähigkeit der Züge vom 12,5 ‰ ergeben sich die Rampenlängen gemäß Tabelle 2-4. In Bild 2-37 bis Bild 2-44 sind alle Längsprofile der o.g. Module schematisch dargestellt.

2.4.4.2 Dimensionierung der Streckenabschnittsmodule

Die Kosten für die in diesem Abschnitt beschriebene Module und die Gesamtstreckenkosten sind in Abschnitt 4.1 zusammengestellt.

Generell wäre eine Verkürzung der Rampen durch eine Erhöhung der zulässigen Längsneigung möglich. Damit könnte theoretisch der erforderliche Anteil der geschlossenen Bauweise verkleinert werden.

Tabelle 2-4: Rampenlängen

Oberflächen-nutzung	Bauverfahren	Querschnitts-form	Überdeckungs-höhe	Rampen-steigung / -gefälle	Rampen-länge
Große Gewässer	Geschlossen Bauweise	Kreisprofil	9,00 m	12,5 ‰	1600 m
Mittelgroße Gewässer	Geschlossen Bauweise	Rechteckprofil	8,00 m	12,5 ‰	580 m
BAB / Bundesstraße	Geschlossen Bauweise	Rechteckprofil	8,00 m	12,5 ‰	310 m
Eisenbahn	Geschlossen Bauweise	Rechteckprofil	7,00 m	12,5 ‰	120 m

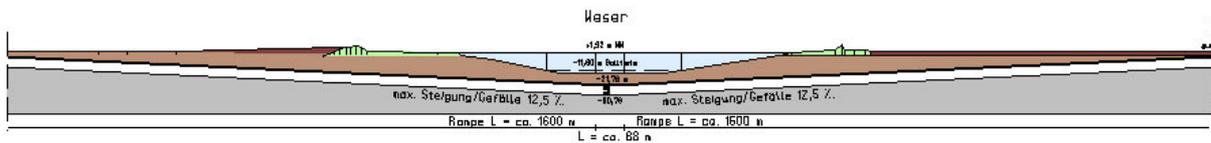


Bild 2-37: Längsschnitt Gewässerunterquerung, Beispiel Weser

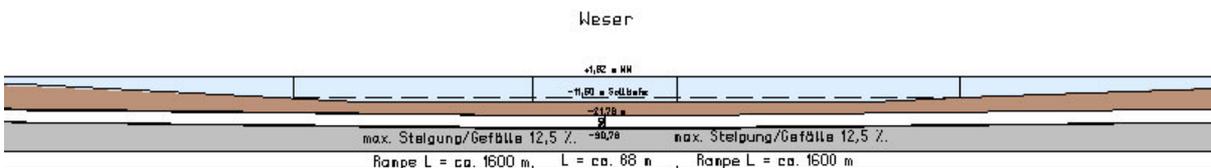


Bild 2-38: Längsschnitt Gewässerunterquerung, Beispiel Weser, Detail

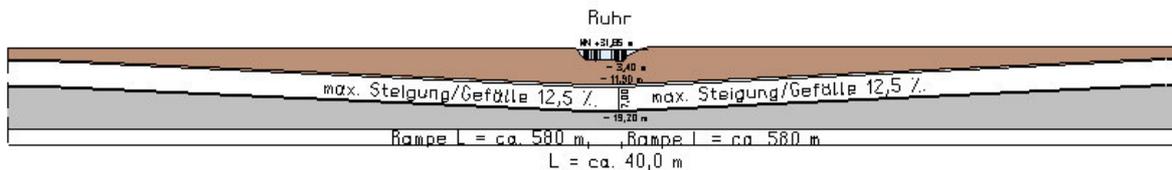


Bild 2-39: Längsschnitt Gewässerunterquerung, Beispiel Ruhr

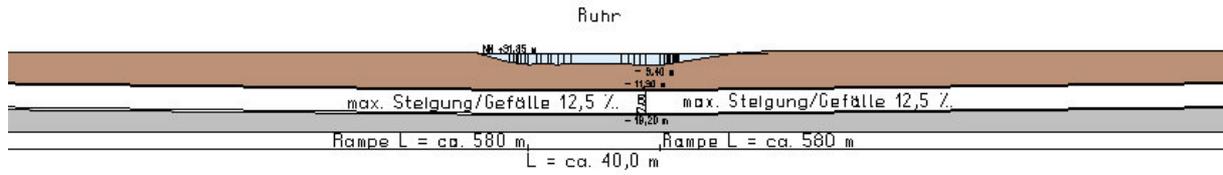


Bild 2-40: Längsschnitt Gewässerunterquerung, Beispiel Ruhr, Detail

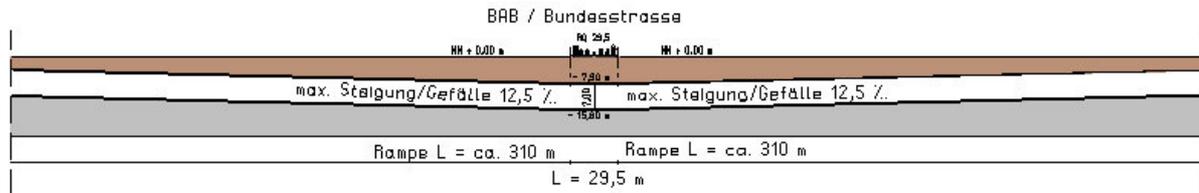


Bild 2-41: Längsschnitt Unterquerung BAB / Bundesstraßen

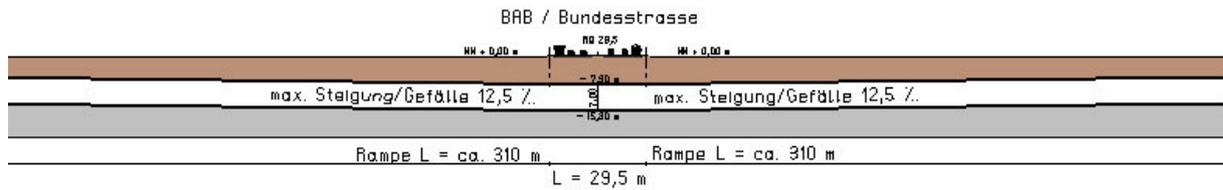


Bild 2-42: Längsschnitt Unterquerung BAB / Bundesstraßen, Detail

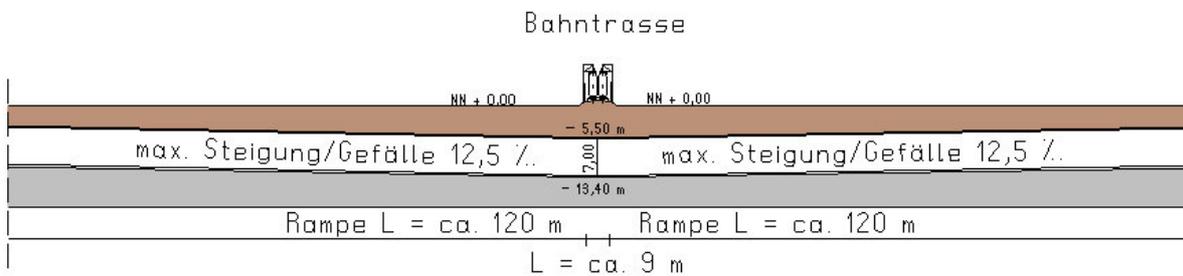


Bild 2-43: Längsschnitt Bahnunterquerung

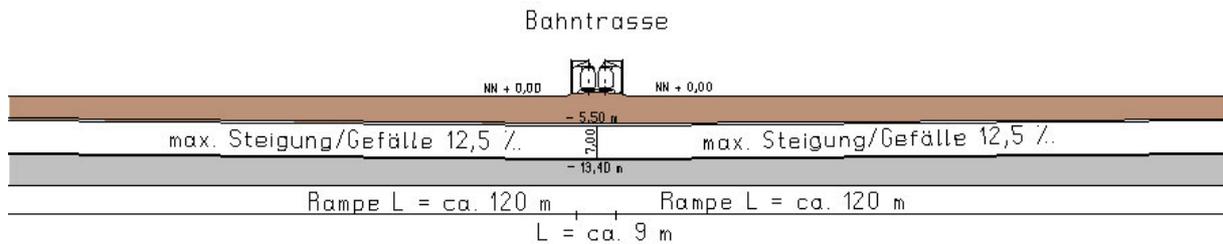


Bild 2-44: Längsschnitt Bahnunterquerung, Detail

Die Cargo Cap - Fahrzeuge könnten leistungsmäßig entsprechend ausgelegt werden. Allerdings fällt bei genauer Betrachtung die Einsparung geringer aus als zunächst erwartet, da sich in unmittelbarer Nähe der maßgebenden Querungen (z.B. Weser) bebaute oder intensiv genutzte Flächen befinden, die ohnehin in geschlossener Bauweise unterquert werden müssten. Darüber hinaus würde mit endgültiger Wirkung die Möglichkeit eliminiert, konventionelle Züge durch die Anlage zu leiten. Aus diesen Gründen wird allen weiteren Betrachtungen eine Längsneigung von 12,5 ‰ zugrunde gelegt.

2.4.5 Betriebliche Einrichtungen

2.4.5.1 Festlegung der erforderlichen Einbauten

Die Fahrrohrleitungen und weitere bauliche Anlagen sind durch Konstruktion, Materialeinsatz und Betriebsweise auf einen sicheren und zuverlässigen Betrieb auszurichten. Zusätzlich sind sie mit entsprechenden Sicherheitstechniken auszurüsten, die für bestimmte Abschnitte unterschiedlich sein können und periodisch auf uneingeschränkte Funktion zu prüfen sind. Im Rahmen dieses Bearbeitungsschrittes erfolgt die Festlegung der erforderlichen konstruktiven Einbauten, des notwendigen Sicherheitsniveaus und die Auswahl der daraus resultierenden Sicherheitstechniken für die Fahrrohrleitungen. Bei der Wahl und Festlegung wurden die geltenden Richtlinien für die Ausstattung von Eisenbahn- und Straßentunneln herangezogen, die unter 2.4.5.2 kurz zusammengestellt sind. Viele in diesen Richtlinien geforderten konstruktiven Einbauten und Sicherheitstechniken dienen zum Schutz und zur Rettung der Tunnelnutzer bzw. Reisenden, des Personals und der Unterstützung der Feuerwehren und Einsatzkräften bei der Hilfeleistung bei Bränden, Unfällen und Betriebsstörungen [18]. Da durch die Fahrrohrleitungen ausschließlich Güter und keine Personen transportiert werden sollen, wurden die notwendigen Sicherheitstechniken so ausgewählt, dass ein sicherer und zuverlässiger fahrerloser Betrieb gewährleistet und ein ausreichender Schutz des Personals bei Reparatur- oder Instandhaltungsarbeiten vorhanden ist.

2.4.5.2 Richtlinien

Bei der Festlegung der erforderlichen konstruktiven Tunneleinbauten und der sicherheitstechnischen Ausrüstung für die Fahrrohrleitungen des unterirdischen Containertransport wurden folgende Richtlinien zugrundegelegt:

Eisenbahntunnel

- Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln; Richtlinie des EBA; Stand 01.07.1997 [19]

Straßentunnel

- RABT: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen; 2003 [18]

2.4.5.3 Sicherheitstechnik für die Fahrrohrleitungen

Auf der Grundlage der oben aufgeführten Richtlinien wurden die erforderlichen Einbauten der Fahrrohrleitungen für den unterirdischen Gütertransport festgelegt. Bei der Wahl der betrieblichen Einrichtungen wurde das Hauptaugenmerk auf einen sicheren und zuverlässigen fahrerlosen Betrieb des Gütertransports gelegt. Nachfolgend sind die betrieblichen und sicherheitstechnischen Einrichtungen zusammengestellt:

- Notausgänge und Rettungsschächte
- Flucht- und Rettungswege
- Notbeleuchtung
- Fluchtwegkennzeichnung
- Energieversorgung
- Videoüberwachung
- BOS-Funk
- Tunnelentwässerung
- Brandschutz Tunnelplatten
- Kabelkanäle / Leerrohre
- Löscheinrichtungen (optional).

Die o.a. Brandschutzplatten werden im vorliegenden Anwendungsfall nur in den Streckenabschnitten eingesetzt, die aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit bzw. -nutzung in geschlossener Bauweise hergestellt werden müssen und daher von der Geländeoberkante schlecht zugänglich sind. In den übrigen Bereichen wird in diesen

seltenern Katastrophenfällen davon ausgegangen, dass die Oberfläche gesperrt werden kann. Alternativ zu den Brandschutz Tunnelbauplatten kann Brandschutz – Spritzputz eingesetzt werden.

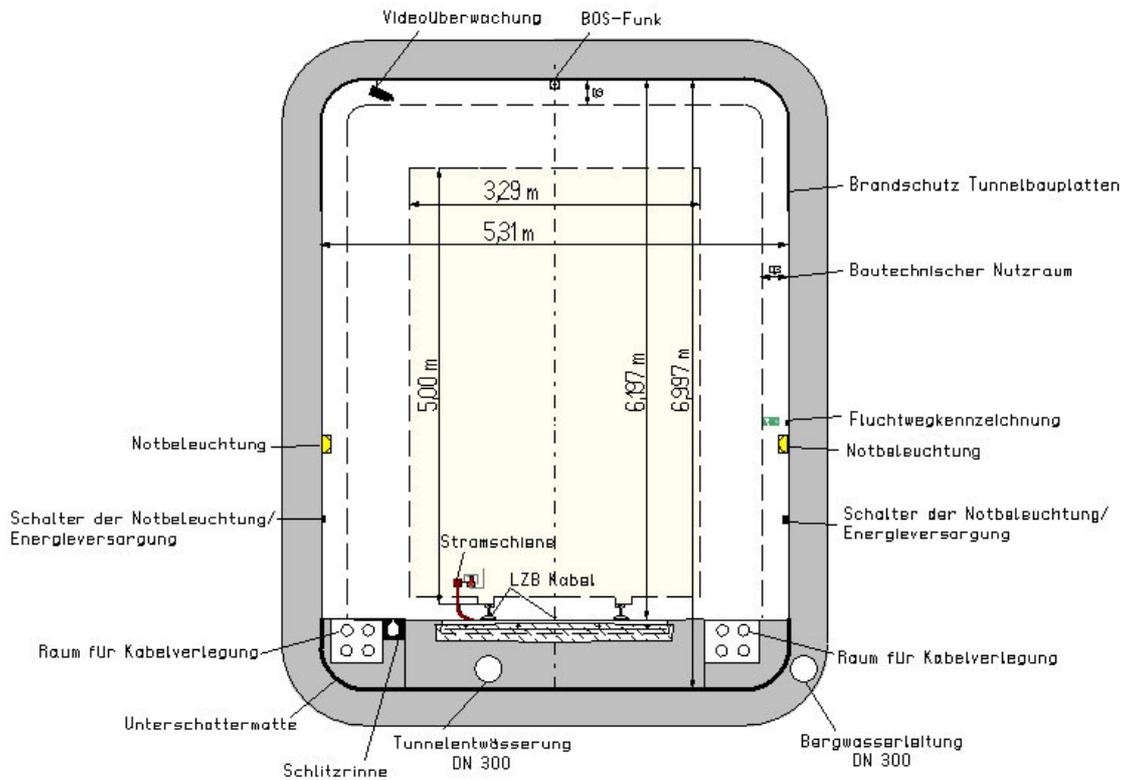


Bild 2-45: Sicherheitsstechnische Einrichtungen, Rechteckquerschnitt Einspur

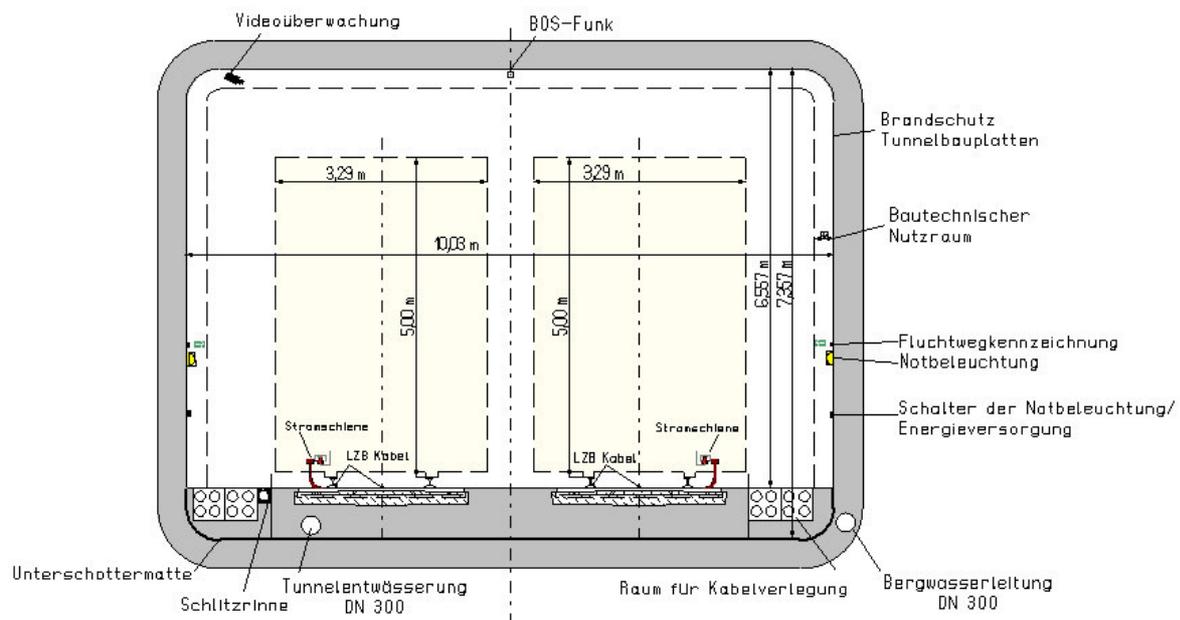


Bild 2-46: Sicherheitsstechnische Einrichtungen, Rechteckquerschnitt Doppelspur

In Bild 2-45, Bild 2-46 und Bild 2-47 sind die oben aufgeführten betrieblichen und sicherheitstechnischen Einrichtungen für die verschiedenen Querschnittsvarianten der Fahrrohrleitungen grafisch dargestellt.

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Einbauten ist dem Abschlußbericht von S&P zu entnehmen.

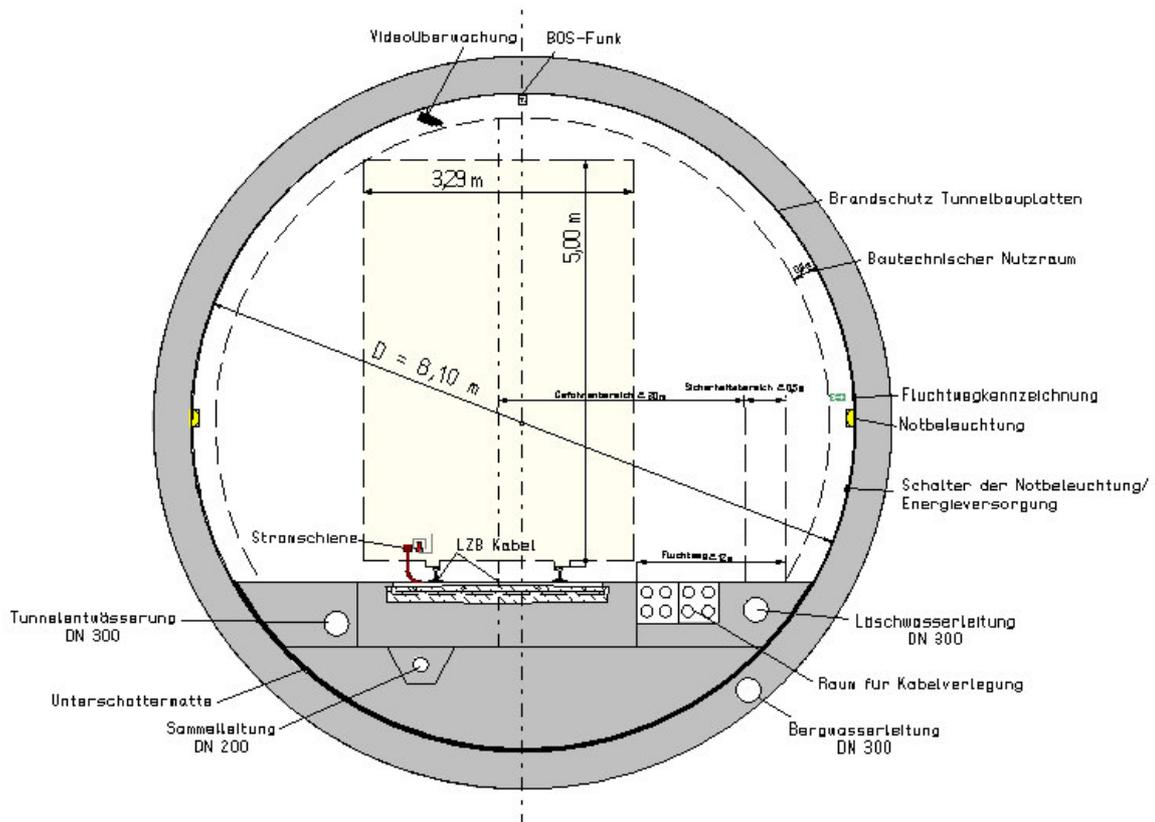


Bild 2-47: Sicherheitsstechnische Einrichtungen, Kreisquerschnitt Einspur

Für die Abschätzung der Baukosten im Abschnitt 4.1 wurden die Kosten für die oben aufgeführten betrieblichen und sicherheitstechnischen Einrichtungen zusammengestellt. Da es sich im vorliegenden Anwendungsfall um eine Machbarkeitsstudie handelt konnten die Kosten nur grob geschätzt werden. Für die

- Notausgänge / Rettungsschächte,
- Notbeleuchtung,
- Fluchtwegkennzeichnung,
- Energieversorgung,
- Videoüberwachung,

- BOS-Funk,
- Tunnelentwässerung und
- Kabelkanäle / Leerrohre
- wurden pauschal für Einspur- und Doppelspurröhren 350,00 €/m angesetzt. Für die Brandschutz Tunnelbauplatten für
- Rechteckquerschnitte / Einspurröhre 660,00 €/m,
- Rechteckquerschnitt / Doppelspurröhre 1086,00 €/m,
- Kreisquerschnitte / Einspurröhre 1050,00 €/m
- angesetzt werden.
- Die Kosten für den Brandschutz-Spritzbeton wurden für die einzelnen Querschnitte wie folgt geschätzt:
- Rechteckquerschnitte / Einspurröhre 925,00 €/m,
- Rechteckquerschnitt / Doppelspurröhre 1280,00 €/m,
- Kreisquerschnitte / Einspurröhre 470,00 €/m
- Für die optional vorgesehenen automatisierten Löschwassereinrichtungen wurden 1000,00 €/m angesetzt.

2.4.6 Fahrwegausstattung

Aufgrund der Entscheidung, die optionale Erfassung von konventionellen Güterzügen zu ermöglichen und der sich daraus ergebenden Anforderungen an das Transportfahrzeug ist der Fahrweg in seinen wesentlichen Merkmalen (Spurweite, Längsneigung, Schienenprofil,...) in Anlehnung an die EBO zu konzipieren. Somit beschränkt sich die diesbezügliche Untersuchung aus maschinenbautechnischer Sicht auf die Diskussion hinsichtlich des Oberbaus.

Im deutschen Streckennetz finden zwei Oberbau-Bauarten Verwendung. Im Tunnel weist der konventionelle Schotteroberbau gegenüber dem System der „Festen Fahrbahn“, die mit drei- bis vierfach höheren Erstinvestitionskosten (Feste Fahrbahn: ca. 2000 €/m) anzusetzen ist, entscheidende Nachteile auf. Vordergründig ist hier der deutlich höhere Wartungs- und Instandhaltungsaufwand zu nennen, der sich vor allem aus Stopfarbeiten am Schotterbett zum Ausgleich von Setzungen und Verbessern der Gleislagestabilität, häufigeres Schienenschleifen und der

Gleisbettreinigung zusammensetzt. Nach Auskunft des Herstellers des Feste Fahrbahn Systems ÖBB/Porr (elastisch gelagerte Gleistragplatte) sind bei einer von der Porr AG selbst 1989 auf freier Strecke erstmals eingebauten Festen Fahrbahn bis dato keine Instandhaltungs- und Wartungskosten angefallen. Unabhängig von der gewählten Oberbauart ist nach Porr direkt nach der Verlegung der Schienen und nach einer Betriebsbelastung von 100 Mio. t eine Schienenschleifung erforderlich, die jeweils mit einem Kostensatz von ca. 3 €/m zu veranschlagen ist. [20] schlägt hingegen vor, zur nachhaltigen Verlängerung der Liegedauer der Schienen in kürzeren Abständen zu schleifen, um dem exponential zunehmendem Risswachstum präventiv entgegenzuwirken.

Weiterhin rechnen sowohl Unternehmen der Gleisbaubranche als auch wissenschaftliche Institute und die einschlägige Literatur [20] bei einer Festen Fahrbahn mit einer mit 60 Jahren ca. zweifach höheren Lebensdauer. Nach Erreichen der Betriebsfestigkeit der Fahrbahn ist dann allerdings mit hohen Umbaukosten zu rechnen, die letztlich einem Neubau entsprechen.

Ein Nachteil des Systems der Festen Fahrbahn liegt in seinem gegenüber dem Schotteroberbau schlechten Schalldämpfungsverhalten begründet. Die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [21] erlaubt eine Abschätzung des emittierten Schalls für die Tagesspitzenbelastung der als Feste Fahrbahn ausgeführten Strecke. Bei 38 scheinengebremsten, abstandsgeregelte fahrenden Fahrzeugen je Stunde und Richtung ergibt sich bei Fahrt auf offener Strecke in einer Entfernung von 10 m zum Emissionsort ein Beurteilungspegel von ca. 70 dB(A). Die Übertragung des Schalls vom Emissions- zum Immisionsort wird stark von den dazwischen liegenden Hindernissen, im Falle des untersuchten Systems also vom Fahrrohr, dem Erdreich, in das es verlegt ist, Lüftungsöffnungen, usw. und deren akustischen Kennwerten (z.B. Absorptionsgrad, Dämpfungskoeffizient des Betons, des Fahrrohrs, usw.), zusammengefasst von baulichen Gegebenheiten beeinflusst. Die Berücksichtigung des Einflusses der topologischen und baulichen Gegebenheiten auf den Beurteilungspegel erlaubt laut [21] die Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03 – Amtsblatt der DB Nr. 14). Inwiefern diese Richtlinie auf das untersuchte System mit hohem Versperrungsmaß und enorm hohem Tunnelanteil der Gesamtstrecke anwendbar ist, bleibt zu untersuchen. Da dies die detaillierte

Kenntnis der bautechnischen Randbedingungen voraussetzt, geht eine solche Untersuchung über den Rahmen der durchgeführten Machbarkeitsstudie hinaus. Allerdings vermindert laut [22] bereits ein Trog, in dem der Fahrweg verlegt ist, den Beurteilungspegel um 15 dB(A), sodass für den unterirdischen Verkehr ein Beurteilungspegel im Abstand von 10m zum Emissionsort von maximal 55 dB(A) angenommen werden kann. Zur weiteren Verringerung der Schallemission finden im Bereich des Schienenwegebbaus zusätzliche Schallminderungsmaßnahmen wie etwa der Einbau schwingungsdämpfender Masse-Feder-Systeme Anwendung. Solche Systeme können in Abschnitten der Strecke, wo besonders hohe Anforderungen an den Lärm- und Erschütterungsschutz gestellt werden, also beispielsweise bei Unterquerungen von bebautem Gebiet, eingebaut werden. Der angesetzte Kostensatz für die Feste Fahrbahn lässt nach Einschätzung einzelner Hersteller und des Autors eine ausreichende Ausstattung der Strecke mit schalldämmenden und schwingungsisolierenden Komponenten zu.

Nach Meinung von [20] ist bei Abwägung der Vor- und Nachteile der „schotterlose Oberbau in Tunneln ohne Zusatzmaßnahmen im Unterbau gegenüber dem Schotteroberbau wirtschaftlich.“ Die eingangs erwähnte, durch ihre Höhe im Vergleich nachteilig erscheinende Erstinvestition für die Feste Fahrbahn wird darüber hinaus durch die niedrigere Bauhöhe dieses Fahrbahntyps und daraus resultierendem geringeren Tunnelquerschnitt und -baukosten relativiert. Allerdings nimmt die Vorgehensweise bei der Erstellung der unterirdisch verlaufenden Strecke großen Einfluss auf die Einbaukosten der Festen Fahrbahn, was für ein solches Projekt die Entwicklung neuer Fertigungstechnologien sinnvoll erscheinen lässt.

Der vom bautechnischen Projektpartner entwickelte Streckenverlauf besteht aus im Wechsel angeordneten Einfach- und Doppelspurabschnitten. Zum Anschluss der Doppel- an die Einfachspurabschnitte sind standardmäßig einfache Weichen EW 1200 – 1:18,5 mit einer zulässigen Überfahrgeschwindigkeit von 100 km/h angesetzt, deren Preis sich incl. Einbau auf ca. € 200.000,- beläuft.

Für die Ausstattung des Fahrwegs mit Kommunikations- und Ortungseinrichtungen kann auf Basis einer groben Abschätzung der erforderlichen Komponenten ein Kostensatz von ca. 200 €/m angegeben werden. Dieser setzt sich zusammen aus den vom Projektpartner IVE erhaltenen Angaben zu den Kosten der streckenseitig verlegten Linienleiters für die Linienzugbeeinflussung von 100 €/m und weiteren 100

€/m für darüber hinaus erforderliche Komponenten wie etwa EURO-Balisen zur exakteren Ortung der Fahrzeuge, die das automatische und abstandsgeregelte Fahren der Caps im Fahrzeugverband erfordern kann.

Neben den Kosten für Material und Erstellung der Festen Fahrbahn stellen ihre Projektierung und die Streckenplanung weitere Kostenpunkte dar. Für diese Posten ist nach Angaben der Porr AG in Summe mit ca. 5% der Bausumme der Festen Fahrbahn zu rechnen.

2.4.7 Energieversorgung

In diesem Kapitel wird ein Konzept zur Energieversorgung der Containerstrecke zwischen Hamburg und Duisburg vorgestellt und am Beispiel eines Betriebsmodells näher erläutert.

2.4.7.1 Energieversorgungssysteme

Die Auswahl möglicher Energieübertragungssysteme orientiert sich aus technischer Sicht maßgeblich an zwei Faktoren. Die benötigte Antriebsenergie muss unter Berücksichtigung der eingeschränkten Platzverhältnisse in der Fahrrohrleitung und den daraus resultierenden geringen Isolationsabständen zuverlässig und mit geringen Verlusten übertragen werden.

Daher wurden Gleichstrom-, Wechselstrom- und Drehstromsysteme sowie Systeme zur berührungslosen Energieübertragung [23] untersucht und entsprechend ihrer Eignung klassifiziert.

Aufgrund der hohen Anforderungen bezüglich der Betriebssicherheit und um eine möglichst rasche und kostengünstige Umsetzung des vorgeschlagenen Konzepts sicherzustellen, wurde die Auswahl möglicher Energieversorgungssysteme auf solche begrenzt, die sich im Bereich von Bahnanwendungen bewährt haben. Hierzu zählen neben Gleichstromsystemen mit Betriebsspannungen von 1,5 kV oder 3 kV auch Wechselstromsysteme mit einer Betriebsspannung von 25 kV (15 kV) bei einer Netzfrequenz von 50 Hz (16,7 Hz).

Der einfache, Platz sparende elektrische Aufbau der Fahrzeuge ohne Transformator ist letztendlich in Verbindung mit der schon zum jetzigen Stand der Planungen relativ hohen Fahrzeugzahl, die sich bei vollständiger Ausnutzung der Transportkapazität der Tunnelröhre noch einmal deutlich erhöhen würde – ausschlaggebend für die

Entscheidung, zur Energieversorgung der Strecke ein 3-kV-Gleichstromsystem einzusetzen. Zusätzlich kann die Energie von verschiedenen Anbietern bezogen werden, was sich positiv auf die Betriebskosten auswirkt.

2.4.7.2 Konzept der Einspeisung

Um ein bidirektionales Verkehrsaufkommen weitgehend ohne Wartezeiten bewältigen zu können, sehen die Planungen der Strecke eine einspurige Trassenführung mit Begegnungsstellen vor.

Setzt man eine konstante Fahrgeschwindigkeit als gegeben voraus, so sind sowohl die Transportkapazität als auch die Wartezeit bis zum Transport von dem Abstand und der Länge der Begegnungsstellen abhängig.

Die Länge der zweisepurigen Streckenabschnitte wird nun so festgelegt, dass die Strecke optional auch von Güterzügen befahren werden kann.

Die Tabelle 2-5 verdeutlicht diese Zusammenhänge am Beispiel von drei Betriebskonzepten.

Man erkennt sehr deutlich, dass die Verkürzung der Taktzeiten in Folge eines geänderten Betriebskonzepts die Verringerung der Abstände der zweisepurigen Streckenabschnitte, also eine Verkürzung der einspurigen Streckenabschnitte nach sich zieht.

Tabelle 2-5 Auswirkung des Betriebskonzepts auf die Länge der einzelnen Streckenabschnitte

Taktzeiten:	Länge der Streckenabschnitte	
	zweisepurig:	einspurig:
10 min	2,7 km	4,0 km
20 min	2,7 km	10,7 km
30 min	2,7 km	17,4 km

Unter Abwägung verschiedener Faktoren – wie Transportaufkommen, -qualität, Investitionskosten, etc. – erscheint ein Konzept mit 30-minütiger Taktzeit am geeignetsten. Bild 2-48 zeigt beispielhaft die mögliche Struktur der Energieversorgung der Strecke.

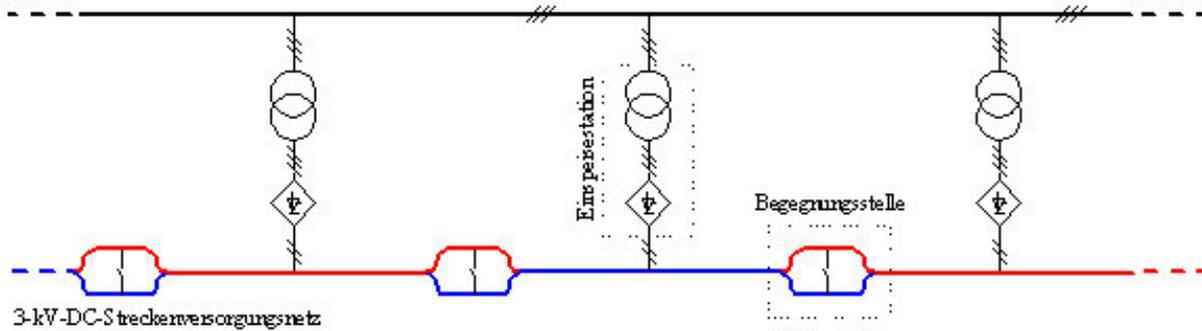


Bild 2-48 Einspeisekonzept für eine Taktzeit von 30 Minuten

Bei einer Verkürzung der Taktzeiten ist die Erweiterung der Strecke durch zusätzliche Doppelspurabschnitte (vgl. Tabelle 2-5) bis hin zu einer komplett zweispurigen Streckenführung erforderlich. Während dieser Baumaßnahmen können problemlos bestehende Einspeisestationen ausgebaut oder zusätzliche Einspeisestationen errichtet werden.



Bild 2-49 380/220-kV Verbundnetz



Bild 2-50 110-kV-Bahnstromverbundnetz der DB Energie

Die Versorgung einzelner Streckenabschnitte erfolgt über Unterwerke aus dem Landesnetz. Die Bezeichnung Landesnetz kennzeichnet überregionale Energieversorgungsnetze verschiedener Spannungsebenen.

Bild 2-49 und Bild 2-50 verdeutlichen an zwei Beispielen, dass entlang des geplanten Trassenverlaufs zwischen Hamburg und Duisburg engmaschige Netze unterschiedlicher Betreiber existieren.

Bei Ausfall eines Unterwerks ermöglichen Längskupplungen die Versorgung des betroffenen Streckenabschnitts aus einem benachbarten Unterwerk. Zur Stützung des Netzes sowie zur Verringerung des Energieverbrauchs ist es sinnvoll, die Unterwerke mit Energiespeichern auszurüsten [24], [25], [26].

Die Stromzuführung erfolgt über eine seitlich in der Tunnelröhre angebrachte Stromschiene. Zur Steigerung der Betriebssicherheit oder bei der Anpassung der Energieversorgung an ein gesteigertes Transportaufkommen, kann eine zweite Stromschiene auf der gegenüberliegenden Tunnelseite angebracht werden.

Die Fahrschienen dienen als Rückleiter.

Der Querschnitt der Stromschiene sowie die Länge der Einspeiseabschnitte wird durch die maximal zulässigen Verluste bezogen auf einen Streckenabschnitt bestimmt. Ein Maß hierfür ist der Spannungsabfall längs der Stromschiene, der mit Hilfe der Formel 4-1 beschrieben wird.

$$\Delta u = 2 \cdot l \cdot I \cdot r \quad (4-1)$$

mit den auf die Stromschiene bezogenen Größen:

Δu	:	Längsspannungsabfall	[V]
I	:	Stromstärke	[A]
r	:	bezogener Leitungslängswiderstand	[Ω/m]
L	:	Leitungslänge	[m]
l	:	wirksame Länge in Abhängigkeit von der Art der Einspeisung:	
$l = L$;	bei einseitiger Endeinspeisung	
$l = L/2$;	bei Mitteneinspeisung	
$l = L/4$;	bei Einspeisung an beiden Enden	
$l = L/9$;	bei Einspeisung je $L/6$ vom Ende	

Bei gegebener Versorgungsspannung errechnet sich die Höhe der Stromstärke I aus der maximalen Zahl von Fahrzeugen bezogen auf einen Streckenabschnitt unter Berücksichtigung des Fahrkonzepts.

Zusätzlich muss der Leistungsbedarf der Fahrzeuge innerhalb eines Streckenabschnitts berücksichtigt werden, der durch die Topographie der Strecke (Beschleunigungsbereiche sowie Steigungstrecken (vgl. Bild 2-64)) bestimmt wird.

2.4.7.3 Energiebedarf

Wie bereits dargestellt, wird der Energiebedarf eines Fahrzeugs im Wesentlichen durch den Fahrwiderstand bei der Fahrt in der Ebene bestimmt. Voraussetzung für diesen Ansatz ist die Annahme, dass das Transportaufkommen für beide Fahrrichtungen gleich verteilt ist.

Bild 2-51 zeigt den Fahrwiderstand eines Fahrzeugs in der Ebene in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit mit dem Fahrzeuggewicht als Parameter.

Die Kurvenverläufe für ein unbeladenes (F_{w1}) und ein voll beladenes Fahrzeug (F_{w3}) stellen die Grenzen des möglichen Fahrwiderstands dar.

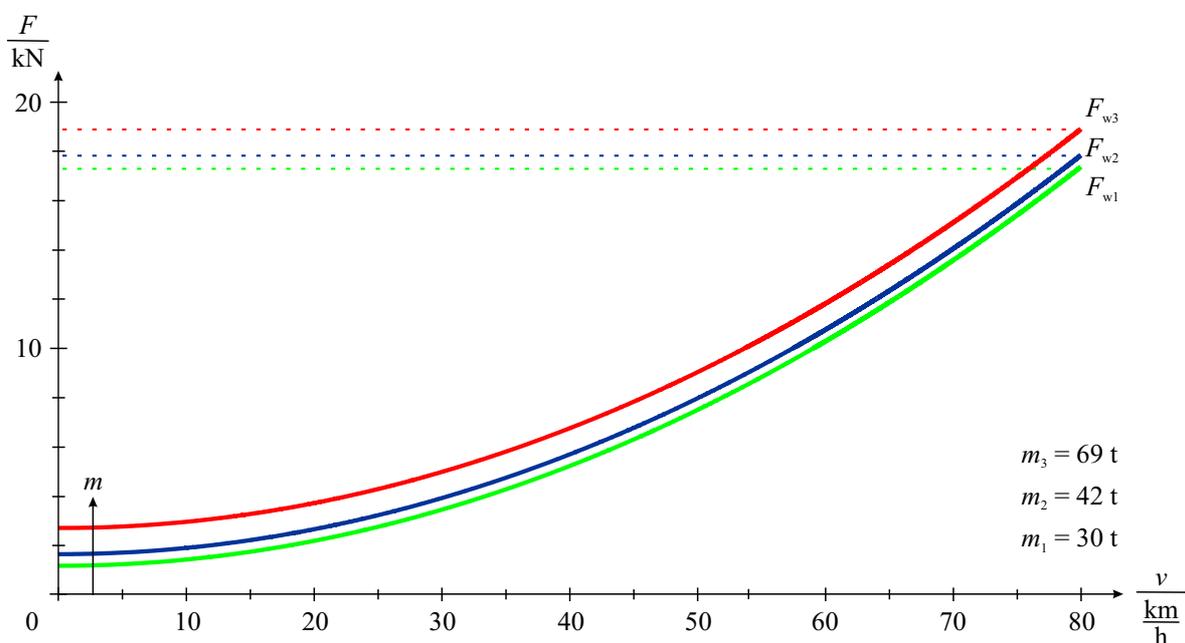


Bild 2-51 Fahrwiderstand-Geschwindigkeit-Diagramm mit dem Fahrzeuggewicht als Parameter

Für alle anderen Ladungszustände ist beispielhaft der Fahrwiderstand eines durchschnittlich beladenen Fahrzeugs (F_{w2}) dargestellt.

Man erkennt, dass bei konstanter Fahrt mit hoher Geschwindigkeit der Einfluss der Fahrzeugmasse auf den Fahrwiderstand nur gering ist.

Unter diesen Bedingungen errechnet sich ein Energiebedarf zwischen $4820 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$ und $5250 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$. Berücksichtigt man nun noch, dass die zum Beschleunigen erforderliche Energie beim Bremsen nicht vollständig zurückgewonnen werden kann, so erhöht sich der errechnete Energiebedarf um einen Faktor, der von der Anzahl der Beschleunigungs- und Steigungstrecken sowie vom Wirkungsgrad der Rekuperation abhängig ist.

2.5 Transportfahrzeug

2.5.1 Umfeld der Untersuchung und Aufgabenstellung

Die Globalisierung der Märkte führt zu einem überproportionalen Wachstum des Güterverkehrsaufkommens. Der prognostizierte Modal Split zeigt, dass der weitaus größte Anteil des Güterverkehrsaufkommens auf den Verkehrsträger Lkw, der bereits heute den Transportmarkt dominiert, entfallen wird. Da sowohl Binnenschiff als auch Eisenbahn im Güterverkehr Kapazitätsreserven besitzen und darüber hinaus als ökologisch vorteilhafter und verkehrssicherer angesehen werden, hat sich die Bundesregierung im Zuge ihrer Verkehrspolitik dazu entschieden, die Wettbewerbssituation dieser beiden Verkehrsträger mit dem Ziel der Entlastung der Straße zu verbessern. Zentrales Thema ist in diesem Zusammenhang die Förderung des kombinierten Verkehrs. Grundgedanke des kombinierten Verkehrs ist es, eine Transportaufgabe durch aus verschiedenen Verkehrsträgern zusammengesetzte Verkehrsketten zu erfüllen, um die jeweiligen systembedingten Kosten- und Leistungsvorteile nutzen zu können.

Der Grund für die Vorrangstellung des Verkehrsträgers Lkw ist in seiner Eignung bezüglich der seitens der Wirtschaft an ein Transportsystem gestellten Forderungen nach Flexibilität, Schnelligkeit und hoher Transportqualität zu niedrigem Preis zu finden. Ein neues Transportsystem, das in diesem Umfeld als Alternative bestehen soll, muss auf Seiten der Nutzer, der Transportanbieter und der Politik Akzeptanz finden. Demnach gilt es neben der betrieblichen Rentabilität auch die Ansprüche an

Flexibilität, Zeitbedarf, Transportqualität, Energieeffizienz und Ökologie im erforderlichen Maße zu erfüllen.

Innerhalb der interdisziplinär angesetzten Machbarkeitsstudie befasst sich die Arbeit des Lehrstuhls für Maschinenelemente und Fördertechnik der Ruhr Universität Bochum mit der maschinenbautechnischen Aufgabenstellung, deren Schwerpunkt auf der Konzeption eines Fahrzeugs für den Transport von Containern durch unterirdisch verlegte Rohrleitungen liegt.

2.5.2 Anforderungen an das Transportfahrzeug

Bis auf die Kenntnis der zu transportierenden Ladungsformen gehen aus der Aufgabenstellung zunächst keine konkreten Randbedingungen hervor. Im Laufe der Projektarbeit sind die Anforderungen an das Transportfahrzeug teils direkt durch die Arbeit der Projektpartner (externe Anforderungen) teils in Abstimmung mit den Projektpartnern durch den Autor (interne Anforderungen) selbst entwickelt worden. Das entsprechend der ursprünglichen Projektbeschreibung verfolgte Ziel des Transports von Containern durch unterirdisch verlegte Rohrleitungen ist vom Projektteam um die Ladungsformen Sattelanhänger und Wechselbehälter erweitert worden. Um das Transportaufkommen nochmals erweitern zu können, wurde im Projektplenum die Möglichkeit der Übernahme von Güterzügen aus dem öffentlichen Schienennetz an das Transportsystem als Anforderung formuliert, was das Suchfeld für die Fahrzeugkonzepte aufgrund der somit vorgegebenen Fahrweggestaltung einschränkt. Vor diesem Hintergrund ergeben sich aus der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung [27] bezüglich der Spurführung, der zulässigen Radsatzlast, des Lichtraumsprofils, etc. konkrete Anforderungen. Diese in Kapitel 2.5.2.1 beschriebenen Anforderungen sind ergänzt durch Anforderungen, die aus dem Vergleich der existierenden Verkehrssysteme Eisenbahn und Lkw und ihren jeweiligen Vorteilen folgen. So muss ein Transportsystem, das als Alternative zum Lkw dienen soll, eine hohe Flexibilität aufweisen. In diesem Zusammenhang bieten einzelne selbst angetriebene Transporteinheiten geringer Kapazität entscheidende Vorteile gegenüber dem Güterzug. Um der Forderung seitens der Politik hinsichtlich der Ökologie nachkommen zu können, ist ein Ziel der Konzeption, den Energiebedarf durch ein hohes Verhältnis zwischen Nutzlast und Eigengewicht des Transportfahrzeugs gering zu halten. Da die Transportfahrzeuge in unterirdisch verlegten Rohrleitungen betrieben werden, sind besondere Anforderungen an die

Zuverlässigkeit im Betrieb und die Wartung zu stellen, die durch die Verwendung bewährter Technik berücksichtigt werden können.

2.5.2.1 Externe Anforderungen

Die Festlegung der Ladungsformen zu transportierender Güter und die daraus resultierende Transportleistung sind im Wesentlichen auf die Arbeit des wirtschaftswissenschaftlichen Projektpartners zurückzuführen. Anforderungen bezüglich des Lichtraumprofils, das den Querschnitt des Fahrzeugs begrenzt, ergeben sich direkt aus dem bautechnisch vorgegebenen Fahrrohrquerschnitt. Dieser folgt, ergänzt durch Vorgaben zum Fahrweg, aus der Entscheidung des Projektplenums, Güterwagen, wie sie im Schienennetz der Deutschen Bahn AG verkehren, im Transportsystem erfassen zu können.

Die Untersuchung des LMF befasst sich über die Bestimmung der daraus für das zu konzipierende Transportfahrzeug folgenden Rahmenbedingungen hinaus nicht mit der Thematik DB-Netz kompatible Güterwagen durch das unterirdische Fahrrohr durchzuschleusen. Es sei lediglich erwähnt, dass, wie innerhalb des Projektteams diskutiert, bei Übernahme eines Güterzugs eine marktübliche, elektrisch angetriebene Lokomotive, die entsprechend auf das Transportsystem angepasst ist (Energieübertragung, automatische Steuerung), die bemannte Lokomotive ersetzt.

2.5.2.2 Ladungsformen zu transportierender Güter

Wie bereits angesprochen war die ursprüngliche Aufgabe des Projekts, die Machbarkeit eines unterirdischen, rohrleitungsgebundenen Transportsystems für Container zu untersuchen (vgl. [28]). Die Erweiterung der zu transportierenden Ladungsformen um Wechselbehälter und Sattelanhänger erlaubt eine Ausweitung der für das Transportsystem relevanten Verkehre.

Während die beiden in Form und Handhabung nahezu identischen Ladungsformen Container und Wechselbehälter sich vornehmlich in ihren Abmessungen unterscheiden, stellen Sattelanhänger prinzipbedingt vielfältigere Anforderungen an den Verladungsvorgang und das Lastaufnahmekonzept des Fahrzeugs.

Container

Der ursprünglich für militärische Zwecke entwickelte Container nimmt im Güterverkehr eine zunehmend wichtigere Stellung ein. Vor allem im Off-Shore

Bereich hat sich diese Ladungsform neben Schütt- und flüssigen Gütern als alleiniger Standard etabliert. Bild 2-52 zeigt die wesentlichen Bauformen von Containern.

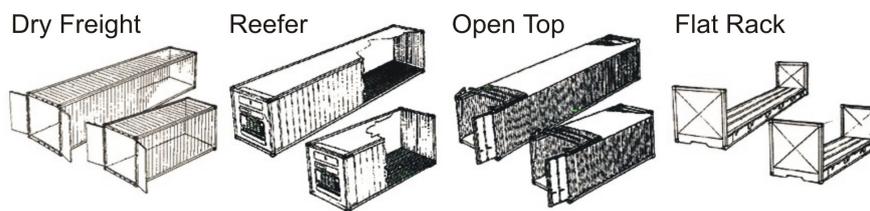


Bild 2-52 Bauformen von Containern

Die Abmessungen und zulässigen Gesamtgewichte von ISO-Containern sind bis zur Baugröße von 40' in der internationalen Norm DIN ISO 668 [29] grundsätzlich festgelegt. Trotz dieser Standardisierung findet im Güterverkehr eine weitaus größere Palette an Containern, die beispielsweise in Länge oder auch zulässigem Gesamtgewicht von der Norm abweichen, Verwendung (vgl. Tabelle 2-6). So kommen im Überseegüterverkehr neben den in der Norm aufgeführten 20' und 40'-Containern vermehrt 45'-Container zum Einsatz. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass die Ausnutzung der Kapazität der Container bei der Mehrzahl der Transporte seltener durch das zulässige Gesamtgewicht des Behälters als durch sein Volumen begrenzt wird. Den in [29] aufgeführten 10' und 30'-Containern kommt dagegen im Güterverkehr heutzutage eine sehr untergeordnete Rolle zu, weshalb sie in der maschinenbautechnischen Untersuchung keine weitere Berücksichtigung finden.

Eine Bezugnahme allein auf die in der Norm aufgeführten Containerabmessungen und -gewichte ist folglich unzureichend. Ziel muss es vielmehr sein, die marktüblichen Containergrößen und -bauformen zu berücksichtigen. Dementsprechend sind die in Tabelle 2-6 aufgeführten Daten über Abmessungen und zulässige Gesamtgewichte unterschiedlicher Containerbauarten aus der Norm, Angaben des Containerherstellers Maersk (vgl. [30]) und des Containerhändlers Star Container (vgl. [31]) zusammengetragen. Für die Fahrzeugkonzeption relevant sind hierbei die in Tabelle 2-6 unterstrichenen Maximalwerte.

Tabelle 2-6 Auslegungsrelevante Abmessungen und Massen – Container

Typ	äußere Abmessungen			zul. Gesamtgewicht [t]	
	Nennlänge [Fuß / Zoll]	Länge [mm]	Breite [mm]		Höhe [mm]
20 std (20´x8´x8´6´´)		6058	2438	2591	<u>30,48</u>
40 std (40´x8´x8´6´´)		<u>12192</u>			32,5
40 high (40´x8´x9´6´´)				<u>2896</u>	<u>34,4</u>
45 high (45´x8´x9´6´´)		<u>13716</u>			32,5

Wechselbehälter

Wechselbehälter sind für „den Gütertransport bestimmte Lkw-Aufbauten, die variabel auch für den innereuropäischen multimodalen Transport geeignet sind“ [32]. Sie unterscheiden sich von Containern im Wesentlichen darin, dass sie „im Hinblick auf die Abmessungen und Eigenschaften von Straßenfahrzeugen optimiert wurde[n]“ [32]. Aus diesem Grund erlauben sie beim Transport von Europaletten, die bei innereuropäischen Transporten die häufigste Ladung darstellen [32], im Gegensatz zu ISO-Containern eine zweireihige Beladung und damit eine bessere Ausnutzung des Stauraums.



Bild 2-53 Wechselbehälter und Umschlag

Es sind zwei Größenklassen von Wechselbehältern zu unterscheiden. Die Maße und Gesamtgewichte der Wechselbehälter der Klasse A sind in DIN EN 425 [33] geregelt; DIN EN 284 [34] definiert diese Werte für Wechselbehälter der Klasse C. Innerhalb dieser Klassen existieren je drei unterschiedliche Behälterlängen.

Tabelle 2-7 Auslegungsrelevante Abmessungen und Massen – Wechselbehälter

Klasse	äußere Abmessungen			zul. Gesamtgewicht [t]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	
C	<u>7820</u>	<u>2600</u>	2670	16
A	13600			34

Binnencontainer

Binnencontainer sind in Aufbau und Handhabung im Wesentlichen mit ISO-Containern identisch. Allerdings lassen Binnencontainer mit ihrer Breite von 2500mm ebenso wie Wechselbrücken eine zweireihige Beladung mit Euro-Paletten zu. Ihre Höhe beträgt nach DIN ISO 15190 [35] 2600mm. Die Längenabstufung der Binnencontainer erfolgt in den vier Containergrößen B6, B7, B9 und B12. Binnencontainer der Klasse B6 haben die gleiche Länge wie 20'-ISO-Container. Die gleiche Beziehung besteht zwischen der Klasse B12 und 40'-ISO-Containern. Die Klassen B7 und B9 stellen auf den Straßengüterverkehr optimierte Binnencontainer dar.

Tabelle 2-8 Abmessungen und Massen – Binnencontainer nach DIN ISO 15190

[35]

Klasse	äußere Abmessungen			zul. Gesamtgewicht [t]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	
B6	6058	2500	2600	24
B7	7150			16
B9	<u>9125</u>			25,4
B12	12192			30,48

Sattelanhänger

Sattelanhänger sind das dominierende Transportmittel im Güterfernverkehr und werden in vielen unterschiedlichen Bauformen angeboten. Ihre Verbindung zur Sattelzugmaschine erfolgt über den Königszapfen, der zur Übertragung der Zugkraft in die Sattelkupplung der Zugmaschine eingreift. Sattelanhänger besitzen je nach Ausführung bis zu drei gebremste Achsen. Bei abgekuppelter Zugmaschine stützt

sich der Sattelanhänger auf im Fahrbetrieb eingefahrene Stützwinden ab und ist durch eine Feststellbremse gegen Wegrollen gesichert.



Bild 2-54 Sattelanhänger (Koffer- und Kesselaufbau)

Die zulässige Länge, Breite und Höhe und das zulässige Gesamtgewicht sind in der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) für einen Sattelzug bestehend aus Sattelzugmaschine und -anhänger festgelegt. Im Zuge der Förderung des kombinierten Verkehrs wurde im Jahre 1992 die EU-Richtlinie 92/106/EWG erlassen, die für Sattelzüge ein zulässiges Gesamtgewicht von 44t statt wie nach StVZO 40t zulässt, solange diese Teil einer Transportkette im Sinne des kombinierten Verkehrs sind.

Da aus der Literatur für Sattelanhänger selbst keine Aussagen über zulässige Länge und Gesamtgewicht hervorgehen, sind die in 0 angegebenen Maximalwerte abgeschätzt. Die bewusst hohe Wahl dieser Werte ist sicherheitsbedingt und vermeidet bei der späteren Konzeption des Transportfahrzeugs, dass Lösungen für das Transportfahrzeug betrachtet werden, die die Menge transportierbarer Sattelanhänger einschränken.

Tabelle 2-9 Auslegungsrelevante Abmessungen und Massen – Sattelanhänger

zul. äußere Abmessungen nach StVZO			zul. Gesamtgewicht [t]
Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	
<u>14000</u>	<u>2600</u>	<u>4000</u>	<u>39</u>

2.5.2.2.1 Bauraum

Um die Option der Übernahme kompletter Züge aus dem DB-Netz zu gewährleisten muss die Dimensionierung des Fahrrohrs auf Basis der vom Gesetzgeber gegebenen Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung [27] erfolgen. In dieser Bestimmung ist mit den Bezugslinien G1 und G2 der zulässige Querschnitt im DB-Netz verkehrender Fahrzeuge begrenzt. Da davon auszugehen ist, dass übernommene Güterzüge auch Fahrzeuge beinhalten, „die nicht im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden“ [27], ist für die Konzeption des Transportfahrzeugs die Annahme des größeren Lichtraumprofils nach Bezugslinie G2 zulässig. Eine Beachtung der zusätzlichen Auflagen bei Oberleitung ist aufgrund der vom Projektpartner EELE vorgeschlagenen Energieübertragung mittels dritter Schiene für diese Untersuchung nicht relevant.

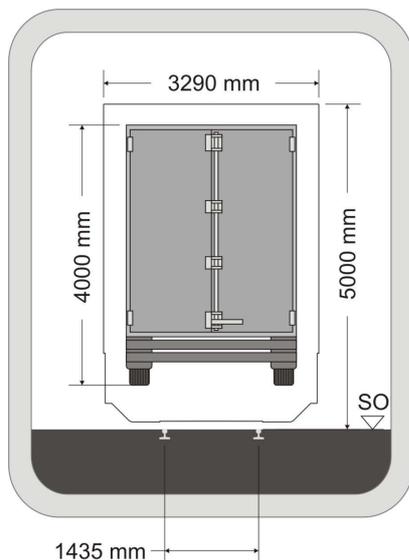


Bild 2-55 Sattelanhänger in erweiterter Grenzlinie

Die Abmessungen der Grenzlinie lassen den Transport von 2,55m breiten Sattelanhängern selbst auf den speziellen darauf ausgerichteten, im System der rollenden Landstraße verwendeten Niederflurwagen nur bis zu einer Eckhöhe von maximal 3805mm zu. Da 4m hohe Sattelanhänger im Straßengütertransport weit verbreitet sind, würde eine Begrenzung der zulässigen Eckhöhe für transportierbare Sattelanhänger auf weniger als die nach StVZO zulässige Fahrzeughöhe von 4m zu einem merklichen Verlust bezüglich des Transportaufkommens für das untersuchte Transportsystem führen.

Der für das Fahrzeug zur Verfügung stehende Bauraum ist faktisch letztlich durch die Abmessungen des Fahrrohrs, der notwendigen Streckenausstattung und entsprechend vorzusehender Sicherheitsabstände begrenzt. Somit kann unter der Voraussetzung, dass die zu konzipierenden Transportfahrzeuge das im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersuchte Transportsystem nicht verlassen, eine neue, erweiterte Grenzlinie (vgl. Bild 2-55) definiert werden, die die Grenzlinie G2 vollständig einschließt.

2.5.2.2.2 Fahrweg

Die Streckenabschnitte zwischen den Terminals sind einspurig angesetzt, wobei sich begegnende Fahrzeuge an dafür vorgesehenen zweispurigen Abschnitten ohne Geschwindigkeitsreduzierung aneinander vorbeifahren können. Dieses Streckenlayout verringert die Baukosten, setzt allerdings einen getakteten Betrieb und damit eine planmäßige Festlegung der Abfahrtszeiten bestimmter Start-Ziel-Relationen voraus.

Bezüglich der Fahrweggeometrie, seiner Eigenschaften und Ausstattung, der Spurführung und der vom bautechnischen Projektpartner durchgeführten Trassierung liefert die aus der optionalen Erfassung von Güterzügen folgende Anlehnung an die [27] noch konkretere Randbedingungen an das Fahrzeugkonzept.

Tabelle 2-10 : Randbedingungen der Schnittstelle zum Fahrweg

Spurweite	1435mm	Schienenprofil	nach EBO
zul. Radsatzlast (Stahl-Stahl)	22,5t	Spurführung	Spurkränze
max. Längsneigung Strecke	12,5‰	min. Kurvenradius	500m

2.5.2.3 Interne Anforderungen

Auch die im Weiteren beschriebenen Anforderungen an das Transportfahrzeug stehen in direktem Zusammenhang mit den Forderungen an das Gesamtkonzept des Transportsystems. Sie sind allerdings nicht quantitativ von anderen Projektpartnern vorgegeben, sondern basieren auf der Analyse der Problemstellung aus technischer Sicht.

2.5.2.3.1 Fahrdynamik

Die wesentlichen Anforderungen an die Fahrdynamik eines Fahrzeugs lassen sich in den Kennwerten Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigungs-, Verzögerungsvermögen und Elastizität quantifizieren. Je nachdem, welchen Systembedingungen ein Fahrzeug unterliegt, besitzen diese Größen bei der Entwicklung eines Antriebskonzepts unterschiedliche Priorität. Der Einfluss der Beschleunigung auf die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Fahrzeit ist für ein Fahrzeug, das aufgrund der Infrastruktur vorwiegend mit Nenngeschwindigkeit fahren kann, im Vergleich zu Fahrzeugen, die im ständigen Stop-and-go- bzw. Kurzstreckenverkehr betrieben werden (z.B. U-Bahn), geringfügig.

Das der Untersuchung zugrunde liegende Betriebskonzept des Transportsystems sieht vor, dass Fahrzeuge beim Verlassen eines Terminals auf ihre Nenngeschwindigkeit beschleunigen und diese bis zum Beginn des Bremsvorgangs vor Einfahrt in das Zielterminal konstant halten. Die Nenngeschwindigkeit steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der geforderten Transportleistung, der Streckenlänge, dem vorgeschriebenen Abstand der Fahrzeuge zueinander und dem aus dem Streckenlayout entwickelten Fahrplan. Im Laufe des Arbeitsprozesses wurde die Nenngeschwindigkeit in Abstimmung mit den Projektpartnern auf 80km/h festgesetzt. Da der Nennbetrieb eine höhere Geschwindigkeit weder fordert noch zulässt, erfolgt die Antriebsauslegung auf Basis dieser konstant zu realisierenden (Maximal-)Geschwindigkeit.

Die Antriebsleistung eines Fahrzeugs wird neben seinem Beschleunigungsvermögen wesentlich durch seine Steigfähigkeit bestimmt. Die im Rahmen der untersuchten Systemgrenzen vorliegenden geringen Anforderungen an die Beschleunigung führen dazu, dass die Antriebsauslegung maßgeblich durch die maximale Streckensteigung bestimmt wird, die das Fahrzeug mit seiner Nenngeschwindigkeit bewältigen muss und an der es im Ausnahmefall auch anfahren können muss. Mit einer möglichen Erweiterung des Streckennetzes steigt die Bedeutung der Beschleunigung allerdings erheblich. Ein für den Anschluss weiterer Terminals erforderlicher flächenorientierter Ausbau des Streckennetzes führt zu einer höheren Anzahl von Verzweigungspunkten, die sich zueinander in kürzeren Abständen befinden. Je enger ein solches Netz ausgeführt ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass Fahrzeuge abbremsen und beschleunigen müssen, um beispielsweise in Weichen mit

geringeren Radien als 500m die zulässige Seitenbeschleunigung nicht zu überschreiten oder anderen Fahrzeugen an Verzweigungen Vorfahrt zu gewähren. Erweist sich das im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie konzipierte unterirdische Transportsystem als sinnvoll, muss die Erweiterbarkeit sichergestellt sein.

Die Leistung des Transportfahrzeugs ist im betrachteten System wie bereits angesprochen in erster Linie durch die geforderte Steigfähigkeit von 12,5‰ bei 80km/h vorgegeben. Vor diesem Hintergrund kann für die durchschnittliche Beschleunigung ein Wert von mindestens $0,5\text{m/s}^2$ gefordert werden.

Eine weitere Anforderung an das Transportfahrzeug ist die zulässige Bremsverzögerung. Für diese Größe ist ein Wert von $0,5\text{m/s}^2$ ausreichend und problemlos realisierbar.

2.5.2.3.2 Energiebedarf

Ökologische Gesichtspunkte wie Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen stellen bei der vergleichenden Bewertung von Verkehrsträgern ein immer gewichtigeres Kriterium dar. „Sollte das Verursacherprinzip eingeführt werden, so hätte der kombinierte Verkehr zukünftig einen echten, zusätzlichen kommerziellen Vorteil [gegenüber dem reinen Straßengütertransport; der Verf.]. In einer Übergangsphase, bis die von der EU angekündigte Politik, alle externen Kosten einzubeziehen, verwirklicht ist, rechtfertigen diese und andere Umweltvorteile Maßnahmen zur Förderung des kombinierten Verkehrs.“ Zurückzuführen ist diese Aussage des UIRR [36] auf die bis zu sechsfach geringere Rollreibung der Schiene gegenüber der Straße, die sich bei entsprechend guter Auslastung der Zugkapazität, repräsentiert durch ein gutes Nutzlast-Totlast-Verhältnis, in einem Energievorteil auswirkt. Allerdings wirkt einem einzeln fahrenden Transportfahrzeug im Fahrrohr bei dem vom bautechnischen Projektpartner vorgegebenen Fahrrohrquerschnitt ein im Vergleich zu den erwähnten Transportsystemen ca. 4,3-fach höherer Luftwiderstand entgegen, da die Strömung der Luft durch die räumliche Begrenzung gehemmt wird. Die Fahrt mehrerer Fahrzeuge im Fahrzeugverband bzw. in einer Kolonne verringert den Luftwiderstand deutlich [vgl. 37].

Soll das untersuchte unterirdische Transportsystem sowohl wirtschaftlich attraktiv als auch politisch akzeptabel sein, muss es neben den technischen Anforderungen zusätzlichen ökologischen Ansprüchen gerecht werden. Daher strebt die Konzeption

des Transportfahrzeugs neben den technischen auch aus ökologischen Überlegungen heraus entstandene Ziele an. Um den Energiebedarf zu minimieren, gilt es, das Verhältnis zwischen Nutz- und der nicht wertschöpfend bewegten Totlast des Fahrzeugs zu optimieren, was eine Optimierung der Antriebsauslastung bezüglich der im Nennbetrieb auftretenden Transportaufgaben voraussetzt.

2.5.2.3.3 Betrieb und Wartung

Das von bautechnischer Seite vorgegebene Betriebskonzept und das auf dieser Basis entwickelte Streckenlayout sieht vor, dass für jede planmäßig von Start- zu Zielort zur Verfügung gestellte Trasse ein Fahrzeugverband die Strecke befahren kann. Die maximale Länge eines solchen Fahrzeugverbandes bestimmt maßgeblich die erforderliche Länge der doppelspurigen Begegnungsabschnitte. Auf Basis der maximal zulässigen Länge eines Güterzuges im öffentlichen Schienennetz von ca. 750m hat der Projektpartner S&P die maximale Länge der Begegnungsabschnitte auf 2700m dimensioniert. Da innerhalb dieser Strecke ein Anhalten möglich sein muss, ergibt sich bei bekanntem Bremsvermögen eines Transportfahrzeugs und dem daraus folgenden maximalen Bremsweg die zulässige Länge eines Fahrzeugverbandes und je nach Art der Zugbildung die maximale Anzahl an Fahrzeugen im Fahrzeugverband.

Ein momentan entscheidender Vorteil des Verkehrsträgers Lkw gegenüber der Schiene ist, dass er auch kleine Transportmengen wirtschaftlich und ohne lange Wartezeiten (z.B. zur Verladung, Zugbildung) transportieren kann. Aus diesem Grund und um eine Erweiterbarkeit des Transportsystems beibehalten zu können, muss das Fahrzeugkonzept einer flexiblen Systemgestaltung zur Verbesserung der Transportqualität gerecht werden.

Das Systemkonzept erlaubt es nicht, einzeln fahrende Transporteinheiten im absoluten Bremswegabstand, der sich jeweils aus dem maximalen Bremsweg eines Fahrzeugs und einem Sicherheitsabstand zusammensetzt, fahren zu lassen. Eine solche Betriebsweise stellt geringe Anforderungen an die Überwachung und Regelung der Fahrzeuge im Verband, führt jedoch zu einer sehr hohen Länge der Fahrzeugverbände und ist daher bei dem einspurig angelegten Streckenlayout unter dem angenommenen Verkehrsaufkommen nicht tragbar. Eine Verringerung der Fahrzeugabstände kann neben der klassischen mechanischen Kopplung der Fahrzeuge durch neue Entwicklungen zur Abstandsregelung ermöglicht werden.

Unabhängig von der Art der Zugbildung muss zur Anpassung der Transportkapazität an das Aufkommen die Zugbildung automatisch und vor allem flexibel erfolgen können.

Der vollautomatische und unterirdische Betrieb, der dem Transportsystem zugrunde liegt, stellt sehr hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Transportfahrzeuge. Aus dem gewählten Streckenkonzept folgt eine zusätzliche Steigerung dieser Anforderungen, da der Ausfall eines Fahrzeugs in einem einspurigen Streckenabschnitt zum Zusammenbrechen des gesamten Betriebs in der entsprechenden Relation führt. Daher ist bei der Konzeption des Fahrzeugs eine Redundanz der Funktionen (z.B. Antrieb) zu gewährleisten. Weiterhin sind Systeme vorzusehen, die eine Überwachung des Betriebszustands ermöglichen und dabei Wartungsbedarf frühzeitig erkennen und selbsttätig melden. Darüber hinaus muss die Möglichkeit geboten werden, Sendungen zu verfolgen (Track´n´Trace), um der vermehrt von der Industrie an die Transportunternehmen gestellten Forderung nach Information gerecht zu werden.

Um eine hohe Zuverlässigkeit im Betrieb sicherzustellen und die Realisierbarkeit des untersuchten Transportsystems quantitativ beurteilen zu können, ist die Verwendung bewährter und damit beherrschter technischer Komponenten zweckmäßig. Darüber hinaus weist diese Herangehensweise im Hinblick auf die gestellte Transportaufgabe nicht nur Kostenvorteile gegenüber der Entwicklung neuer Technologien auf.

2.5.3 Fahrzeugkonzepte

Die schrittweise Konzeption des Fahrzeugs beleuchtet seine Funktion zunächst hinsichtlich der Lastaufnahme. Aus dem abgeleiteten Ladeschema ergeben sich zu transportierende Lasten, die der Antriebskonzeption zugrunde liegen. Überlegungen zum Fahrwerk und der Regelung und Steuerung komplettieren die Untersuchung, wobei sich innerhalb des Regelungs- und Steuerungskonzepts ein Schwerpunkt der Untersuchung bezüglich des Fahrens im Fahrzeugverband ergibt.

Um die Bewertung der entwickelten Konzepte nachvollziehbar zu gestalten, liegen ihr Kriterien zugrunde, die mittelbar aus den Anforderungen abgeleitet sind. Da je nach Teilkonzept unterschiedliche Aspekte von Bedeutung sind, müssen funktionsspezifische Kriterien definiert werden. Hierbei ergeben sich aus der objektiven technischen Betrachtung einerseits konkrete Kriterien (z.B. Nutzlast-

Totlast-Verhältnis) andererseits können einige entscheidende Unterschiede der Fahrzeugkonzepte nur in subjektiver Form beurteilt werden, da die Möglichkeit eines analytischen Nachweises nur bedingt gegeben ist. Jedes Kriterium ist zur Berücksichtigung seiner Bedeutung mit einem Gewichtungsfaktor zwischen „weniger wichtig“ (Gewicht 1) und „sehr wichtig“ (Gewicht 3) ausgestattet. Der Bewertung der Lösungen bezüglich der Kriterien liegt die Staffelung „ungenügend“ (0 Punkte), „tragbar“ (1 Punkt), „ausreichend“ (2 Punkte), „gut“ (3 Punkte) zugrunde. Die Summe der Produkte aus der je Kriterium erhaltenen Wertung und dem Gewicht des Kriteriums ergibt die Gesamtpunktzahl der Lösung. Die technische Wertigkeit einer Lösung berechnet sich als Quotient aus seiner Gesamtpunktzahl und der maximal möglichen Punktzahl.

2.5.3.1 Lastaufnahmekonzept

Die drei untersuchten Lastaufnahmekonzepte, von denen zwei auf für den Eisenbahngüterverkehr konzipierten Waggons zum Transport von Sattelanhängern, Wechselbehältern und Containern basieren, unterscheiden sich im Wesentlichen durch das Umschlagprinzip. Während die Bewertung zeigt, dass der vertikale Umschlag grundsätzliche Nachteile mit sich bringt, unterscheiden sich die beiden den horizontalen Umschlag verfolgenden Systeme durch die Art der Lasteinleitung in die tragende Struktur und folglich durch das Eigengewicht.

Die Verladung und die Ladungssicherung von Containern und Wechselbehältern sind aufgrund der standardisierten Schnittstellen der Ladeeinheiten und der vielfältigen Lösungen aus dem Bereich der Fördertechnik als unproblematisch anzusehen. Dagegen ist es im Rahmen der Anforderungen nicht möglich, einheitliche Schnittstellen zwischen Sattelanhänger und Transportfahrzeug vorzugeben. Ein für die Transportanbieter akzeptables Transportsystem darf keine zusätzlichen Anforderungen an die Sattelanhänger stellen. In der Praxis zeigt sich, dass beispielsweise bimodale, auf speziell ausgerüsteten Sattelanhängern basierende Systeme oder die bahnüblichen Taschenwagen, die die Kranbarkeit von Sattelanhängern voraussetzen, nur mäßigen Erfolg erzielen. Daher ist bei der Konzeption verstärkt Wert darauf zu legen, dass das Fahrzeug den Transport jeglicher aus ökonomischer Sicht für das Transportsystem relevanter Sattelanhänger gestattet.

Die folgenden Abschnitte stellen drei verschiedene Lösungen zum Transport von Sattelanhängern vor, die keine spezielle Vorbereitung der Sattelanhänger voraussetzen. Innerhalb eines jeden Lastaufnahmekonzepts bildet ein als Adapter fungierendes befahrbares Lademodul die Schnittstelle zwischen Sattelanhänger und Transportfahrzeug. Allerdings kann das Lademodul je nach Umschlagsprinzip verschieden schwer ausgeführt werden, was sich letztlich auf das Gesamtgewicht der Transportfahrzeuge niederschlägt. Da die betrachteten Systeme in der Lage sind auch Container und Wechselbehälter aufzunehmen, reicht ihr Vergleich zur Wahl eines Lastaufnahmekonzepts.

Das Lastaufnahmekonzept X basiert auf dem vertikalen Umschlag der auf Lademodulen abgestellten Sattelanhänger mittels Kran auf das Transportfahrzeug. Lastaufnahmekonzept Y liegt das System CargoBeamer® [vgl. 38] zugrunde, das als Waggonaufsatz bezeichnete Lademodule vorsieht, die sich zur Aufnahme von Sattelanhängern, Containern und Wechselbehältern eignen und durch Verschieben quer zur Fahrtrichtung seitlich verladen werden. Lastaufnahmekonzept Z verwendet das Prinzip der bereits vom Transporttechnikhersteller Lohr am Markt angebotenen Modalohr-Tragwagen [vgl. 39], das auf der Rotation der Ladefläche um die als Drehachse in Fahrzeugmitte ausgeführte Verbindung zum Tragrahmen beruht.

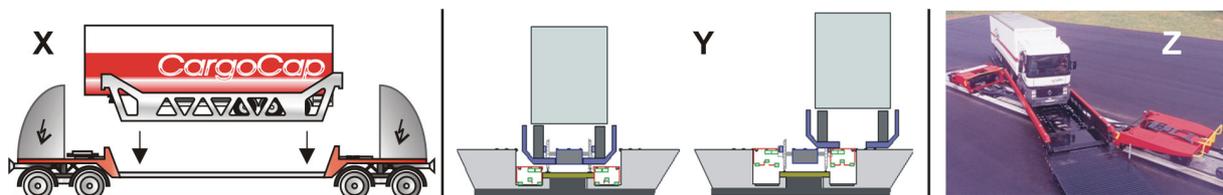


Bild 2-56 Lastaufnahmekonzept

Der Energiebedarf eines Fahrzeugs steigt mit seiner Masse. Daher ist ein Vergleich der Lastaufnahmekonzepte in Bezug auf das **Eigengewicht** des **Lademoduls** sinnvoll. Gewichtsunterschiede sind in der je nach Lastaufnahmekonzept unterschiedlichen Lastübertragung vom Lademodul sowohl auf das Fahrzeug, als auch auf die Umschlagseinrichtung zu suchen. Beispielsweise resultiert beim System Modalohr aus den höheren Beanspruchungen in der tragenden Struktur, die darauf zurückzuführen sind, dass während des Umschlagvorgangs die gesamte Last über den zentrisch angeordneten Drehzapfen in der Modulmitte übertragen wird, ein höheres Eigengewicht des Lademoduls als bei Systemen, bei denen die

Umschlagseinrichtung an den Enden des Lademoduls angreift. Weitere fahrzeugbezogene Bewertungskriterien sind der **Aufwand zur Ladungssicherung** und der **Kostenaufwand des Lademoduls**, der je nach Konzept bzw. Umschlagprinzip unterschiedlich zu beurteilen ist.

Tabelle 2-11 Lastaufnahmekonzepte – Bewertung

Kriterium	Gewicht	X	Y	Z	Max.
Eigengewicht Lademodul	2	3	3	2	3
Aufwand Ladungssicherung	2	2	1	1	3
Kostenaufwand Lademodul	2	2	3	2	3
Kostenaufwand Umschlagstelle	2	3	1	2	3
Raumbedarf Umschlagstelle	1	3	2	1	3
Handhabung	3	1	3	3	3
Personalaufwand Umschlag	1	2	3	3	3
Umschlagdauer	3	1	3	2	3
paralleler Umschlag	2	1	3	3	3
Erweiterbarkeit	2	1	3	3	3
Summe		35	51	45	60
technische Wertigkeit		0,58	0,85	0,75	1

Die aus dem Umschlagprinzip als wesentlicher Unterschied der dargestellten Lastaufnahmekonzepte folgenden Vor- und Nachteile bezüglich des Verladevorgangs stellen bei der Bewertung eines Fahrzeugkonzepts in Hinblick auf seine Eignung für das Transportsystem wichtige Aspekte dar, da sie großen Einfluss auf die Transportdauer und vor allem die Kosten der Terminals nehmen. Als Bewertungskriterien werden der **Kostenaufwand der Umschlagsstelle**, der **Raumbedarf der Umschlagsstelle**, die **Handhabung** der Umschlagseinrichtung, der **Personalaufwand**, die **Umschlagsdauer** und die Möglichkeit des **parallelen Umschlags** herangezogen. Die Bewertung der Konzepte anhand dieser Kriterien erfolgt auf Basis der technischen Beurteilung des Umschlagaufwands. Die Erweiterbarkeit gibt die Beurteilung der Eignung eines Lastaufnahmekonzepts im Hinblick auf eine **Erweiterung** des Streckennetzes über die im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersuchte Streckenführung hinaus wieder.

Das **Lastaufnahmekonzept Y** nach dem System CargoBeamer® besitzt entsprechend der Bewertung die höchste technische Wertigkeit. Während der vertikale Umschlag (Konzept X) bei den gewichtigen Kriterien (Handhabung, Umschlagdauer) eine schlechte Bewertung erhält und daher insgesamt zurückfällt, stellt das System Modalohr (Konzept Z) eine Alternative zu Konzept Y dar. Allerdings schlagen sich die Lasteinleitung über den zentralen Drehpunkt negativ in Eigengewicht und Kosten des Lademoduls nieder und die Umschlagdauer ist im Vergleich zu Konzept Y als länger einzustufen, da dem erneuten Beladen des Transportfahrzeugs hier zunächst ein Abladen des angelieferten Sattelanhängers vorausgehen muss. Konzept X weist bezüglich des Kostenaufwands und des Raumbedarfs der Umschlagstelle Vorteile auf, allerdings beeinflusst vor allem letztgenanntes Kriterium seine technische Wertigkeit aufgrund der geringen Gewichtung nur unwesentlich. Diese geringe Gewichtung ist darauf zurückzuführen, dass dem geringeren Raumbedarf der Umschlagstelle ein größerer Lagerplatzbedarf entgegensteht. Da der Grenzdurchsatz eines einzelnen Krans systembedingt geringer ist als der gemeinsam erreichbare Grenzdurchsatz der parallel arbeitenden Verladeeinrichtungen bei Konzept Y und Z, kommt es bei häufigen Ankünften beispielsweise zu Stoßzeiten zu Engpässen in der Terminallogistik. Demzufolge müssen in ausreichender Anzahl Warteplätze vorgesehen werden. Darüber hinaus widerspricht Konzept X insgesamt dem Gedanken der Modularität und Flexibilität des Transportsystems, was sich hinsichtlich des Kriteriums Erweiterbarkeit als negativ erweist. So ist bei Konzept X eine Steigerung der Umschlagsleistung eines Terminals durch Beschaffung eines weiteren Krans verbunden mit hohen Investitionen nur in großen Stufen möglich, während Konzept Y und Z eine nahezu stufenlose Anpassung des möglichen Durchsatzes an das betriebliche Aufkommen ermöglicht.

2.5.3.2 Antriebskonzept

Der Entwicklung der Antriebskonzepte liegt eine auf der Bestimmung der Fahrwiderstände basierende Berechnung zugrunde, die es erlaubt, die erforderliche Antriebsleistung unter den geforderten Randbedingungen (Beschleunigung, Steigung, usw.) in Abhängigkeit der konzeptspezifischen Nutz- und Totmasse zu ermitteln. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnung ist im ausführlichen Abschlussbericht des Lehrstuhls für Maschinenelemente und Fördertechnik zur durchgeführten Machbarkeitsstudie zu finden.

Tabelle 2-12 Fahrzeugkomponenten – angenommene Massen und Kosten

Komponente	Stufung	Masse	Kosten
Tragrahmen	$m_{\text{Nutz}} = 55\text{t}$	10t	€ 20.000
	$m_{\text{Nutz}} = 39\text{t}$	8t	
Drehgestell	zweiachsig	5t	€ 30.000
Antrieb	400kW	2t	€ 56.000
	350kW	1,7t	€ 45.000
	300kW	1,5t	€ 34.000
Sonstige	$P = 1050\text{kW}$	16t	€ 150.000
	$P = 800\text{kW}$	11t	€ 100.000
	$P = 600\text{kW}$	9t	€ 75.000

Der Bestimmung des Leergewichts der im Antriebskonzept untersuchten Fahrzeuge liegen abgeschätzte Massen einzelner Komponenten zugrunde. Das Leergewicht eines nicht angetriebenen Containertragwagens der DB mit vier Radsätzen, für den nach Angaben eines Herstellers ein Stückpreis von ca. € 80.000 anzusetzen ist, beträgt ca. 18-20t. Bei einem Eigengewicht eines nicht angetriebenen Drehgestells (Typ Y25) von 5t ergibt sich eine Masse des Tragrahmens von 8-10t. Die Aufteilung der Kosten nach Drehgestell und Tragrahmen ist mit € 30.000 je Drehgestell und € 20.000 für den Tragrahmen abgeschätzt. Die Annahme einer Masse für die Ausstattung des Fahrzeugs mit Motoren, Umrichter, Transformatoren, Stromabnehmer, Getriebe, etc. ist abhängig von seiner Leistung. Die in Tabelle 2-12 angegebenen Massen und Preise für die in die Drehgestelle integrierten Antriebe und die sonstigen Komponenten stellen in Abstimmung mit dem Projektpartner EELE auf Basis von Herstellerkatalogen abgeschätzte Werte dar. Sie sind bewusst hoch angesetzt, da eine Reduzierung der Massen und Preise das Ergebnis der Untersuchung nur positiv beeinflussen kann.

Die folgenden Absätze beschreiben kurz die vier untersuchten und in Bild 2-57 schematisch dargestellten Antriebskonzepte.

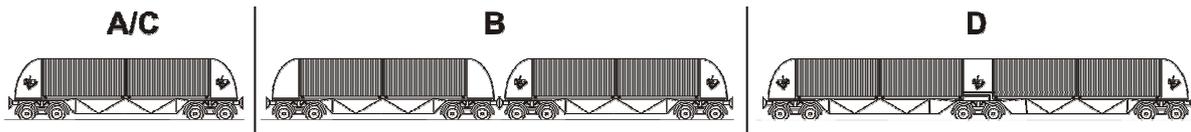


Bild 2-57 Antriebskonzepte

Antriebskonzept A basiert auf einer Auslegung des Transportfahrzeugs auf die Nutzlast von 55t, die bei einem angenommenen Eigengewicht des vierachsigen konzipierten Fahrzeugs von 35t die nach [27] zulässige Radsatzlast von 22,5t voll ausschöpft. Nach einer statistischen Erhebung zum „Güterverkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge“ des KBA [40] liegt die durchschnittliche Auslastung des Ladevermögens für Behälter und Wechsellaufbauten über sechs Metern bei 37,7% und für Sattelanhänger, deren Sattelzugmaschinen eine Leistung von 258kW und mehr besitzen, bei 69,3%. Für einen 20'-Container beträgt das durchschnittliche Gesamtgewicht damit 11,5t¹ und für einen Sattelanhänger ca. 26,6t. Im Nennbetrieb führt die folglich anzunehmende durchschnittliche Beladung der Ladungsformen zu einer geringen Auslastung der für dieses Fahrzeugkonzept maximalen Nutzlast von 61t. Dies resultiert unmittelbar in einer schlechten Antriebsauslastung und einem niedrigen Nutzlast-Totlast-Verhältnis im realen Betrieb.

Das Antriebskonzept B zielt daher mit der Erweiterung der Transportkapazität einer Transporteinheit durch Anhängen eines nicht angetriebenen Tragwagens auf eine Verbesserung der Antriebsauslastung im Nennbetrieb ab. Das Anhängen eines Tragwagens reduziert allerdings die Nutzlast, auf die die angetriebene Transporteinheit ausgelegt ist, um sein Eigengewicht und bringt darüber hinaus Einschränkungen bezüglich der Ladungskombinationen und vor allem der Fahrdynamik mit sich. Letzteres beruht darauf, dass nicht die gesamte zu bewegende Masse auf den angetriebenen Achsen lastet, was den aus der Haftreibung folgenden Grenzwert der übertragbaren Zugkraft deutlich senkt.

Antriebskonzept C basiert auf der Überlegung, die Antriebsleistung der durchschnittlichen Nutzlast anzupassen. Trotz der geringeren Zuladung ist dieses Konzept in der Lage alle Ladungsformen auch bis zu ihrem maximalen Gesamtgewicht zu transportieren. Lediglich zwei voll beladene 20'-Container (á

¹ Annahme: Auslastung des Gesamtgewichts der Behälter ≈ 37,7%.

30,48t) oder Binnencontainer der Klasse B6 (á 24t) überschreiten die maximale Zuladung von 39t. Durch eine Vorsortierung und Paarung einzelner 20'-Container bzw. B6-Binnencontainer im Hinblick auf ihre Gesamtmasse ist dieses Problem jedoch logistisch auf einfache Weise lösbar.

Da im Falle von Konzept C die streckenseitig zulässige Radsatzlast nicht ausgeschöpft wird, kann eine weitere Verringerung der Totlast durch Reduktion der Achszahl beziehungsweise der Drehgestelle erreicht werden. So stellt Antriebskonzept D mit der Transportkapazität zweier Transporteinheiten eine aus Sicht der Antriebsauslastung und des Energiebedarfs optimierte Alternative zu zwei Einzelfahrzeugen dar.

In Tabelle 2-13 sind die zur Bewertung herangezogenen Daten der Antriebskonzepte zusammengefasst. Die Beträge der Leermassen setzen sich ebenso wie die Investitionskosten aus den in Tabelle 2-12 angegebenen Massen und Preisen der Komponenten zusammen. Die Leistungen und Beschleunigungswerte folgen aus der Berechnung, die im Anhang des vom Projektteam zusätzlich zur vorliegenden Kurzfassung erstellten ausführlichen Berichts aufgeschlüsselt ist.

Als Merkmal zur Beurteilung der Qualität der Antriebskonzepte bezüglich der Erfüllung der gestellten Transportaufgabe ist für jedes Konzept das Nutzlast-Totlast-Verhältnis (NTV) angegeben. Es berechnet sich aus dem zugrunde gelegten Eigengewicht und der je nach Beladung anzusetzenden Nutzlast. Aufgrund der Vielzahl verschiedener Ladungskombinationen, erfolgt die Bestimmung auf Basis einer Beladung mit jeweils einer Ladungsform, wobei sich die Anzahl n der Behälter bzw. Sattelanhänger aus der nach dem Lastaufnahmekonzept angenommenen maximalen Anzahl an Ladungsformen pro Transportfahrzeug ergibt. Die Angabe des maximalen Nutzlast-Totlast-Verhältnisses basiert auf einer vollen Ausschöpfung der maximal möglichen Nutzlast des jeweiligen Fahrzeugkonzepts.

Wie bei der Bewertung der Lastaufnahmekonzepte bereits erwähnt, führt ein höheres Nutzlast-Totlast-Verhältnis zu einem bezogen auf die transportierte Menge niedrigeren Energieverbrauch und geringeren Energiekosten je Transporteinheit. Da im Nennbetrieb nicht von einer vollen Ausschöpfung der Nutzlast der Fahrzeuge ausgegangen werden kann, muss dem Vergleich das **durchschnittliche NTV** zugrunde gelegt werden.

Tabelle 2-13 Fahrzeugkomponenten – angenommene Massen und Kosten

	Konzept A		Konzept B		Konzept C		Konzept D	
m_{Fz} [t]	35		35+18		30		52	
m_{Nutz} [t]	55		37		39		78	
Achsen (davon angetrieben)	4 (4)		2 x 4 (4)		4 (4)		6 (6)	
P [kW]	800 (2x400)		800 (2x400)		600 (2x300)		1050 (3x350)	
Investition [tsd €]	292		372		223		415	
\dot{v} Steigung (Ebene) [m/s ²]	0,53 (0,63)		0,41 (0,50)		0,51 (0,61)		0,51 (0,60)	
Ladepätze	1x16m		2x16m		1x16m		2x16m	
Investition/Ø Nutzlast [tsd €/t]	22,0		14,0		16,8		15,6	
Ladungsform (Ø Masse)	n	NTV	n	NTV	n	NTV	n	NTV
Sattelanhänger (27,0t)	1	0,77	– ²	–	1	0,90	2	1,04
Container 20' (11,5t)	2	0,66	3	0,65	2	0,77	4	0,88
Container 40'/45' (13,0t)	1	0,37	2	0,49	1	0,43	2	0,50
Klasse A (12,8t)	1	0,37	2	0,48	1	0,43	2	0,49
Klasse C (6,0t)	2	0,34	4	0,45	2	0,40	4	0,46
Binnencontainer B9 (9,6t)	1	0,27	2	0,36	1	0,32	2	0,37
Volle Ausnutzung Nutzlast	1,57		0,70		1,30		1,50	

Ein weiteres Kriterium sind die **Investitionskosten**. Sie sind zum leichteren Vergleich auf eine aus dem Querschnitt über alle Ladungsformen gebildete durchschnittliche Nutzlast von 13,3t bezogen. Eine Beurteilung der Eignung der Antriebskonzepte im Hinblick auf eine Erweiterung des Streckennetzes ist im Kriterium **Erweiterbarkeit** gegeben. Hier ist die Fahrdynamik von entscheidender Bedeutung (vgl. Fahrdynamik). Das Kriterium **Flexibilität** bewertet, wie flexibel das Transportfahrzeug auf eilige Transporte reagieren kann und ob dies auch nach einer Erweiterung des Transportsystems gegeben ist. Sie kann anhand der Ladekapazität, die für den wirtschaftlichen Betrieb ausgenutzt werden muss und der Fahrdynamik bewertet werden, die jedoch untergeordnet zu beurteilen ist.

Tabelle 2-14 Antriebskonzepte – Bewertung

Kriterium	Gewicht	A	B	C	D	Max.
Ø NTV	3	1	1	2	3	3
Investition / Ø Nutzlast	2	1	3	2	2	3
Erweiterbarkeit	2	3	1	3	2	3
Flexibilität	3	3	1	3	2	3
Summe		20	14	25	23	30
technische Wertigkeit		0,67	0,47	0,83	0,77	1

Tabelle 2-14 zeigt, dass ein auf die Beladung mit durchschnittlich ausgelasteten Ladungsformen ausgelegtes Antriebskonzept grundsätzliche Vorteile besitzt. Je höher das Eigengewicht eines Fahrzeugs im Verhältnis zur durchschnittlichen Nutzlast ist, desto mehr Energie ist erforderlich, um die im Nennbetrieb anstehenden Transportaufgaben zu erfüllen. Darüber hinaus steigen mit dem zulässigen Gesamtgewicht die erforderliche Leistung und damit die Kosten für alle installierten Komponenten, die letztendlich unter Berücksichtigung der Transportkapazität auf die real durchgeführten Transporte umgeschlagen werden müssen. Vor diesem Hintergrund zeigen sich die Antriebskonzepte C und D als vorteilhaft gegenüber A und B. Im Hinblick auf die Erweiterbarkeit und die Flexibilität sind Konzept A und C den Antriebskonzepten B und D überlegen. Ihre geringere Kapazität führt zu einer kürzeren Umschlagdauer, was, unter der Voraussetzung, dass keine fahrplanmäßigen Wartezeiten eingehalten werden müssen, in geringeren Transportzeiten resultiert. Bezüglich der Erweiterbarkeit besitzt Konzept A wie oben bereits angesprochen den unwesentlichen und daher in die Bewertung nicht einfließenden Vorteil gegenüber Konzept C den Transport zweier durchschnittlich beladener 20'-Container auch dann noch zu erlauben, wenn die Auslastung des Ladevermögens dieser Ladungsform aus der Entwicklung des Transportmarktes heraus über 64% (19,5t) steigt. Allerdings ist auch hier die Auslastung des Ladevermögens zweier 20'-Container durch die maximale Nutzlast von 55t auf ca. 90% begrenzt, was eine Vorsortierung zumindest der 20'-Container vor der

² Die Beladung eines Gespanns mit einem Sattelanhänger ist nicht realistisch, da der angehängte Tragwagen in diesem Fall unbeladen mittransportiert würde.

Verladung ohnehin erforderlich macht. Zusammenfassend weist daher **Antriebskonzept C** die im Rahmen dieser Bewertung höchste technische Wertigkeit auf.

2.5.3.3 Fahrwerkskonzept

Die Rahmenbedingungen zur Entwicklung eines Fahrwerkskonzepts sind in den vorhergehenden Abschnitten bereits implizit dargestellt. Wie in dem Abschnitt Fahrweg beschrieben, bilden Schienen, deren Profil, Spurweite, zulässige Streckenlasten, Überhöhung usw. nach [27] geregelt sind, den Fahrweg für das Transportfahrzeug. In Hinblick auf schnelle Realisierbarkeit und hohe Zuverlässigkeit ist es sinnvoll, in möglichst hohem Umfang auf bewährte Technik zurückzugreifen.

Aus den in Kapitel 2.5.3.2 beschriebenen Antriebskonzepten können im Wesentlichen zwei Fahrwerksanordnungen abgeleitet werden, die jeweils auf zweiachsigen Drehgestellen beruhen. Solche angetriebenen Drehgestelle sind in den aus den Antriebskonzepten folgenden Leistungsklassen am Markt erhältlich, so dass keine erneute Konzeption und Entwicklung, sondern lediglich eine Anpassung erforderlich ist. Gleiches gilt für Bremssysteme und die elastische Verbindung der Drehgestelle mit dem Traggestell des Transportfahrzeugs.

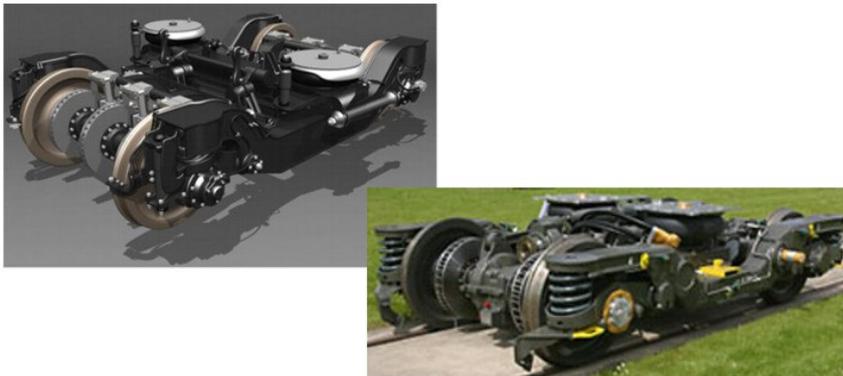


Bild 2-58 Drehgestell

Bezüglich des Schienenverschleißes sind, da der Aufwand und die Gefährdung bei Wartungsarbeiten an der Strecke im Vergleich zu oberirdisch verlegten Gleisen aufgrund des schlechten Zugriffs sehr hoch sind, verschärfte Anforderungen zu definieren. In diesem Zusammenhang kann sich die Suche nach intelligenten Lösungen zur Verschleißminderung beispielsweise im Bereich der Fahrwerkstechnik, durch ein je Achse vorzusehendes Differentialgetriebe, als sinnvoll erweisen, wobei

die je Fahrzeug zusätzlich entstehenden Kosten durch längere Wartungsintervalle des Gleiskörpers kompensiert werden.

2.5.3.4 Regelungs- und Steuerungskonzept

Zur grundsätzlichen Entscheidung und Bewertung der sich ergebenden Fahrzeugkonzepte und der Folgen für das im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersuchte übergeordnete Transportsystem ist die Art der Zugbildung von sehr hoher Bedeutung. Unabhängig vom gewählten Konzept muss die Zugbildung in einem vollautomatisch agierenden System ebenfalls vollautomatisch erfolgen können.

Aus der mechanischen Kopplung der Fahrzeuge im Fahrzeugverband ergeben sich Vorteile bezüglich der Redundanz der Fahrfunktion. Bei Ausfall der Steuerung, des Antriebs oder der Kommunikationseinrichtung eines Transportfahrzeugs kann es im mechanischen Zugverband unter Verringerung der fahrdynamischen Leistung weitergeführt werden. Eine starre mechanische Kopplung von Fahrzeugen kann nur bei gleichzeitiger Synchronisierung ihrer Fahrsteuerungen erfolgen, da für die Antriebs und Bremseinrichtungen sonst die Gefahr der Überlastung gegeben ist. Erschwerend wirkt sich in diesem Zusammenhang die Wirkung der unterschiedlichen Beladung auf die Fahrdynamik der einzelnen Fahrzeuge im mechanisch gekoppelten Verband aus. Somit ist es erforderlich, dass eine mechanische Kupplung in gewissen Grenzen elastisch ausgeführt ist, um einer Überlastung der Antriebe im Nennbetrieb entgegenzuwirken.

Ein auf mechanische Kopplung der Fahrzeuge ausgerichtetes Fahrzeugkonzept besitzt den entscheidenden Nachteil, einer Erweiterung des Streckennetzes durch seine mangelnde Flexibilität entgegenzustehen. Das Ausscheren eines Fahrzeugs, das ein anderes Ziel hat als das ihm direkt Nachfolgende, an einer Abzweigung aus dem Verband ist im Falle der vollautomatisch arbeitenden mechanischen Kopplung mit einem höheren Regelungsaufwand als beim abstandsgeregelten Fahren verbunden und birgt darüber hinaus bei einer Nenngeschwindigkeit von 80 km/h ein weitaus größeres Gefahrenpotential. Somit ist die mechanische Kopplung nur für Fahrzeugverbände, die eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung bedienen empfehlenswert. Der steigenden Knotenanzahl des Netzes folgt dann mit steigender Zahl der Punkt-zu-Punkt-Verbindungen eine Verlängerung der Standzeiten der Güter im

Verladeterminale. Ein so gestaltetes System weist keine markant bessere Flexibilität als der Schienengüterverkehr auf, was mit der Konkurrenzfähigkeit zum Straßengüterverkehr ein vorrangiges Ziel des Systems in Frage stellt.

Bezogen auf die Flexibilität des Transportsystems bietet eine elektronische Abstandsregelung deutliche Vorteile. Auch bei der Bahn zielen neuere Betriebskonzepte auf das Fahren im relativen Bremswegabstand ab. Hierbei errechnet jedes Fahrzeug aus seiner eigenen und der Geschwindigkeit des Vorfahrenden unter Berücksichtigung seines Bremsvermögens und dem des vorausfahrenden Fahrzeugs den erforderlichen Abstand. Innerhalb dieses Weges kann das Fahrzeug, ohne mit dem maximal verzögernden vorausfahrenden Fahrzeug zu kollidieren, zum Halten kommen.

Im Bereich der elektronischen Abstandsregelung werden nicht zuletzt zum Zwecke der Verbesserung der Leistung und Sicherheit im Straßenverkehr zahlreiche Studien und Entwicklungen vorangetrieben. Je enger der Abstand zweier Fahrzeuge zueinander sein soll, desto schneller muss ein System zur Abstandsregelung agieren können. Zur Objekterkennung werden vorwiegend Radar, Laserscanner und Bildverarbeitungssysteme eingesetzt, wobei jedes dieser Verfahren Unsicherheiten aufweist. So sind Bildverarbeitungssysteme bei häufig wechselnden Lichtverhältnissen ebenso überfordert, wie Laserscanner, die in schmutzigen Umfeld oder nebliger und regnerischer Umgebung eingesetzt werden.

Obwohl Systeme zur Abstandsregelung aus Anwendungen im Straßenverkehr (ACC) bekannt sind, besteht auf diesem Bereich enormer Forschungsbedarf. Das Bremsvermögen ist aufgrund der im Vergleich zum Straßenverkehr ca. sechsfach geringeren Haftreibung zwischen Rad und Schiene im Schienenverkehr geringer. Dies führt zu längeren Bremswegen und damit zu größeren Abständen der Fahrzeuge im Fahrzeugverband als im Straßenverkehr. Die CargoCap-Modellstrecke, die der Lehrstuhl für Maschinenelemente und Fördertechnik im Rahmen der Forschungstätigkeit am Projekt CargoCap baut, ermöglicht die Suche nach Lösungen für das Fahren im relativen Bremswegabstand, das eine deutlich höhere Auslastung der CargoCap-Strecke im Vergleich zum heutigen Eisenbahnverkehr erlaubt.

Die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander und mit dem Betriebsleitsystem wird durch die unterirdische Trassenführung erschwert, da weit entwickelte funkbasierte Systeme im abgeschlossenen Fahrrohr nur eingeschränkt funktionsfähig sind. Bei U-Bahnen und Bahnen findet zur Datenübertragung die Technik der linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) häufig Verwendung, bei der entlang des Schienenwegs verlegte Kabel- oder Schienenlinienleiter Daten an das Fahrzeug übergeben. Auf diese Kommunikationstechnik greift beispielsweise die fahrerlose U-Bahn der Stadt Nürnberg zurück, deren Betriebsstart nach [41] für das Jahr 2006 geplant ist. Als alternatives System hat die Firma Siemens im Feldversuch die Anwendbarkeit der Kommunikation über das Energieversorgungssystem (Powerline Communication) erfolgreich getestet [42]. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Mikrowellen als Informationsträger zu nutzen, wie dies bei einer in Singapur im Jahre 2003 in Betrieb genommenen automatischen fahrerlosen U-Bahn-Linie realisiert ist [43].

Die Beantwortung der Frage, welche Art der Datenübertragung für ein Transportsystem, wie es die übergeordnete Machbarkeitsstudie betrachtet, optimale Funktionalität bietet, ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Für die Entwicklung und Bewertung eines Fahrzeugkonzepts reicht die Belegung der technischen Machbarkeit der Kommunikation zwischen Fahrzeugen aus. Die erwähnten Beispiele angewandter Steuerungs-, Regelungs- und Kommunikationstechnik lassen die Aussage zu, dass Systeme für automatisch betriebene Fahrzeuge am Markt verfügbar sind, die auf das untersuchte Transportsystem angepasst werden können. Die Abstandsregelung im virtuellen Zugverband fahrender Transporteinheiten, die einen geringen Abstand zueinander aufweisen, stellen hierbei zusätzliche, hohe Anforderungen sowohl an die Kommunikation als insbesondere auch an die Steuerung und Regelung. Da innerhalb des nach außen abgeschlossenen Transportsystems bei der Auswahl geeigneter Regelungs- und Steuerungstechnik nicht auf vorhandene Einrichtungen und Systeme geachtet werden muss, besteht die Chance, die Anwendung optimal zugeschnittener Konzepte zur Ortung, Kommunikation, usw. zu verfolgen.

Als Kriterien zur Bewertung der Zugbildungsarten ergeben sich im Wesentlichen subjektiv, aus technischer Sicht zu beurteilende Aspekte, wie **technischer Aufwand**, **Investition** und **Zuverlässigkeit**. Bezüglich der bereits beschriebenen

Anforderungen **Erweiterbarkeit** und **Flexibilität**, weisen die beiden betrachteten Möglichkeiten ausgeprägte Unterschiede auf. Das Kriterium **Redundanz** geht auf die Aufrechterhaltung des Transportbetriebs im Falle des Antriebsausfalls bei einer Transporteinheit ein.

Tabelle 2-15 Zugbildung – Bewertung

Kriterium	Gewicht	Mechanisch	abstandsgeregelt	Max.
Flexibilität	3	1	3	3
Erweiterbarkeit	2	0	3	3
technischer Aufwand	2	3	1	3
Investition	2	3	1	3
Zuverlässigkeit	3	3	2	3
Redundanz	1	3	1	3
Summe		27	26	39
technische Wertigkeit		0,69	0,67	1

Die vergleichende Bewertung der Konzepte zur Zugbildung führt unter den angesetzten Kriterien und Gewichtungen zu keinem eindeutigen Ergebnis. Das der Untersuchung vorgegebene Streckenlayout sieht vor, dass die Transportfahrzeuge in fahrplanmäßig geregelten Verbänden im Tunnelsystem verkehren. Da der Abstand der Fahrzeuge zueinander maßgeblich von der Art der Zugbildung bestimmt wird, weist ein Verband aus mechanisch gekoppelten Fahrzeugen die kürzeste „Zuglänge“ auf und bietet damit die größte Streckenkapazität. Da das zugrunde gelegte Streckennetz auf vier Punkt-zu-Punkt Verbindungen zurückgeführt werden kann und die vom bautechnischen Projektpartner ermittelten Taktzeiten zur Bedienung dieser Verbindungen ausreichend gering realisierbar sind, erscheint eine aufwändige Abstandsregelung zunächst unnötig. Im Hinblick auf eine Erweiterung des Streckennetzes führt eine Verbindung der Fahrzeuge zu einem festen „Zug“ zum Verlust der Flexibilität. Die wesentlichen Vorteile, die das abstandsgeregelte Fahren bezüglich der Flexibilität und der Erweiterbarkeit mit sich bringt, werden durch die Nachteile in Hinblick auf den technischen Aufwand und die Kosten aufgehoben.

Beide Systeme sind mit der erforderlichen Zuverlässigkeit realisierbar, wobei ein steigender Grad der Verwendung von Informationstechnik zur Steuerung, Regelung

und Überwachung die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls erhöht, was durch entsprechende Rückfallebenen aufgefangen werden kann. Die Redundanz der Fahrfunktion ist im betrachteten System für beide Fälle sicherzustellen und durch entsprechenden technischen Aufwand herstellbar. Im schlechtesten Fall, den beispielsweise ein gleichzeitiger Ausfall aller Antriebe eines Fahrzeugs herbeiführt, kommt bei der betrachteten Strecke mit einspurigen Abschnitten der gesamte Systembetrieb zum Erliegen. In diesem Fall, den es jedoch prinzipiell zu vermeiden gilt, bietet die mechanische Kopplung der Fahrzeuge den Vorteil, dass die restlichen im Fahrzeugverband befindlichen Fahrzeuge den „Zug“ ausreichend antreiben können.

Die nachteilige Auswirkung der mechanischen Kopplung auf die Flexibilität und die Erweiterbarkeit des Systems ist bei dem der Untersuchung zugrunde gelegten Streckenlayout zunächst von untergeordneter Bedeutung. Im Zuge eines Ausbaus des Streckennetzes ist es jedoch unumgänglich, die feste Verbindung einzelner Transporteinheiten zu einem Zug zu lösen, um als alternatives Transportsystem am Transportmarkt konkurrenzfähig zu sein. Sinnvoll ist vor diesem Hintergrund eine Erstausrüstung der Fahrzeuge für den betrachteten Streckenverlauf mit **mechanischer Kopplung** unter Vorbereitung einer bei Erweiterung des Streckennetzes erforderlichen Umstellung auf ein abstandsgeregeltes System.

2.5.4 Antriebskonzept (Elektrotechnik)

2.5.4.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Lehrstuhls für Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie der Ruhr-Universität Bochum im Rahmen des Verbundvorhabens „Rohrleitungstransport – Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen“ bestand darin, ein geeignetes Konzept für den Antrieb eines schienengebundenen Containertransportfahrzeugs und ein darauf abgestimmtes Konzept zur Energieversorgung der geplanten Strecke zu entwickeln.

Um die Eignung verschiedener Antriebstechnologien und Antriebstypen für den Transport von Containern in Rohrleitungen untersuchen zu können, werden die Anforderungen an den Fahrzeugantrieb und die Energieversorgung durch allgemeine Anforderungsprofile beschrieben, die einheitlich auf der Grundlage des Fahrwiderstands ermittelt werden.

Ein Katalog vorgegebener Kriterien, wie z.B. Streckenprofil, Fahrzeuggröße, Zuladung, Fahrgeschwindigkeit, etc. ermöglicht es, unterschiedliche Fahrzeug- und Betriebskonzepte schon in einer sehr frühen Projektphase unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bewerten.

Da die beschriebenen Anforderungsprofile flexibel an neue technische Erkenntnisse oder Änderungen der Rahmenbedingungen angepasst werden können, sind sie für die im Verlauf einer Machbarkeitsstudie notwendigen Optimierungsprozesse hervorragend geeignet.

Die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Ansatzes zeigte sich im Besonderen bei der Neuprojektierung des Fahrzeugs, die durch eine Erweiterung des Forschungsauftrags – dahingehend, neben Containern auch Sattelaufleger und Wechselbehälter zu transportieren – notwendig wurde.

Auf der Grundlage des Anforderungsprofils für das geeignetste Transportkonzept wurden verschiedene Antriebstopologien untersucht und bewertet.

Im hier vorliegenden gemeinsamen Forschungsbericht aller Projektpartner wird mit Hilfe ausgewählter Beispiele ein Überblick über die Ergebnisse des Teilvorhabens „Elektrotechnik“ vermittelt. Weitergehende Informationen können dem Einzelbericht entnommen werden.

2.5.4.2 Technische Daten

Der Gütertransport soll in erster Linie durch fahrerlose, automatisch gesteuerte Einzelfahrzeuge erfolgen, die bei Bedarf zu Verbänden gruppiert werden.

Im Verlauf der Studie wurde der Forschungsauftrag dahingehend erweitert, dass neben Containern auch Sattelaufleger und Wechselbehälter transportiert werden sollten.

Daher wurde die Entscheidung getroffen, ein Fahrzeug zu entwickeln, das alle bisher genannten Transportbehältnisse aufnehmen kann. Durch die Standardisierung des Fahrzeugs werden die Entwicklungskosten minimiert. Die hohe Anzahl von Gleichteilen wirkt sich zudem positiv auf die Anzahl der zu bevorratenden Ersatzteile aus. Zusätzlich wird die Fahrzeugreserve – die die Flexibilität des Fahrkonzepts

gewährleistet – auf ein Minimum reduziert, da ein solches Standardfahrzeug jedes beliebige Transportbehältnis aufnehmen kann.

Die Auslegung des Fahrzeugs orientiert sich zwangsläufig eng an den Abmessungen der zur Zeit gebräuchlichen Ladungsformen [35], [29], [34], [33].

Auf der Grundlage dieses Datenmaterials wurde ein Fahrzeugkonzept erarbeitet, das für den Transport in einer Tunnelröhre optimiert wurde. Berücksichtigt man zusätzlich den Platzbedarf beim Be- und Entladen des Fahrzeugs, so ergeben sich die in der Tabelle 21 -zusammengefassten technischen Daten des Standardfahrzeugs. Neben den Angaben, die sich direkt aus den Abmessungen der Ladung herleiten (z.B.: Zuladung, Transportvolumen und Stirnfläche) beinhaltet die Tabelle auch konzeptionelle Größen (u.a. Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung oder Luftwiderstandsbeiwert), die für die Antriebsauslegung benötigt werden.

Tabelle 2-16 Technische Daten des Standardfahrzeugs

Fahrzeug			
Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Leergewicht	m_0	30000	kg
max. Zuladung	m_Z	39000	kg
max. Gesamtgewicht	m	69000	kg
Geschwindigkeit	v	80	km/h
Ø Beschleunigung	\bar{a}	0,5	m/s ²
Stirnfläche	A	12	m ²
Luftwiderstandsbeiwert	c_w	0,7	
Raddurchmesser	D	1250	mm
Spurweite	b	1435	mm
Drehgestellmittenabstand	l_R	20000	mm
Fahrzeuglänge	l	25000	mm
Transportvolumen	V_{Tmax}	15000 x 2600 x 4000	mm
Nennleistung	P_N	600	kW

Die gewählte Fahrgeschwindigkeit beschreibt einen Kompromiss aus den Kriterien Fahrzeit und Energieverbrauch. Die unterbrechungsfreie Fahrt mit minimaler Wartezeit bis zur Abfahrt – aufgrund des Transportkonzepts mit Einzelfahrzeugen – trägt bei den hier untersuchten mittleren Entfernungen deutlich mehr zur Reduzierung der Fahrzeit bei, als eine gesteigerte Höchstgeschwindigkeit.

Die erreichbare Beschleunigung ist für die Fahrzeit von untergeordneter Bedeutung (vgl. Kapitel 2.5.4.3.1), da das Fahrzeug pro Fahrt im Normalfall nur einmal aus dem Stillstand beschleunigt wird.

Die Tabelle 2-5 fasst Größen zusammen, die zum einen für die Auslegung des Fahrzeugantriebs und zum anderen für die Dimensionierung der Energieversorgung der Strecke von Belang sind.

Tabelle 2-17 Technische Daten zum Transport

Fahrbetrieb und Fahrweg			
Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Zahl der Fahrzeuge ³		200	
max. Zahl der Fahrzeuge pro Streckenabschnitt		30	
max. Steigung	s_{max}	1.25	%
Anzahl der Streckenabschnitte mit s_{max}		15	
min. Reibwert	μ_{min}	0.14	
geplante Streckenlänge		375	km
Anzahl der Einzelspurabschnitte		20	
Ø Länge der Einzelspurabschnitte		17.4	km
Anzahl der Doppelspurabschnitte		20	
Ø Länge der Doppelspurabschnitte		2.7	km
min. Kurvenradius	R	500	m

2.5.4.3 Antriebsauslegung

Die Auslegung des Fahrzeugantriebs erfolgt – unabhängig von der Art des Antriebs – über die Bestimmung des Fahrwiderstands und der ihn bestimmenden Größen.

2.5.4.3.1 Fahrwiderstand

Der Fahrwiderstand F_W als Summe aller der Fahrbewegung entgegenwirkenden Kräfte wird allgemein durch die folgenden vier Komponenten beschrieben:

- Laufwiderstand F_f
- Neigungswiderstand F_l
- Beschleunigungswiderstand F_a

³ Planungsansatz

– Bogenwiderstand F_b

Somit gilt:
$$F_w = F_f + F_I + F_b + F_a \quad (3-1)$$

Die nachfolgend verwendeten Diagramme geben die Verhältnisse für das Standardfahrzeug auf der untersuchten Strecke wieder. Die vorgestellten Zusammenhänge sind jedoch allgemeingültig.

Laufwiderstand:
$$F_f = c_1 \cdot m \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot k \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 \quad (3-2)$$

Der Laufwiderstand ist aufgeteilt in einen konstanten Anteil, der durch die Reibungszahl c_1 der eingesetzten Lager bestimmt wird und einen variablen Anteil, den Luftwiderstand. Zur Berechnung des Luftwiderstands bei einer Fahrt im Tunnel muss der Luftwiderstandsbeiwert mit einem Korrekturfaktor k beaufschlagt werden [37]. Unter der Annahme einer Versperrung der Tunnelröhre durch das Fahrzeug von 50% gilt für den Korrekturfaktor des Luftwiderstandsbeiwerts eines Fahrzeugs folgende Beziehung:

$$k = 6 \quad (3-3)$$

Neigungswiderstand:
$$F_I = m \cdot g \cdot \sin \beta \quad (3-4)$$

mit:
$$\sin \beta = \frac{s_N}{\sqrt{1 + s_N^2}} \quad (3-5)$$

Der Neigungswiderstand verläuft in einem für den Containertransport relevanten Bereich von Steigungen bis zu 2% linear.

Bogenwiderstand:
$$F_b = \frac{800}{1000 \cdot \frac{R}{m}} \cdot m \cdot g \quad (3-6)$$

Der Bogenwiderstand wird aufgrund der durch die Bauverfahrenstechnik vorgegebenen, weiten Kurvenradien in den weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

Beschleunigungswiderstand:
$$F_a = m \cdot a \cdot \xi \quad (3-7)$$

Der Beschleunigungswiderstand F_a wird durch die Masse des Fahrzeugs m und einen Anteil ξ bestimmt, der sich aus dem Trägheitsmoment der rotierenden Massen

berechnet. Der Faktor ξ kann dabei im Bereich zwischen 1,02 für Wagons und 1,3 für elektrische Lokomotiven liegen. Im Fall des Standardfahrzeugs kann ein Wert von 1,2 als realistisch angesehen werden [44], [45].

Auf der Basis der Gleichungen 3-1 bis 3-6 und den technischen Daten aus den Tabelle 2-16 und Tabelle 2-17 kann ein stationärer ($a = 0$) Fahrwiderstand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v bestimmt werden.

Setzt man nun voraus, dass ein vollbeladenes Fahrzeug bei maximaler Steigung die Nenngeschwindigkeit beibehalten soll, so kann – unter Berücksichtigung der sich aus der geforderten Beschleunigung ergebenden Anfahrzugkraft – mit Hilfe des stationären Fahrwiderstands ein allgemeines Anforderungsprofil für den Fahrzeugantrieb hergeleitet werden. Die Zugkraftgrenzlinien $Z_1 - Z_3$ beschreiben unterschiedliche Antriebsauslegungen. Sie bestimmen die erforderliche Nennleistung des Fahrzeugantriebs.

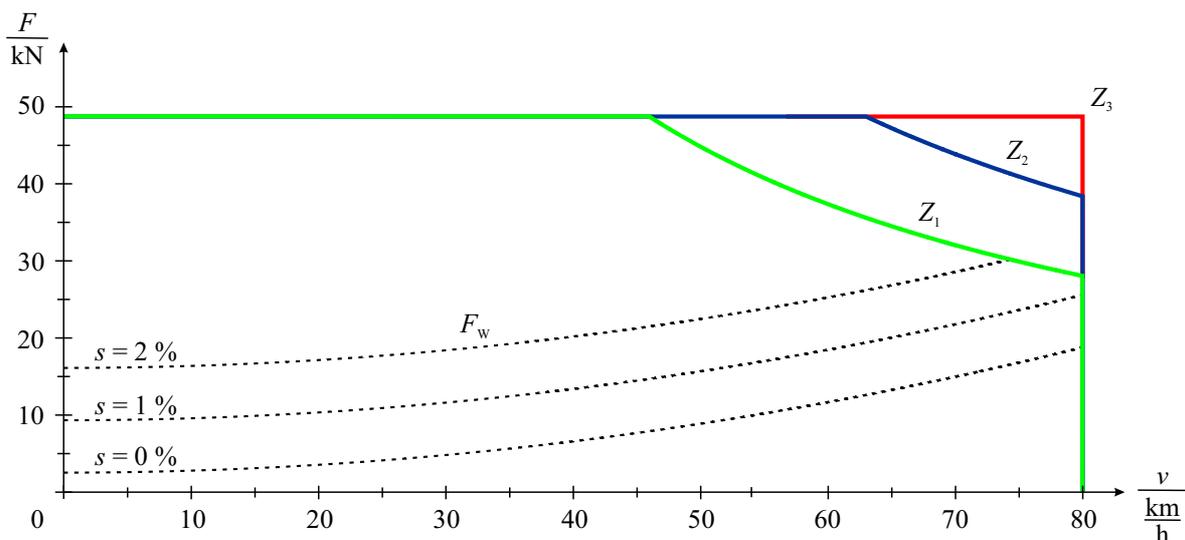


Bild 2-59 Zugkraft/Fahrwiderstand–Geschwindigkeit–Diagramm für Beharrungsfahrt mit der Steigung s als Parameter

Die erforderliche mittlere Dauerleistung eines Fahrzeugantriebs wird hauptsächlich durch den Fahrwiderstand in der Ebene bestimmt.

Der Fahrzeugantrieb muss aber entsprechend der auftretenden Spitzenleistung dimensioniert werden.

Im Güterfernverkehr ist der Zeitraum, in dem das Fahrzeug beschleunigt wird gering im Vergleich zu der Zeit, in der sich das Fahrzeug mit Dauerleistung bewegt. Deshalb ist es für eine wirtschaftliche Auslegung des Antriebs sinnvoll, ja erforderlich, die benötigte Spitzenleistung zu reduzieren.

Dies geschieht, indem die Zugkraft bis zu einer vordefinierten Geschwindigkeit konstant gehalten wird. Ab dieser Geschwindigkeit wird die Leistung konstant gehalten, mit der Folge, dass sich die Zugkraft und somit auch die erreichbare Beschleunigung reduziert.

Als Beispiel für eine solche Antriebsauslegung sind in Bild 2-59 zwei zusätzliche Zugkraftkennlinien (blaue (Z_2) und grüne Kurve (Z_1)) angegeben.

Die grüne Kurve kennzeichnet den besten Kompromiss aus erreichbarer Beschleunigung und installierter Antriebsleistung.

Diese Aussage wird in Bild 2-60 verdeutlicht, in dem die Antriebsleistung P in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt wird.

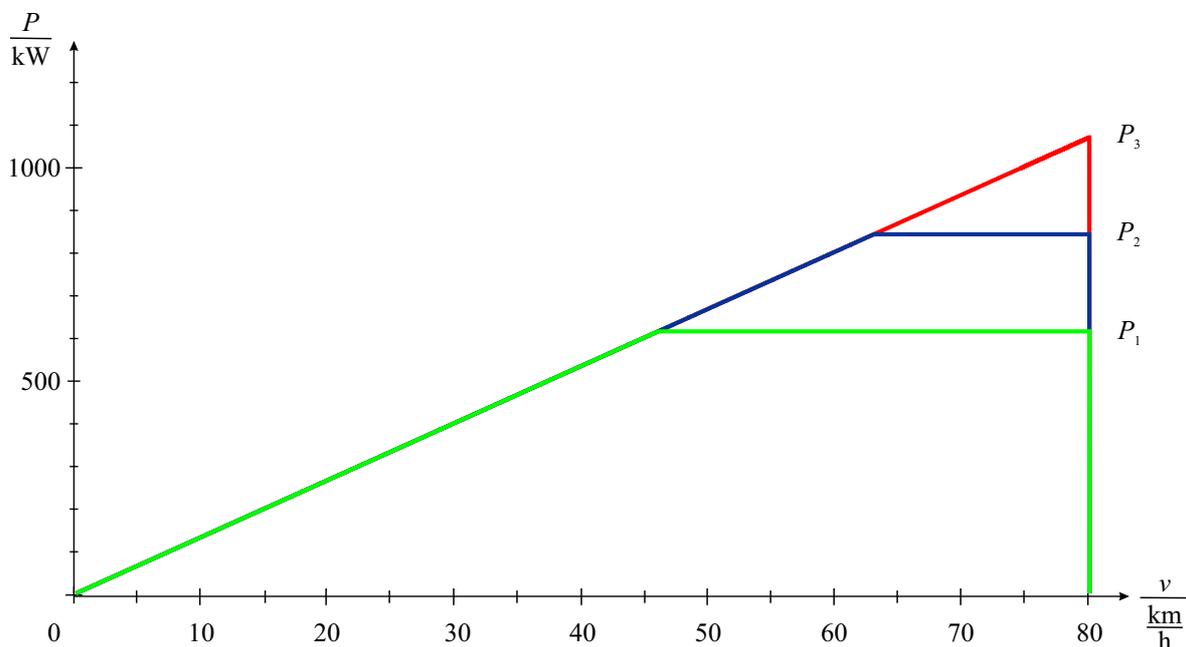


Bild 2-60 Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Bild 2-61 zeigt sehr deutlich, dass eine annähernde Verdoppelung der Spitzenleistung nur zu einer Reduzierung der Beschleunigungsdauer um ca. 25% führt.

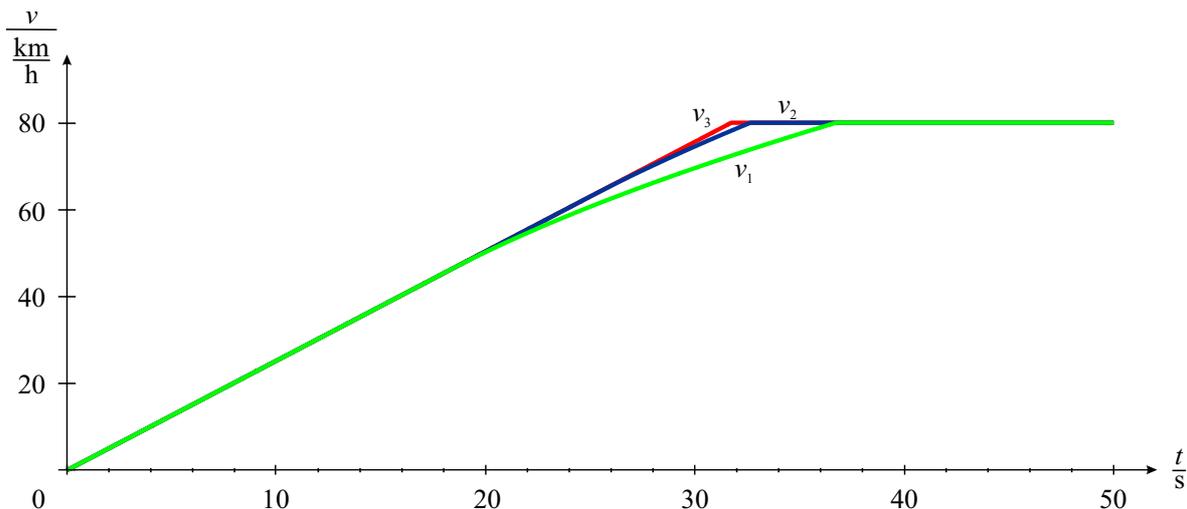


Bild 2-61 Geschwindigkeit - Zeit - Diagramm

Auch der absolute Zeitgewinn von wenigen Sekunden ist bescheiden, wenn man bedenkt, dass die Gesamtfahrzeit zwischen den Endhaltepunkten durchschnittlich 4 Stunden und 41 Minuten beträgt.

In Bild 2-62 und Bild 2-63 werden die Gewichte und die Anschaffungskosten von Antrieben gegenübergestellt, die entsprechend den Zugkraftkennlinien Z_1 bis Z_3 ausgelegt wurden (vgl. Bild 2-59).

Die Angaben wurden für die elektrischen Komponenten eines Antriebs mit vier Asynchronmotoren und zwei Frequenzumrichtern ermittelt. Die Ergebnisse sind prinzipiell auf andere Antriebstopologien und Antriebstechnologien übertragbar. Da an dieser Stelle jedoch nur die Entscheidung für eine bestimmte Art der Antriebsauslegung verdeutlicht werden soll, wurde bewusst eine bezogene Darstellung gewählt.

Man erkennt sehr deutlich, dass eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Auslegung des Antriebs nur entsprechend der Zugkraftkennlinie Z_1 erfolgen kann.

Die Bild 2-64 zeigt nun das entsprechende Zugkraft / Fahrwiderstand - Geschwindigkeit - Diagramm für das Standardfahrzeug.

Dieses bildet das Fundament für die weiteren Untersuchungen unterschiedlicher Antriebstechnologien und Antriebskonzeptionen.

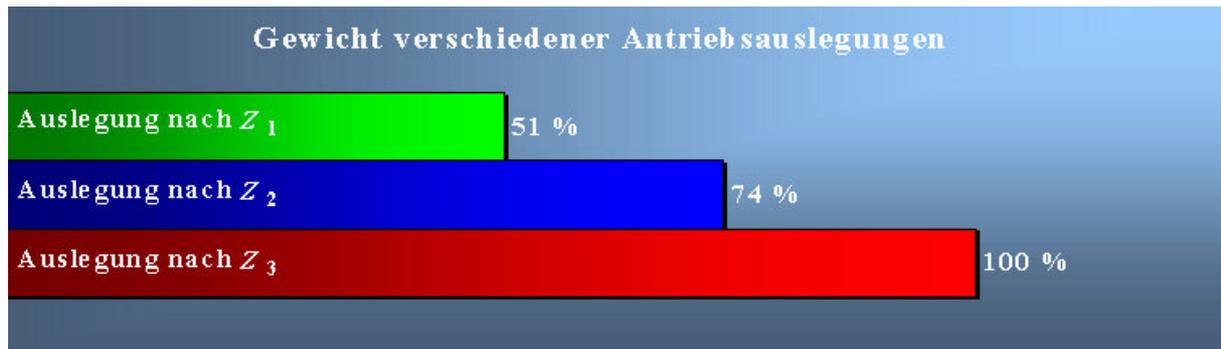


Bild 2-62 Gegenüberstellung des Gewichts elektrischer Antriebskomponenten für drei verschiedene Antriebsauslegungen

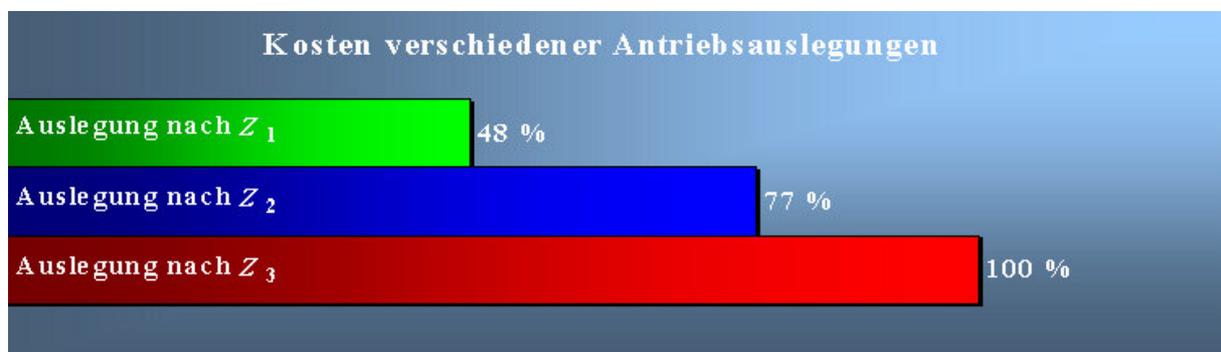


Bild 2-63 Anschaffungskosten elektrischer Antriebskomponenten am Beispiel von drei Antriebsauslegungen

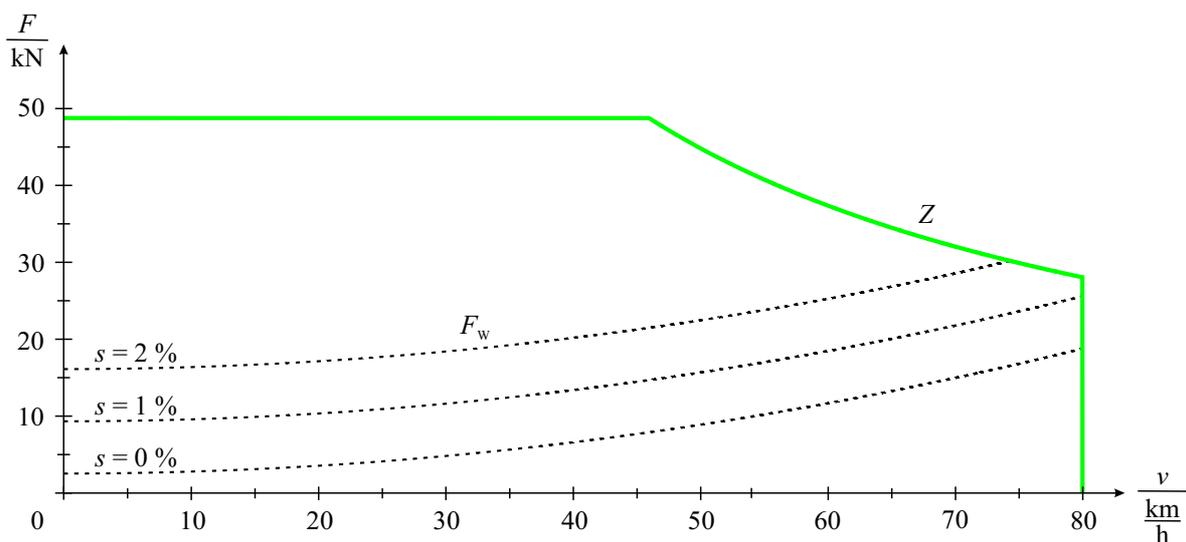


Bild 2-64 Zugkraft / Fahrwiderstand - Geschwindigkeit - Diagramm des Standardfahrzeugs ($P_N = 600 \text{ kW}$) mit der Steigung s als Parameter

2.5.4.3.2 Elektrisches Antriebskonzept

Die Bild 2-65 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Einzelfahrzeugs für den wahlweisen Transport von Containern, Wechselbehältern oder Sattelaufliegern.

Das Fahrzeug verfügt über zwei Drehgestelle, die einen zentral angeordneten Frachtraum tragen. Zur Reduzierung der Belastung von Rädern und Schienen werden die Drehgestelle zweiachsig ausgeführt.

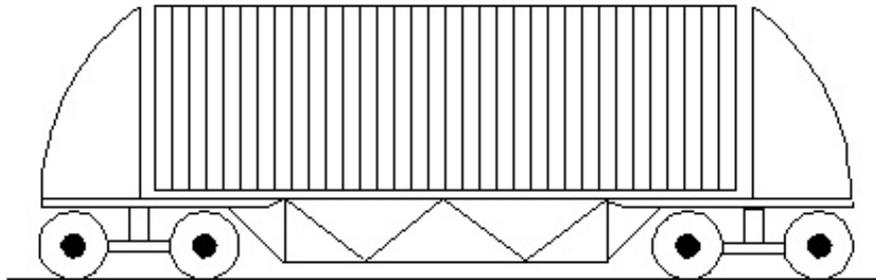


Bild 2-65 Prinzipieller Aufbau des Fahrzeugs

Der Betrieb der Fahrzeuge im Tunnel stellt hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Antriebs. Bei einem Ausfall einzelner Antriebskomponenten muss die Weiterfahrt mit reduzierter Leistung möglich sein.

Aus diesem Grund bilden die Drehgestelle unabhängige Antriebsmodule, die flexibel kombiniert werden können, wodurch Reparatur- und Wartungsarbeiten vereinfacht werden.

Auf der Basis des vorgestellten Anforderungsprofils sind verschiedene Antriebe – von Gleichstrom- über Synchron- und Asynchron- bis hin zu Linearmotoren – denkbar. Aufgrund vergleichsweise geringer Anschaffungs- und Wartungskosten sowie der – in der Ausführung als Kurzschlussläufer – äußerst hohen mechanischen Zuverlässigkeit des Asynchronmotors wurde im Rahmen dieser Studie ausschließlich der umrichter gespeiste Asynchronmotor untersucht [44], [46].

Wegen der beschriebenen Eigenschaften nimmt dieser Antrieb eine dominierende Stellung im Bereich von Industrie- und Bahnanwendungen ein. Die starke Verbreitung dieser Antriebsform hat zur Folge, dass es eine Vielzahl von Herstellern gibt, die bewährte Komponenten in einem breiten Leistungsspektrum in vergleichsweise großen Stückzahlen produzieren, wodurch die Möglichkeit der kurzfristigen und zugleich kostengünstigen Realisierung des Projekts gegeben ist.

Verfolgt man diesen Ansatz, so sind vier grundsätzliche Anordnungen aus Motor und Umrichter denkbar.

Im Rahmen dieses Gesamtberichts wird nur die unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten geeignetste Lösung vorgestellt

Den besten Kompromiss aus Investitions- und Betriebskosten auf der einen sowie der Betriebssicherheit auf der anderen Seite bietet ein Antrieb mit einem Umrichter und zwei parallelgeschalteten Motoren pro Antriebsmodul.

Jedes Antriebsmodul muss neben dem Umrichter und den Motoren über weitere elektrische Komponenten verfügen.

Hierzu zählt beispielsweise ein Bremssteller, der über einen Bremswiderstand die Funktionsfähigkeit der elektrischen Bremse sicherstellt, wenn die Rückspeisung der Bremsenergie ins Netz aus technischen oder betrieblichen Gründen nicht möglich oder unerwünscht ist.

Zusätzlich muss ein Nieder- bzw. Kleinspannungsbordnetz vorhanden sein, das die Energieversorgung fahrzeugeigener (Sensorik, Bordrechner, ...) und fahrzeugfremder (z.B. Kühlaggregate) Verbraucher übernimmt.

Bild 2-66 zeigt den Aufbau eines solchen Antriebsmoduls.

Im Vorgriff auf die Ergebnisse bezüglich der Wahl der Energieversorgung ist bereits eine direkte Anbindung des Frequenzumrichters an eine 3-kV-Gleichstromversorgung vorgesehen.

Charakteristisch für diese Antriebslösung sind folgende Punkte:

- + hohe Betriebssicherheit
- + gleichmäßige Kraftübertragung auf alle Räder
- + Vermeidung von Einzelachsschleudern
- Motoren relativ kleiner Leistung und hoher Nennspannung (ca. 2,5 kV) erforderlich

- unterschiedliche Raddurchmesser können zu einer thermischen Überlastung eines Motors führen
- Einschränkung bei der Ersatzteilkhaltung

Der Einsatz moderner Leistungshalbleiter ermöglicht den Betrieb des Umrichters direkt an einer 3-kV-Stromversorgung [47].

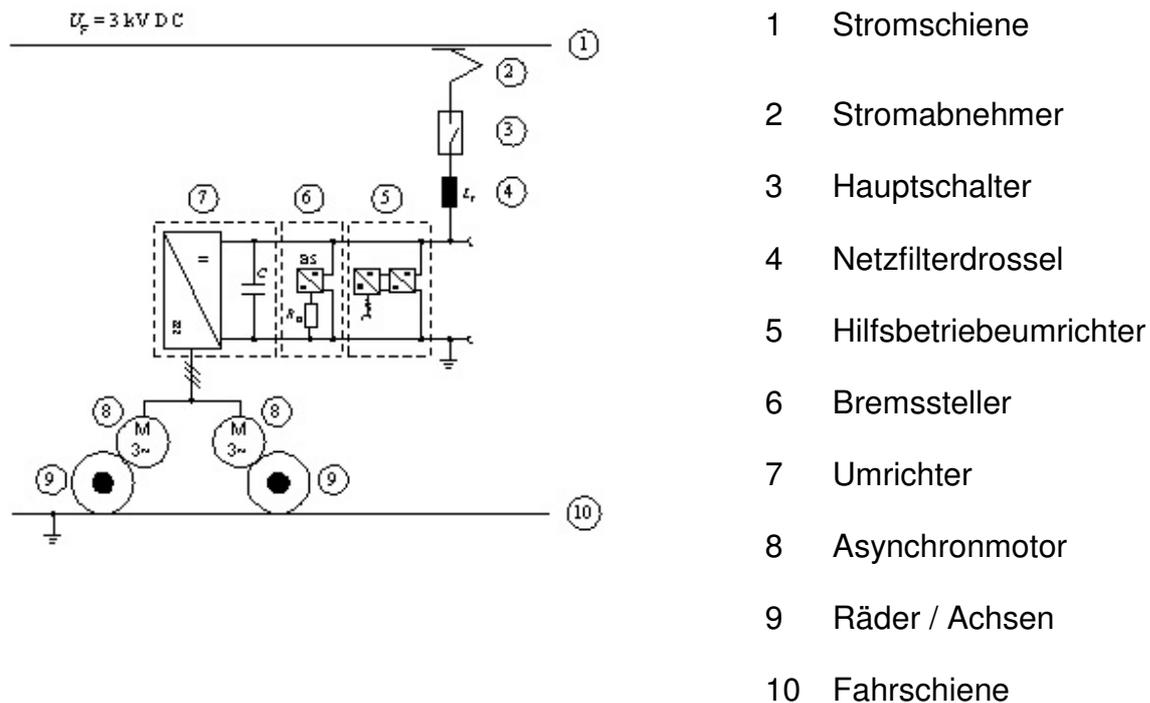


Bild 2-66 Prinzipieller Aufbau des Fahrzeugantriebs

Der grundsätzliche Aufbau eines solchen Umrichters – bestehend aus sechs einzelnen 6,5-kV-IGBT⁴-Modulen – wird in Bild 2-67 (links) verdeutlicht. Zusätzlich werden IGBT-Bauformen für drei Leistungsstufen von 200 A, 400 A und 600 A gezeigt.

Für das Standardfahrzeug sind IGBT-Module mit einem Nennstrom von 200 A ausreichend.

⁴ Insulated Gate Bipolar Transistor

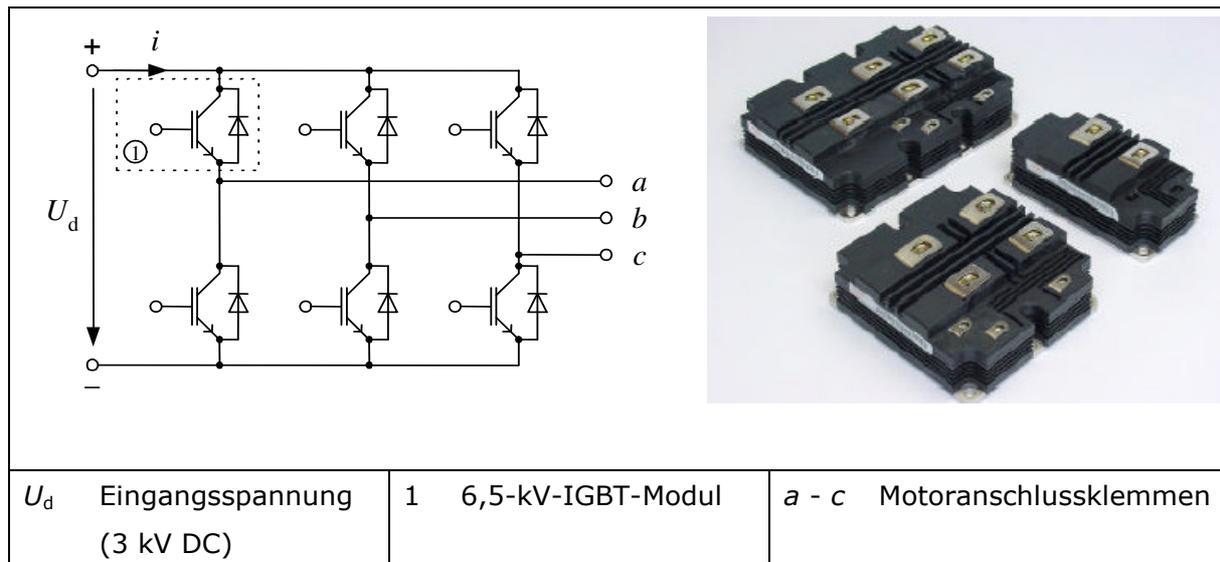


Bild 2-67 Aufbau eines Umrichters mit 6,5-kV-IGBT-Modulen

Die Umrichtersteuerung ermöglicht es, einen angeschlossenen Motor immer im optimalen Betriebsbereich zu betreiben. Dieser wird für jeden Motor durch die anteilige Zugkraftkennlinie des Gesamtfahrzeugs Z_N vorgegeben.

2.5.4.4 Zusammenfassung elektrische Auslegung

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Rohrleitungstransport – Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen“ wurde am Lehrstuhl für Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie der Ruhr- Universität Bochum ein Konzept für den Antrieb eines Containertransportfahrzeugs entwickelt.

Ausgehend von einem allgemeinen Anforderungsprofil wurden verschiedene Ansätze für den Fahrzeugantrieb untersucht und bewertet.

Am geeignetsten ist ein modular aufgebautes Antriebssystem bestehend aus zwei Antriebsmodulen pro Fahrzeug. Jedes Antriebsmodul verfügt über zwei Asynchronmotoren, die parallel aus einem Umrichter gespeist werden.

Dieser Aufbau garantiert eine hohe Betriebssicherheit bei gleichzeitig niedrigen Anschaffungs- und Wartungskosten.

Im Anschluss daran wurden verschiedene Energieversorgungssysteme auf ihre Eignung für dieses Projekt untersucht und bewertet. Die auf Fahrzeuge, Streckenführung und Betriebskonzept abgestimmte Lösung sieht vor, die Strecke mit einem 3-kV-Gleichstromsystem zu betreiben.

Alle vorgestellten Lösungsvorschläge basieren auf bewährter Technologie und sind somit schnell und kostengünstig realisierbar.

Die vorliegenden Erkenntnisse können in einem Fahrzeugprototypen umgesetzt werden, der als Forschungsträger zur Weiterentwicklung und Erprobung einzelner Antriebskomponenten genutzt werden kann.

Zudem wird die Einbindung in die bereits bestehende Verkehrs- und Energieversorgungsinfrastruktur optimal unterstützt.

Die präsentierten Ergebnisse sind aufgrund der allgemeinen Beschreibung jederzeit auf ähnlich geartete Projekte übertragbar.

Weitergehende Untersuchungen sind hinsichtlich der Reduzierung des Energieverbrauchs erforderlich. Dabei steht die konsequente Nutzung der Bremsenergie durch direkt im Fahrzeug oder an zentralen Punkten im Netz installierte Energiespeicher im Vordergrund.

2.5.5 Zusammenfassung: Vergleich Konzept – Lkw

Der Lkw ist in der heutigen Zeit das Hauptverkehrsmittel im Güterverkehr und darüber hinaus auch jenes mit den höchsten Wachstumsraten am Transportmarkt. Einer verwertbaren Aussage über die Konkurrenzfähigkeit des untersuchten Transportsystems muss daher der Vergleich zu diesem Verkehrsträger zugrunde gelegt werden. Dieser Vergleich kann nur die Vor- und Nachteile der beiden Systeme bezüglich der Transportaufgabe, auf die das unterirdische Transportsystem konzipiert ist, beleuchten, da Aufgabenbereiche existieren, wie etwa der Kurzstrecken- oder Baustellenverkehr, für die ein unterirdisches Transportsystem prinzipiell keine Alternative darstellen kann. Das zum Vergleich herangezogene Fahrzeugkonzept „C – Y – m“ setzt sich aus der entsprechend der durchgeführten Bewertung besten Lösung des Lastaufnahme- und des Antriebskonzepts zusammen und geht von der bezogen auf den untersuchten Streckenverlauf besten Lösung zur Zugbildung aus. Als zum Vergleich herangezogener Lkw dient eine Sattelzugmaschine der Leistung 276kW mit einem angehängten Containerchassis. Der Kaufpreis dieses Gespanns ist mit 90.000 € und sein Gewicht mit 13,2t angesetzt.

In Anlehnung an die Konzeptbewertungen erfolgt dieser Vergleich ebenfalls auf Basis von Kriterien. Auch hier ist die Bewertung bezüglich einiger Kriterien anhand von Kennzahlen möglich, andere können nur subjektiv beurteilt werden. Die angegebenen Kennzahlen basieren auf der Beladung mit einer Nutzlast von 14,1t, die sich aus dem Querschnitt über die durchschnittliche Nutzlast aller in Tabelle 2-13 aufgeführten Sorten von Containern und Wechselbehältern unter Berücksichtigung der Ladekapazität (vgl. Tabelle 2-13 - Größe „n“) ergibt. Der Transport von Sattelanhängern ist aus dem Vergleich ausgenommen.

Tabelle 2-18 Vergleich: Fahrzeugkonzept – Lkw

Kriterium	Gewicht	Konzept C – Y – m		Containersattelzug	
		Betrag	Wertung	Betrag	Wertung
Ø NTV	--	0,77	--	1,74	--
Leistung / Ø Gesamtgewicht	--	13,6	--	6,3	--
Investition / Ø Nutzlast	--	15,8 tsd €	--	6,4 tsd €	--
Energiebedarf [MJ/tkm]	3	1,13	2	1,98	1
Ø Transportgeschwindigkeit	2	~ 80km/h	2	65km/h	1
Personalbedarf	2	~ 0	3	1	1
Flexibilität	3	X	2	X	3
Umschlag	3	X	1	X	2
Summe			25		22

Die in Tabelle 2-18 aufgeführten Kriterien „Ø NTV“, „Leistung / Ø Gesamtgewicht“ und „Investition / Ø Nutzlast“ dienen mehr der Information als dem Vergleich. Der gegensätzliche Charakter, den die beiden Verkehrssysteme für die Kriterien NTV und Energiebedarf aufweisen, lässt darauf schließen, dass das NTV über die Grenzen des Transportsystems hinweg an Aussagekraft verliert. Dies liegt nicht zuletzt an der Tatsache, dass die Masse der Transporteinheit im Rahmen der Konzeption nur abgeschätzt werden kann. Beispielsweise ist die Masse der sonstigen Komponenten (vgl. Tabelle 2-12) mit 9t vergleichsweise hoch angesetzt. Die auf das durchschnittliche Gesamtgewicht bezogene Antriebsleistung zeigt, dass die Transporteinheit gegenüber dem Containersattelzug (zweiachsige Zugmaschine

276kW) eine bessere Fahrdynamik aufweist, die jedoch im untersuchten Umfeld von untergeordneter Bedeutung ist. Eine weitere Kennzahl ist die nutzlastbezogene Investition. Aus den Werten kann darauf geschlossen werden, dass die Laufleistung einer Transporteinheit ca. 2,5-mal höher sein muss, um für das Fahrzeug die gleichen Investitionskosten je Transport zu erreichen.

Aus der Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung folgt, unter der Annahme, dass sich die Anteile der Steigungen und Gefälle auf der Strecke aufheben, für die konstante Fahrt einer mit 80km/h einzeln fahrenden Transporteinheit eine Nennleistung von 346kW. Daraus ergibt sich je km ein Energiebedarf von 4,4kWh und bezogen auf die durchschnittliche Nutzlast von 14,1t ein Energiebedarf von 1,13MJ/tkm. Nach [48] beträgt der „spezifische Energieverbrauch beim Lastkraftwagen durchschnittlich 1,98 Mega-Joule (MJ)/tkm, wohingegen er sich beim Schienengüterverkehr auf 0,49 MJ/tkm beläuft“. Somit weist das Transportfahrzeug trotz des schlechteren NTV und der höheren Antriebsleistung einen um 43% geringeren Energiebedarf als der Lkw auf, wobei der Schienengüterverkehr 56,6% weniger Energie für den Transport einer Tonne Nutzlast über die Strecke von einem Kilometer benötigt. Der ökologische Vorteil des konzipierten Transportfahrzeugs gegenüber dem Straßenverkehr resultiert aus den geringeren Rollreibungsverlusten und dem systembedingt geringeren Anteil der Beschleunigungsphasen an der Fahrzeit. Bei der für den Fernverkehr angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit des Lkw von 65 km/h legt er eine Strecke von 240km in ca. 3h 42min zurück und braucht damit im Vergleich zum Transportfahrzeug mit 80km/h 42min mehr Zeit. Die angegebene durchschnittliche Transportgeschwindigkeit des konzipierten Fahrzeugs setzt allerdings eine reibungslose Anschlusslogistik, einen schnellen Umschlag und die Möglichkeit der sofortigen Abfahrt nach dem Umschlag voraus. Das Transportfahrzeug benötigt neben dem Personal im Terminal und für Wartungsarbeiten keine weiteren Mitarbeiter. Der Umschlag ist für beide Verkehrsträger ähnlich, wobei im Vergleich zum reinen Straßengüterverkehr je nach Vor- und Nachlauf mindestens zwei weitere Umschläge notwendig sind. Hinsichtlich des Kriteriums Flexibilität kann der Vergleich des Verkehrsträgers Lkw mit dem hier untersuchten Transportsystem, das auf autonomen, schienengebundenen Transporteinheiten mit auf das durchschnittliche Aufkommen angepasster Kapazität basiert, nur bezüglich der Aufgabe, Güter der entsprechenden Ladungsform in der gewählten Relation zu transportieren, erfolgen.

3 Statuts Quo-Analysen und Auswertung von Prognosen

3.1 Zielsetzung der ökonomischen Untersuchung

Die vorliegende ökonomische Untersuchung hat zwei Hauptziele in dem Forschungsverbund zu bewältigen: Zum einen sollen die gemeinsamen, für alle drei untersuchten Systeme (Straße, Schiene, unterirdischer Containertransport) gültigen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Hierzu zählt die Bestimmung der Transportmengen, der Transportrelationen und der Streckenbelastungen im unterirdischen Containertransportsystem. Zum anderen sollen die in der Folge unter Verwendung der weitergegebenen Daten generierten Ergebnisse der beteiligten Forschungspartner zu einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit des unterirdischen Containertransportsystems zusammengefasst werden.

Um diese Ergebnisse zu erzeugen, sind eine Reihe von Kalkulationen erforderlich, für die es (noch) keine einheitlichen Berechnungsschemata gibt, wie es z.B. im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung für die etablierten Verkehrssysteme der Fall ist. Die Aufgabe des ökonomischen Teilprojektes ist es daher, entsprechende Bewertungs- und Berechnungsmethoden zu entwickeln. Aus dieser Methodik können anschließend Verbesserungspotenziale im Rahmen von Sensitivitätsanalysen oder kritischen Werten bestimmt werden, die für die weitere Forschung von Bedeutung sein werden.

Da Verkehrsprojekte zunehmend durch private Investoren durchgeführt werden sollen, ist es erforderlich, deren Erfolgsaussichten abzuschätzen. Neben einer klassischen volks-wirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Analyse wird darum insbesondere auch auf die betriebs-internen Zahlungsströme in den drei verglichenen Verkehrssystemen abgestellt und eine analoge Relation ermittelt.

3.2 Auswahl der Untersuchungsregion

In mehreren Diskussionen mit Vertretern des BMBF wurde die Anbindung der deutschen Nordseehäfen mit dem Ruhrgebiet als Untersuchungsgegenstand definiert. Für diese Auswahl sprechen vor allem drei Gründe:

- Die Nordseehäfen stehen in einem immer stärker werdenden Wettbewerb untereinander, der vor allem durch die Umschlagsintensität der Häfen Rotterdam und Antwerpen dominiert wird. Sie belegen vor allem in dem am stärksten

wachsenden Segment der Containertransporte eine Spitzenposition. In der Vergangenheit wurden durch die wachsende Ladekapazität der Containerschiffe die Logistikketten im Seeschiffsverkehrs verändert, so dass beispielsweise Container in den Ostseeraum in Hamburg umgeschlagen und mit kleineren Feederschiffen weiterverteilt werden. Hier wurde das so genannte ‚Milkrun-System‘ zugunsten des effizienteren ‚Nabe-Speiche-Systems‘ abgelöst. In Zukunft ist zu befürchten, dass bei dem Einsatz noch größerer Containerschiffe (Malakka-Max-Klasse oder größer) die deutschen Seehäfen ihre Nabe-Funktion verlieren und von Schiffen dieser Baureihen nur noch zwei europäische Häfen angelaufen werden. Ein innereuropäischer Weitertransport erfolgt dann mit Feederschiffen oder über landgestützte Verkehrssysteme. Durch die Anbindung der deutschen Seehäfen an ein unterirdisches Containertransportsystem soll die Wettbewerbsfähigkeit der Häfen gesteigert werden, so dass sie in der Zukunft als europäische Hauptstandorte des Land-See-Umschlages erhalten bleiben und sich gegen die großen Häfen der Niederlande und Belgiens behaupten können.

- Das Ruhrgebiet liegt im Kreuzungspunkt innerdeutscher und zunehmend europäischer Verkehre. Das Straßen- und Schienennetz wird dabei neben der Belastung durch Güterverkehre aufgrund der Bevölkerungsdichte stark von Personenverkehren frequentiert. Die hierdurch entstehenden Überlastungen können nur in Ausnahmefällen durch eine Kapazitätserweiterung bei den Verkehrswegen kompensiert werden. Die Erweiterung der Europäischen Union und die in Zukunft zu erwartende Güterverkehrssteigerung durch die Integration der Beitrittsländer Mittel- und Osteuropas in den europäischen Markt werden die Bedeutung des Ruhrgebiets als Verkehrsknotenpunkt verstärken.
- Aufgabe der Verkehrspolitik muss es daher sein, die Zukunftsfähigkeit des Ruhrgebietes durch eine Verbesserung seiner Erreichbarkeit zu gewährleisten. Hierfür müssen neue Wege eingeschlagen werden, wenn die bestehenden Verkehrssysteme keine Kapazitätssteigerung mehr zulassen. Ein unterirdisches Containertransportsystem kann zu dieser Aufgabe beitragen, indem der Untergrund als neuer Verkehrswegeraum erschlossen wird.
- Die Verbindung der beiden Großräume Seehäfen und Ruhrgebiet durch ein unterirdisches Containertransportsystem verbessert die Hinterlandanbindung der Seehäfen einerseits und den internationalen Warenaustausch des Ruhrgebiets

andererseits. Entlang den Trassen der bisherigen Verkehrssysteme kommt es durch Verlagerung in das unterirdische System zu Entlastungen, die die Güte der Verkehrswege für andere Nutzungen (verbleibende Güter- und Personenverkehre) verbessern und sich so vorteilhaft auswirken. Eine Entzerrung der Personen- und Güterverkehre ist auch insofern positiv einzuschätzen, als diese Verkehrsfälle unterschiedliche Anforderungen an Verfügbarkeit, Geschwindigkeit und immanente Transportkosten aufweisen. Bei einer Überlastung eines Verkehrsweges kann eine Trennung der beiden Verkehrsfälle auf die jeweils spezifischen Anforderungen besser eingehen und so neben der reinen Kapazitätssteigerung zu einer Effizienzsteigerung führen.

Als Knotenpunkte des unterirdischen Transportsystems wurden auf der Seite der Seehäfen Hamburg, Bremen und Bremerhaven festgelegt. Wilhelmshaven soll zwar in Zukunft einen neuen Tiefwasserhafen erhalten, der Zeitpunkt der Verwirklichung dieses Projektes kann gegenwärtig jedoch nicht hinreichend abgeschätzt werden. Außerdem ist das dort zu erwartende Transportaufkommen und die entsprechenden Verkehrsrelationen (also das Herkunfts- und das Zielgebiet der Güterumschläge in Wilhelmshaven) nicht vorher zu bestimmen.

Für das Ruhrgebiet wurden unterschiedliche Standorte als Terminalknoten diskutiert. Idealerweise sollten diese an den Rändern positioniert sein, um auch ein- und ausgehende Verkehrsrelationen aufnehmen zu können und das Ruhrgebiet von Durchgangsverkehren zu entlasten. Untersucht wurden die Standorte Duisburg, Bochum, Hagen und Essen, da hier bereits bestehende Umschlageinrichtungen des Containertransports vorhanden sind und ggf. mit genutzt werden könnten.

Zusätzlich zu den genannten potenziellen Terminalstandorten wurde Köln als eine Erweiterungsoption mit in Betracht gezogen. Hier handelt es sich um einen Standort am südwestlichen Rand der Metropolregion Rhein-Ruhr, an dem die Güterverkehre von und in südwestliche Richtung auf das unterirdische Containertransportsystem umgelenkt werden können und so die bestehende Infrastruktur in diesem Ballungsraum entlasten. Eine solche Erweiterung ist durch eine relativ kleine Netzerweiterung möglich, wobei geprüft werden soll, ob die Einsparpotenziale überdurchschnittlich sind und Netzwerkeffekte realisiert werden können.

Von dem beteiligten Projektpartner IVV in Aachen wurden zur Bestimmung der unterirdisch zu transportierenden Gütermengen Verkehrsmatrizen bereit gestellt, die bereits bei der Erstellung des Bundesverkehrswegeplans verwendet worden sind. Hierdurch wird eine Standardisierung erreicht, die die Vergleichbarkeit mit der Bundesverkehrswegeplanung gewährleistet. Zudem wird in der weiteren Berechnung die Methodik der Bundesverkehrswegeplanung für die Berechnung der Kosten- und Nutzelemente übertragen bzw. angepasst, um diese Vergleichbarkeit zu unterstützen.

Um die Verkehrsmatrix auf die für das vorliegende Forschungsvorhaben relevanten Informationen zu beschränken, wurden im Vorfeld im Forschungsverbund die relevanten Verkehrsrelationen festgelegt. Die Daten beinhalten folgende Informationen:

- Herkunftsregion (Kreisregion)
- Zielregion (Kreisregion)
- Jahr (2002 oder 2015)
- Verkehrsart (Straße oder Schiene)
- Güterart (25 SAEG-Gruppen)
- Gütermenge in Tonnen
- Fahrtkilometer (nur für Straße)
- Fahrtzeit (nur für Straße)
- Geschwindigkeit (nur für Straße)
- Anzahl LKW (nur für Straße)

Um die Zahl der Datensätze zu begrenzen, wurden die relevanten Verkehrsrelationen (Kombinationen von Herkunfts- und Zielregion) eingegrenzt. Auf der Ebene der Kreisregionen wurden dafür Einzugsgebiete definiert, die jeweils um die Terminalstandorte liegen. In Bild 3-1 sind dies die rötlich eingefärbten Kreisregionen im Ballungsraum Rhein-Ruhr und südlich davon und die grünlich eingefärbten Kreisregionen im Umland von Bremen und Hamburg. Die dunkel eingefärbten Gebiete sind jeweils als enges Einzugsgebiet, die heller eingefärbten als weites Einzugsgebiet klassifiziert worden. Eine Verkehrsrelation ist dann für die

weitere Untersuchung relevant, wenn sich die Quell- und Zielregion jeweils mindestens im weiten Einzugsgebiet befinden und sich die beiden Regionen nicht im selben Großgebiet (Norddeutschland und West-/Süddeutschland) befinden. Verkehrsrelationen beispielsweise von Köln nach Münster werden somit nicht berücksichtigt. Hierdurch ist gewährleistet, dass nur Transporte untersucht werden, die zumindest den großen Sprung vom Ruhrgebiet zu den Gebieten der Seehäfen beinhalten.

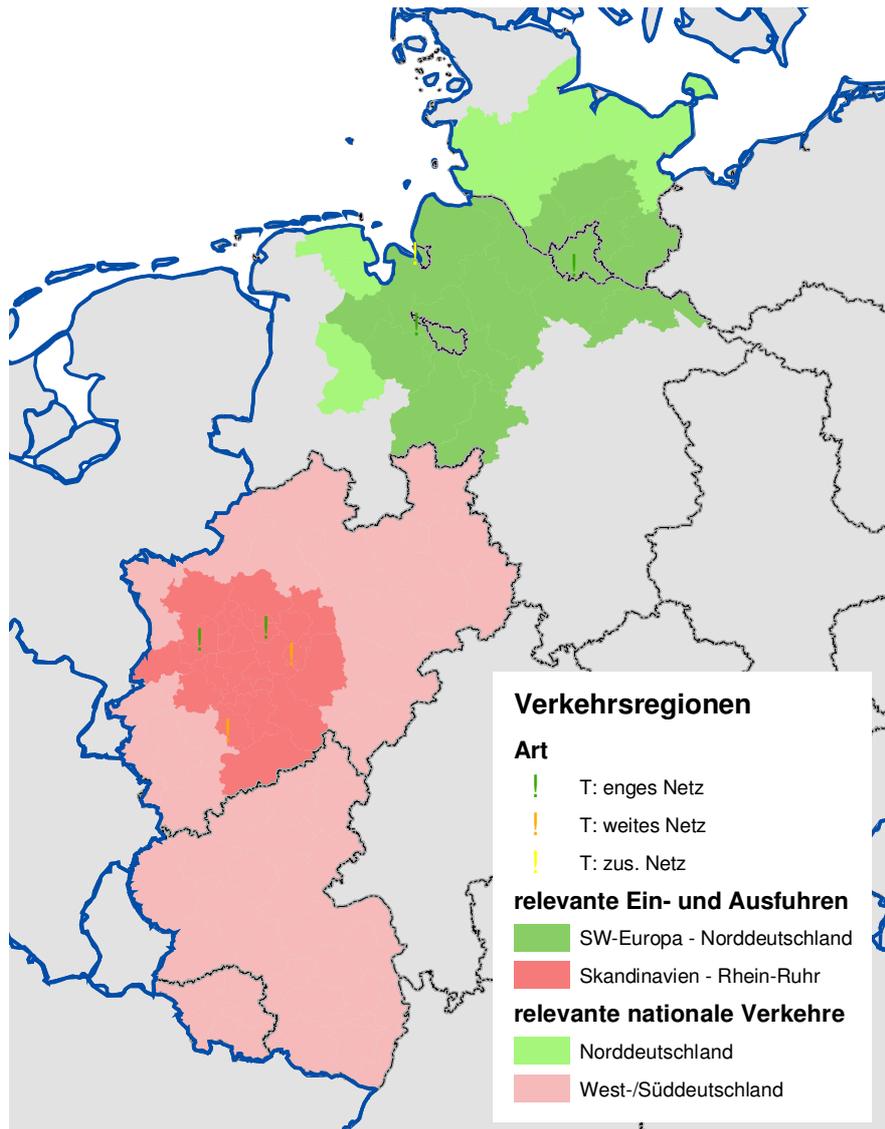


Bild 3-1: Relevante nationale Verkehre

Neben den relevanten nationalen Verkehren werden weitere Ein- und Ausfahrten für die in Bild 3-1 dargestellten engen Einzugsbereiche untersucht. Berücksichtigt werden zum Beispiel Verkehre, die von Spanien nach Hamburg gehen, da diese ebenfalls in Köln oder Duisburg unterirdisch fortgeführt werden können.

Ausgeschlossen bleiben aber Transporte von Spanien nach Köln selbst, da diese die unterirdische Infrastruktur nicht tangieren. Die möglichen zusätzlichen Relationen der internationalen Aus- und Einfuhren, die ebenfalls untersucht werden und für die entsprechende Information als Verkehrsmatrix zumindest für den Verkehrsträger LKW vorliegen, sind in Bild 3-2 dargestellt.

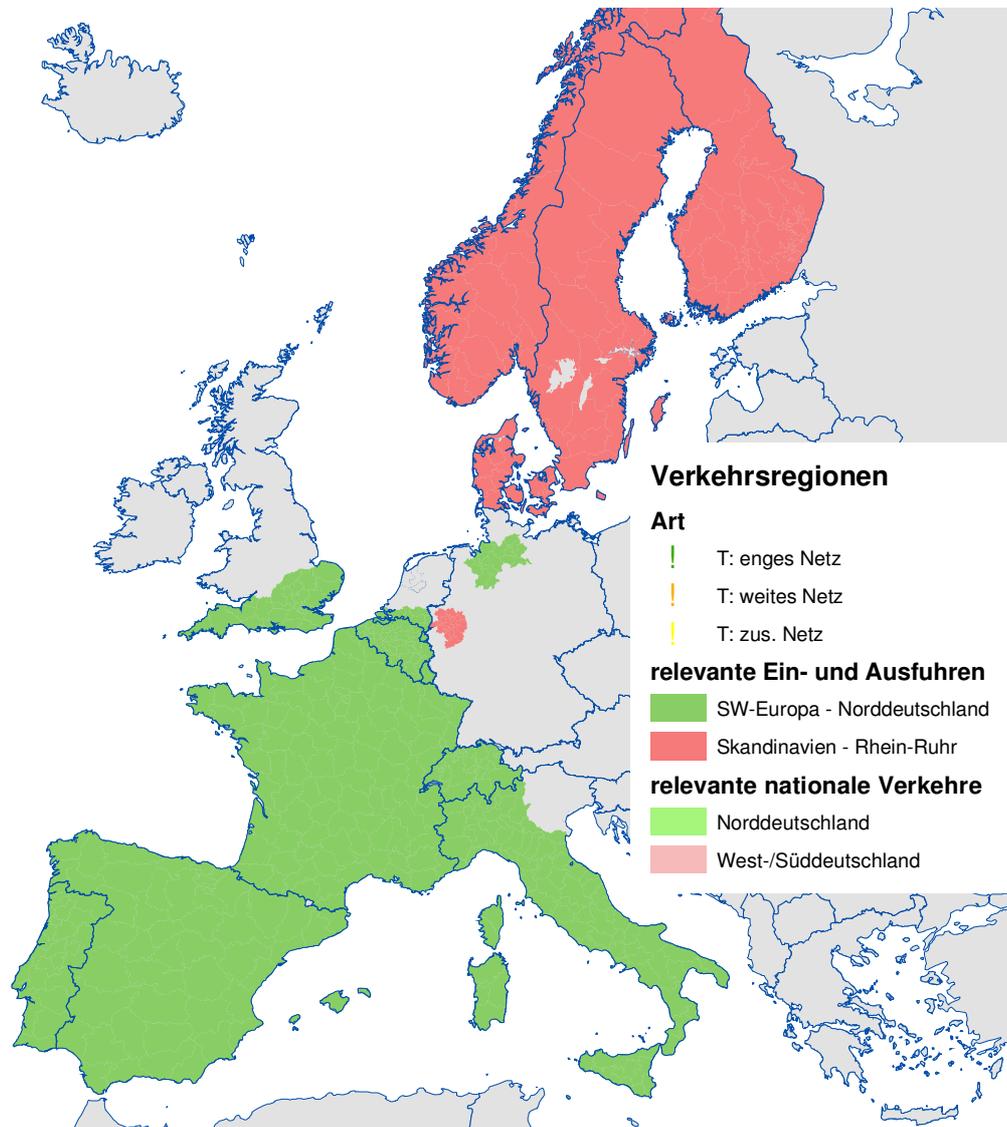


Bild 3-2: Relevante internationale Ein- und Ausfuhren

Die Relationen bei den internationalen Ein- und Ausfuhren werden auf das jeweils enge Einzugsgebiet beschränkt, um eine unterschiedliche Integration der unterirdischen Transporteinrichtung in verschiedene Logistikketten zu berücksichtigen:

– Bei den internationalen Ein- und Ausfuhren wird angenommen, dass

Transportunternehmen einen Teil der oberirdischen Logistikketten (z.B. den LKW-Transport von Spanien nach Duisburg) mit eigenen Fahrzeugen vornehmen, um anschließend für den Sprung nach Hamburg die neue Verkehrsinfrastruktur zu nutzen, die durch eine entsprechende Gesellschaft angeboten wird. Die endgültige Zustellung im eng abgegrenzten Zielgebiet (z.B. von Hamburg nach Seegeberg) wird ebenfalls von den Sammel- und Verteildiensten der neuen Transportgesellschaft durchgeführt. Die oberirdischen Transporte der neuen Verkehrsgesellschaft sollen dabei möglichst gering gehalten werden, da ihr vornehmliches Betriebsinteresse der unterirdische Transport sein soll. Um dies zu erreichen, werden die Sammel- und Verteilgebiete klein gehalten (und ergeben somit die engen Einzugsgebiete).

- Bei den relevanten nationalen Transporten wird von der Annahme ausgegangen, dass der unterirdische Transportabschnitt den bisherigen Transporteuren als externes Angebot dient, mit dem sie einen Teil ihrer Logistikabläufe durchführen können. Dies ist insbesondere der Sprung zwischen den beiden weiträumigen Regionen Nord- und Westdeutschland. Die jeweiligen Sammel- und Verteilverkehre (also der Vor- und Nachlauf zum unterirdischen Transport) bewältigen sie aus eigenen Mitteln, was bei größeren Speditionen mit verteilten Flottenstandorten leicht zu bewerkstelligen wäre. Hieraus ergibt sich ein entsprechend größeres Einzugsgebiet um die Terminalstandorte herum (weites Einzugsgebiet). Daneben können Spediteure immer noch die von der neuen Transportgesellschaft angebotenen Sammel- und Verteilfahrten in den engen Einzugsgebieten nutzen.

Liegt das Quell- oder Zielgebiet einer Transportrelation außerhalb des Einzugsgebietes, wird diese Relation als nicht relevant für die unterirdische Transporteinrichtung angesehen. Hier wird unterstellt, dass die zu erwartenden Einsparungen an zeitabhängigen oder entfernungsabhängigen Kosten zu gering sind, um eine Verlagerung vorteilhaft zu machen. Bei einer späteren Netzerweiterung werden die gegenwärtig nicht betrachteten Transportrelationen erneut zu überprüfen sein.

3.3 Eingrenzung der relevanten Verkehrsrelationen

3.3.1 Straße

Ausgehend von den Verkehrsmatrizen ist in dem vorliegenden Forschungsbericht die Frage zu beantworten, wie viele der über die Straße transportierten Güter in das unterirdische Transportsystem verlagert werden. Diese Information ist notwendig, um die technischen Spezifikationen (Größe, Geschwindigkeit, Kapazität etc.) festzulegen, die wiederum einen erheblichen Einfluss auf die Frage der Wirtschaftlichkeit haben. In diesem Abschnitt soll beschrieben werden, wie aus den in Abschnitt 3.2 vorgestellten Verkehrsrelationen diejenigen ausgewählt werden, bei denen die neue Verkehrsinfrastruktur eine Alternative zum bestehenden Straßengüterverkehr darstellt.

Ausgangspunkt der Vorgehensweise ist die unterstellte Verhaltensweise von Spediteuren bzw. der verladenden Wirtschaft, dass jeweils diejenige Transportalternative gewählt wird, die das beste Preis-Leistungs-Verhältnis besitzt. Angenommen wird, dass für die nationalen Verkehre die entfernungsabhängigen und die zeitabhängigen Kosten für diese Entscheidung ausschlaggebend sind. Bei einer Betrachtung des Jahres 2015 können etwaige Bindungsfristen an bestehende Infrastrukturen vernachlässigt werden. Diese könnten sich durch noch nicht abgeschriebene Investitionen, Kündigungsfristen etc. ergeben, so dass für diesen Zeitpunkt ein problemloser Wechsel der Transporte unterstellt werden kann.

Verglichen werden zwei Fälle, die sich in der Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen unterscheiden. Im Bezugsfall wird unterstellt, dass die Transporte weiterhin wie gewohnt über die Straße ablaufen, während im Maßnahmenfall die unterirdische Verkehrsinfrastruktur genutzt wird. Für beide Fälle können aus den zur Verfügung stehenden Daten die jeweiligen Transportzeiten und die zurückgelegten Entfernungen im Straßennetz ermittelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass durch eine Nutzung der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur im Maßnahmenfall Straßenverkehre nicht vollständig ersetzt werden können, sondern dass Fahrten zum und vom Terminal anfallen werden. Zur Bestimmung dieses Vor- und Nachlaufs wurden aus den Datensätzen für jede Verkehrsrelation automatisiert diejenigen Terminals ausgewählt, die die geringste Entfernung zum Quell- bzw. Zielort aufweisen. Die zur Verfügung stehenden Terminals variieren dabei mit unterstellter Netzvariante, die weiter unten beschrieben wird.

Zwischen den Terminals sind die jeweiligen unterirdischen Transportentfernungen und die Transportgeschwindigkeiten bekannt bzw. wurden vorab im Forschungsverbund als Zielgröße definiert. Die Transportgeschwindigkeit wurde auf 80 km/h festgelegt, wobei die technische Ausgestaltung zu einem späteren Zeitpunkt Steigerungen bei der Geschwindigkeit erlaubt. Dies wurde beispielsweise durch entsprechende Kurvenradien gewährleistet, die technisch zulässige Quereschleunigungen nicht überschreiten.

Im Maßnahmenfall werden die Transportketten im Vergleich zum Bezugsfall an zwei Stellen unterbrochen. An den Terminals sind Ladezeiten zu berücksichtigen, die jeweils auf 5 Minuten festgelegt wurden. Die technische Ausgestaltung der Strecke wird in einem ersten Ausbauschnitt nur taktgebundene Verkehre zulassen, da an einer Reihe von Trassenabschnitten eine Fahrbahn für beide Richtungen genutzt werden muss. Diese Taktbindung kann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die gesamte Strecke mit zwei Richtungsfahrbahnen ausgestattet sein wird, aufgehoben werden. Zusätzlich zu den Ladezeiten kommt am Startterminal nochmals die Hälfte der Taktzeit als durchschnittliche Wartezeit im Maßnahmenfall hinzu, so dass sich für jede Verkehrsrelation im Maßnahmenfall folgender Zeitbedarf ergibt:

$$\begin{array}{r}
 \text{Fahrzeit Terminalanfahrt (Straße)} \\
 \hline
 + \text{Ladezeit Startterminal} \\
 \hline
 + \text{Wartezeit am Startterminal} \\
 \hline
 + \text{Fahrzeit im neuen Verkehrssystem} \\
 \hline
 + \text{Ladezeit Zielterminal} \\
 \hline
 + \text{Fahrzeit Terminalabfahrt (Straße)} \\
 \hline
 = \text{gesamte Fahrzeit im} \\
 \text{Maßnahmenfall}
 \end{array}$$

Bei den entfernungsabhängigen Kosten musste eine weitere Setzung im Forschungsverbund vorgenommen werden. Unterstellt wird zunächst, dass die Transportentfernung im Straßenverkehr als Maßzahl für die entfernungsabhängigen Kosten genutzt werden kann. Dies ist dann zulässig, wenn die entfernungsabhängigen Kosten pro km für jeden Transport (unabhängig von der Relation sowie unterschiedlicher Streckenabschnitte) identisch sind. In diesem Fall stellt die Transportentfernung eine lineare Transformation der entfernungsabhängigen Kosten dar.

Bei der Betrachtung der entfernungsabhängigen Kosten des Maßnahmenfalls müssen zwei unterschiedliche Transportarten summiert werden. Die Zu- und Ablieferverkehre über die Straße können wie gehabt kalkuliert werden. Für die neue Infrastruktur kann außerdem je nach Netzvariante die hierin zurück zu legende Transportentfernung bestimmt werden. Als Setzung des Forschungsverbundes wird nun unterstellt, dass die in Abhängigkeit von der Transportentfernung spezifischen Kosten in der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur um 20% unter den Kosten des Straßengüterverkehrs liegen. Diese Setzung war notwendig, da die eigentlichen Transportkosten erst nach der vollständigen Berechnung der wirtschaftlichen Kennziffern erkannt werden können. Die späteren Ergebnisse haben somit eine Aussagekraft unter Berücksichtigung dieser Setzung. Die Umrechnung der entfernungsabhängigen Kosten in vergleichbare Maßzahlen für den Bezugs- und den Maßnahmenfall erfolgt nach folgendem Schema für jede Transportrelation:

$$\begin{array}{r}
 \hline
 \text{Fahrtstrecke Terminalanfahrt (Straße)} \\
 + \text{Fahrtstrecke im neuen Verkehrssystem X} \\
 0,8 \\
 \hline
 + \text{Fahrtstrecke Terminalabfahrt (Straße)} \\
 \hline
 = \text{spezifische Fahrtstrecke im Maßnahmenfall} \\
 \hline
 \end{array}$$

Für jede Verkehrsrelation können diese beiden Maßzahlen im Bezugs- und im Maßnahmenfall errechnet werden. Bei der weiteren Berechnung der Konkurrenzindizes werden vorab diejenigen Relationen ausgeschlossen, bei denen die Transportentfernung im Straßenverkehrssystem bei einem Wechsel auf die neue Infrastruktur steigt. Dies ist dann der Fall, wenn eine Anlieferung an das Startterminal und eine Ablieferung vom Zielterminal entgegen der jeweiligen Hauptfahrtrichtung erfolgen muss.

Für die verbleibenden Verkehrsrelationen werden die relative Änderung der spezifischen Entfernung und die relative Änderung der Transportzeit berechnet. Für die Transportzeit errechnet sich diese Maßzahl nach:

$$rel.T = \frac{T_{MF} - T_{BF}}{T_{BF}} \cdot 100$$

mit T_{MF} = Transportzeit im Maßnahmenfall

und T_{BF} = Transportzeit im Bezugsfall.

Für die spezifische Transportentfernung berechnet sich diese Maßzahl nach:

$$rel.E = \frac{E_{MF} - E_{BF}}{E_{BF}} \cdot 100$$

mit E_{MF} = spezifische Transportentfernung im Maßnahmenfall

und E_{BF} = Transportentfernung im Bezugsfall.

Die neue Verkehrsinfrastruktur ist für Transporteure dann als interessant einzustufen, wenn die spezifische Transportentfernung oder die Transportzeit sinkt, die relative Änderung mindestens einer dieser beider Maßzahlen somit kleiner als Null ist. Im Forschungsverbund wurden die Grenzen diskutiert, unter denen eine Verlagerung von Straßentransporten auf das neue Verkehrssystem zu erwarten ist und wie hoch die Attraktivität dieser Einrichtung in Abhängigkeit unterschiedlicher Kombinationen der beiden Maßzahlen sein wird. Das Ergebnis dieser Diskussion ist in Bild 3-3 abgebildet.

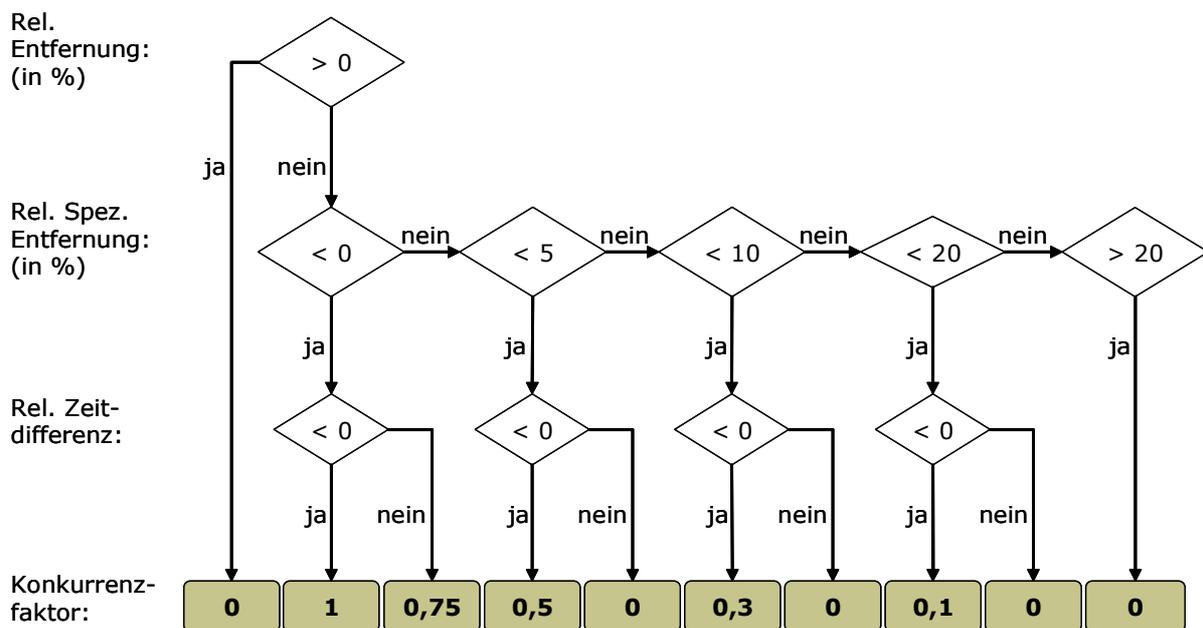


Bild 3-3: Konkurrenzindizes bei nationalen Straßengütertransporten

Die Konkurrenzindizes sind nach folgendem Schema zu lesen: Bei einer Verringerung der spezifischen Entfernung ($rel.E < 0$) und der relativen Zeit ($rel.T < 0$) wird der betrachteten Transportrelation (z.B. von Aachen nach Stockmarn) ein Konkurrenzindex von 1 zugewiesen. Dies bedeutet, dass die unterirdische Transportinfrastruktur für alle Verkehre dieser Relation interessant ist und eine

sinnvolle Alternative darstellt. Bei einer Steigerung der relativen spezifischen Entfernung von 7,5% ($rel.E < 10$) und einer Senkung der Transportzeit ($rel.T < 0$) liegt der Konkurrenzindex bei 0,3. Dies heißt, dass für 30% der Transporte der betrachteten Transportrelation die Nutzung der unterirdischen Transporteinrichtung als interessant eingestuft wird. Dies heißt jedoch nicht, dass 100% oder 30% aller Transporte auch in die neue Infrastruktur überführt werden. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die hier eingegrenzten Gütermengen für jede Relation zusätzlich durch die Güterart bzw. Ladungsform sowie durch die Neuaufteilung der Güterverkehre im Model Shift eingegrenzt. Die Konkurrenzindizes bezeichnen somit lediglich eine erste räumliche Eingrenzung des relevanten Transportmarktes, auf dem die neue unterirdische Verkehrsinfrastruktur als Transportanbieter auftritt.

Neben den nationalen Verkehren werden zusätzlich die in Bild 3-2 dargestellten Verkehrsrelationen der internationalen Ein- und Ausfuhren mit berücksichtigt. Aufgrund der höheren gesamten Transportentfernung werden die Konkurrenzindizes durch eine modifizierte Berechnung ermittelt. Die Auswahl der Regionen und der zwischen Ihnen in Form von Datensätzen vorliegenden Relationen beinhaltet bereits die Eigenschaft, dass für den Straßengütertransport und den unterirdischen Transport die Hauptfahrtrichtung identisch ist. Um jedoch diejenigen Relationen auszuschließen, für die die Transportentfernung im Bezugsfall ähnlich hoch ist wie der Transport innerhalb der unterirdischen Infrastruktur, wird die Bedingung eingeführt, dass nur diejenigen Relationen weiter betrachtet werden, bei denen der Straßengütertransport im Bezugsfall um mindestens 20% größer ist als der unterirdische Transport im Maßnahmenfall. Ist diese Bedingung erfüllt, wird ein Konkurrenzindex von 0,3 angesetzt. Das heißt, dass für 30% dieser Transporte die Nutzung der unterirdischen Transporteinrichtung eine interessante Alternative sein könnte und diese Transporte somit ebenfalls zum relevanten Transportmarkt gehören.

Diese zusätzliche Berechnung der Ein- und Ausfuhren führt bei der Kalkulation zu dem theoretischen Problem, dass eine nationale Relation nach der Bestimmung der Konkurrenzindizes nach Bild 3-3 einen Wert unter 0,3 zugewiesen bekommt, als Klassifikation als Ein- oder Ausfuhr aber einen Wert von 0,3 erhalten müsste. Wenn die Bedingungen der Ein- und Ausfuhren auch bei nationalen Verkehren gelten (Quell- oder Zielort des Transportes liegen in dem engen Einzugsgebiet der Bild 3-1),

dann werden bei der Berechnung der Konkurrenzindizes der nationalen Transportrelationen beide Ermittlungsverfahren angewendet. Für die weitere Kalkulation der relevanten Transportmengen wird für diese Relationen der jeweils höchste Konkurrenzindex ausgewählt.

3.3.2 Schiene

Für den Schienengütertransport lagen analog zu den Straßengütertransporten Daten über Transportrelationen für die in Bild 3-1 dargestellten Kreisgebiete vor. Für diese Transporte werden ebenfalls Konkurrenzindizes gebildet. Zum Straßengüterverkehr werden jedoch veränderte Verhaltensannahmen seitens der Spediteure bzw. der verladenden Wirtschaft unterstellt:

- Die Schienengüterverkehre sind weniger zeitsensitiv, so dass eine Veränderung der Transportgeschwindigkeit und damit der Transportzeit nicht ins Kalkül gezogen wird.
- Die Trennung der Güterverkehre von den sonstigen Nutzungen der Schieneninfrastruktur sowie die deutlich bessere Transportzuverlässigkeit innerhalb der unterirdischen Infrastruktur führen zu einer höheren Attraktivität der neuen Einrichtung, so dass höhere Konkurrenzindizes angesetzt werden.

Diese Annahmen beinhalten noch nicht, dass im Schienengüterverkehr bereits stärker gebündelte Güter transportiert werden (z.B. in Form so genannter Ganzzüge). Dieser Unterschied zwischen Straßen- und Schienengütertransporten wird weiter unten in den Anteilen der relevanten Güterarten und Ladungsformen berücksichtigt. Die Bestimmung der Konkurrenzindizes für die relevanten nationalen Relationen im Schienengütertransport sind in Bild 3-4 dargestellt.

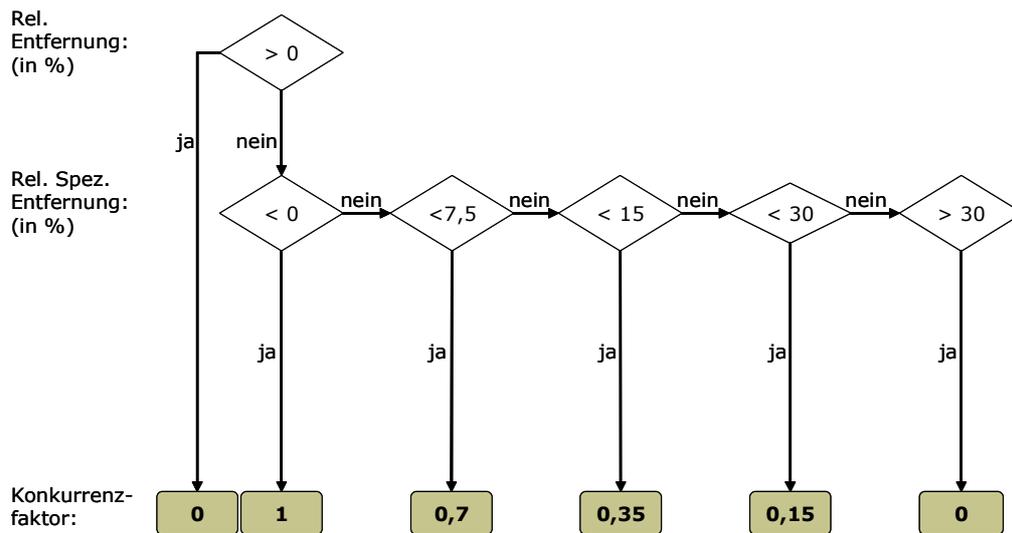


Bild 3-4: Konkurrenzindizes bei nationalen Schienengütertransporten

Analog zu der Bestimmung der relevanten Transportrelationen im Straßengüterverkehr sollten auch im Schienengüterverkehr grenzüberschreitende Relation der Ein- und Ausfahrten mit berücksichtigt werden. Hierbei ergab sich das Problem, dass die mit dem Straßengüterverkehr vergleichbaren Daten über die internationalen Relationen nicht in der gleichen Form vorhanden waren.

Tabelle 3-1: Züge im Querschnitt 2015

zwischen	Rhein/Ruhr	Raum Bremen	Bremerhaven	Raum Hamburg	Süddeutschland	Grenze Nord	Grenze West	Grenze Süd
Rhein/Ruhr								
Raum Bremen	6.905							
Bremerhaven	1.425							
Raum Hamburg	16.610							
Süddeutschland		2.500	560	1.700				
Grenze Nord	3.080				100			
Grenze West		575		1.530		320		
Grenze Süd		220	30	730		105		

Stattdessen wurde auf Daten des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und – betrieb (IVE) zurückgegriffen. Diese Daten beziehen sich auf die Zugzahlen im Querschnitt zwischen 8 Großregionen Deutschlands (vgl.

Tabelle 3-1), die sowohl die großräumigen nationalen Untersuchungsgebiete sowie die relevanten Grenzübergänge betreffen.

Für die Zugkapazitäten bzw. die beförderte Tonnage wird nach Auskunft des IVE angenommen, dass jeder Zug im Durchschnitt 35 Waggons zu je 12 Tonnen Transportgut umfasst. Entsprechend der Lage der einzelnen Großgebiete und der Lage der Terminalstandorte können für die unterschiedlichen Netzvarianten die jeweils Relevanten Tonnagen zwischen den Terminalstandorten im Querschnitt berechnet werden. Die Angaben für den Großraum ‚Rhein/Ruhr‘ mussten zusätzlich aufgeteilt werden, da je nach Netzentwurf Terminalstandorte im Rheinland in der Betrachtung enthalten sind oder wegfallen. Hier wurde in Ermangelung anderer Daten eine hälftige Aufteilung gewählt, da beide Teilräume in ihrer Bevölkerungszahl und wirtschaftlichen Aktivität im Bezug auf Gütertransporte vergleichbar sind.

Aufgrund der Zusammenstellung der Daten wird dabei gewährleistet, dass bei jedem betrachteten Transport mindestens der Sprung zwischen dem Ruhrgebiet und dem Gebiet der Seehäfen enthalten ist. Im Ergebnis liegen somit die im Straßen- und Schienenverkehr transportierten Gütermengen vor, die zusätzlich für unterschiedliche Netzentwürfe die jeweiligen Start- und Zielterminals im unterirdischen Transport beinhalten. Im Folgenden werden für beide Verkehrsarten weitere Eingrenzungen hinsichtlich der Güterart, Ladungsform und die tatsächliche Verlagerung in das neue Verkehrssystem vorgenommen.

3.4 Bestimmung der Transportverlagerung – Modal-Shift

Aus 54.844 Datensätzen über die Transportrelationen zwischen den untersuchten Kreisregionen in Nord- und Westdeutschland, 39.504 Datensätze über Transportrelationen zwischen den beiden engen Einzugsgebieten und dem in Fahrtrichtung gelegenen europäischen Ausland sowie der Angabe der Zugzählungen im Querschnitt zwischen 8 Großregionen wurden vom RUFIS die für das Jahr 2015 zu erwartenden und zu transportierenden Gütermengen zwischen den Terminals der neuen, unterirdischen Infrastruktur bestimmt. Diese Bestimmung wurde jeweils für alle Kombinationen aus 7 Netzvarianten, 5 Parametervarianten und 7 technischen Varianten durchgeführt und die Ergebnisse im Forschungsverbund intensiv diskutiert. Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der relevanten Gütermenge, die hierdurch induzierte Verlagerung der Gütertransporte zwischen den drei untersuchten Verkehrssystemen, die Streckenbelastung zwischen den Terminals und die

Weitergabe der Daten an die beteiligten Forscher wird in diesem Abschnitt nochmals zusammengefasst.

Tabelle 3-2: Parametervarianten

Parameter-variante	Verkehrsträger	Datenherkunft	Güterbestimmung	Güterverlagerung (modal shift)
A	ST	Gütermatrizen (ohne Transitverkehre)	anteilig (nach Fahrzeugart)	0,4
	SCH			0,6
B	ST	Gütermatrizen (ohne Transitverkehre)	anteilig (nach Fahrzeugart)	0,6
	SCH			1,0
C	ST	Gütermatrizen (ohne Transitverkehre)	anteilig (nach Fahrzeugart)	0,6
	SCH		alle Güter	0,6
D	ST	Gütermatrizen (ohne Transitverkehre)	anteilig (nach Fahrzeugart)	0,6
	SCH	Zugzählungen (inkl. Transitverkehre)	anteilig (nach GVZ-Affinität)	0,6
E	ST	Gütermatrizen (inkl. Transitverkehre)	anteilig (nach Fahrzeugart)	0,6
	SCH	Zugzählungen (inkl. Transitverkehre)	anteilig (nach GVZ-Affinität)	0,6

Mengenbestimmung

Gemäß der ausgewählten Parametervariante werden die verlagerten Transportmengen für die Verlagerung von der Straße auf andere Weise berechnet als die entsprechenden Mengen von der Schiene. Für die Straße wird eine Mengenermittlung nach dem Schema der Bild 3-5 vorgenommen.

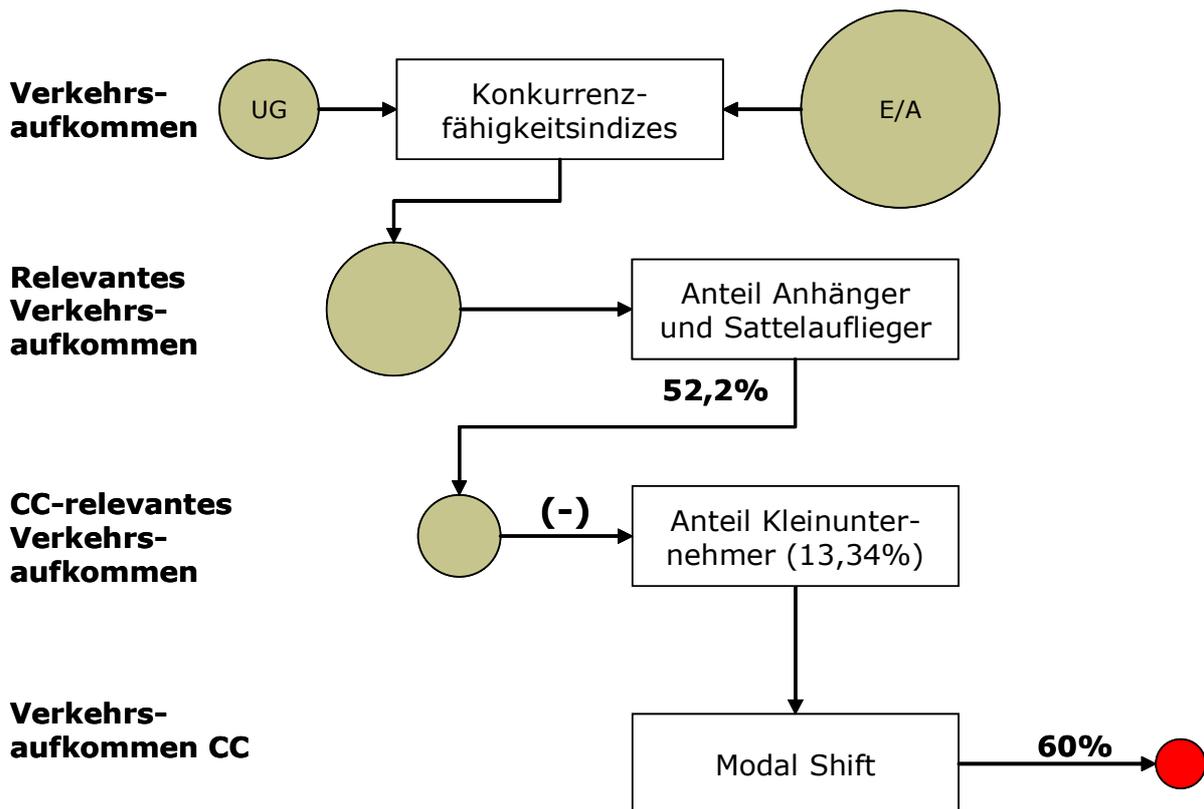


Bild 3-5: Bestimmung der Verkehrsverlagerung von der Straße

Um aus den vorhandenen Straßengüterverkehren diejenigen auszuwählen, bei denen die unterirdische Verkehrsinfrastruktur eine Alternative ist, müssen zunächst die einzelnen Transportrelationen untersucht werden. Hierfür werden für jede Transportrelation zwischen den Quellkreisregionen und den Zielkreisregionen die Fahrtzeiten und Transportentfernungen im Bezugsfall (ohne Nutzung der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur) und im Maßnahmenfall (mit Benutzung der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur) errechnet und die jeweiligen relativen Änderungen durch die Nutzung des neuen Verkehrssystems bestimmt. Diese beiden Größen stellen somit die zeit- und entfernungsabhängigen Kostenbestandteile der bisherigen, straßengestützten Gütertransporte dar, wobei die Berechnung in der Art modelliert wurde, dass die entfernungsabhängigen Kosten pro Kilometer in der neuen Infrastruktur nur 80% der entsprechenden Größe des Straßengüterverkehrs betragen.

Eine Verkehrsrelation gilt dann als mit hoher Wahrscheinlichkeit verlagerbar, wenn bei beiden Größen eine Reduktion im Maßnahmenfall erzielt werden kann. Der sog. Konkurrenzfähigkeitsindex beträgt dann 1 resp. 100%. Sind beide Größen negativ,

dann wird der Index auf 0% gesetzt; von dieser Transportrelation werden entsprechend keine Transporte verlagert. Des Weiteren gilt als Bedingung für die Verlagerung, dass zumindest die Transportzeit verringert werden kann (unter Berücksichtigung der An- und Abfahrzeiten sowie der Lade- und Wartezeiten an den Terminals). Nachteile bei der Relation der spezifischen Transportentfernung führen hierbei zu immer geringer werdenden Indizes. Ist die spezifische Transportentfernung um mehr als 20% über der bisherigen Straßenentfernung, wird der Index auf 0% gesetzt.

Um zusätzlich Ein- und Ausfahrten zu berücksichtigen, die von der Hauptfahrtrichtung entlang der unterirdischen Verkehrsstrasse liegen, werden ebenfalls die Änderungen der spezifischen Transportentfernung bemessen. Eine Änderung der Transportzeit wird hier nicht berücksichtigt. Ansonsten wird der Konkurrenzfähigkeitsindex analog zum Straßengüterverkehr zwischen den Kreisregionen in Nord- und Westdeutschland berechnet, wobei unterschiedlich starke Konkurrenzfähigkeiten unterstellt werden. Für die Transportrelationen, für die somit zwei Indizes errechnet werden können, wird der höhere Wert weiterverwendet.

In der Summe kann durch die Multiplikation der mit den Transportrelationen gelieferten Transportmengen mit dem jeweils ermittelten Indexwert das relevante Verkehrsaufkommen entlang der Trasse bestimmt werden. Hierbei handelt es sich zunächst um die Summe aller Güterarten oder Ladungsformen. Im Projektverlauf sollte diese Transportmenge entsprechend dem bisherigen Transport in Containern weiter eingegrenzt werden. Die sich hieraus ergebende Anzahl von relevanten Containern erwies sich aber als zu gering. Darum wurde das Transportkonzept erweitert, so dass auch Sattelaufleger und Anhänger unterirdisch transportiert werden können. Aus diesem Grund wird das relevante Verkehrsaufkommen durch den Anteil der Gütermengen, der in Sattelauflegern und Anhängern befördert wird, eingegrenzt. Gemäß den Statistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes beträgt dieser Anteil 52,2% des Verkehrsaufkommens. Hinzu kommen in der Praxis diejenigen Container, die nicht mit solchen Fahrzeugen befördert werden. Da hierüber aber keine Statistiken verfügbar sind, muss dieser Anteil als zukünftiges Potenzial angesehen werden, das hier nicht weiter miteinbezogen werden kann.

Eine weitere Eingrenzung ergibt sich gerade aus dem Ansatz, Sattelaufleger und Anhänger befördern zu wollen. Bei kleineren Transportunternehmen wird im

Forschungsverbund nicht davon ausgegangen, dass die Sattelzugmaschine dauerhaft vom Sattelaufleger getrennt wird. Ein unterirdischer Transport entfällt somit. Nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes werden 13,34% der Güter durch kleinere Unternehmen befördert. Dieser Anteil wird ebenfalls aus dem errechneten relevanten Güteraufkommen herausgerechnet. Übrig bleibt das tatsächlich nach Transportrelation und Unternehmensgröße relevante Verkehrsaufkommen, bei dem die unterirdische Verkehrsinfrastruktur eine attraktive Alternative bzw. Ergänzung darstellt. Abgeschlossen wird die Mengenermittlung im Straßengüterbereich durch die Annahme einer tatsächlichen Verlagerung von der Straße weg, die im Forschungsverbund mit 60% angesetzt wurde. Dieser Wert kann nicht als zu hoch bezeichnet werden, da hier der unterirdische Transport zu entsprechenden Vorteilen führt. Stattdessen beschreibt dieser Wert, dass 40% aller Transporte diese Vorteile nicht nutzen werden.

Im Schienengüterverkehr wurde zunächst auf ähnliche Weise verfahren. Da in den zugrunde liegenden Daten jedoch keine Ein- und Ausfahrten enthalten waren, wurde eine andere Statistik verwendet. Hierin werden die Transportquerschnitte zwischen acht Großregionen abgebildet und die jeweiligen Zugzahlen im Querschnitt aufgeführt. Aus Angaben der Projektpartner über die durchschnittliche Waggonzahl pro Zug, durchschnittlicher Beladung pro Waggon und Anteil der Containertransporte an dem Schienengüterverkehr kann auch hier eine Angabe zu dem tatsächlich relevanten Verkehrsaufkommen gewonnen werden. Die Transportrelationen liegen alle entlang der unterirdischen Infrastruktur, so dass mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von hier 80 km/h eine Transportverbesserung erzielt werden kann. Im Schienengüterverkehr bleiben jedoch enorme Potenziale unberücksichtigt: Unterstellt wird eine Umladung von Containern vom bisherigen Schienengütersystem auf die neuen Transportwagen. Möglich wäre aber auch eine Durchschleusung ganzer Züge aus dem bisherigen Schienennetz, wobei lediglich die Antriebseinheit ausgetauscht werden müsste. Um die genehmigungsrechtliche und politische Umsetzbarkeit nicht zu gefährden, wird diese Möglichkeit in der Berechnung nicht weiter verfolgt.

Leistungsfähigkeit der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur

Die Gütermengen werden für unterschiedliche unterirdische Verkehrsnetze berechnet. Aus der Auswahl wird vornehmlich eine Alternative als Referenzfall

ausgewählt, in der Hamburg und Bremen an Bochum und Duisburg angeschlossen werden. Eine Netzerweiterung nach Hagen und Köln gilt zu einem späteren Zeitpunkt als wahrscheinlich und wird als Erweiterungsvariante ebenfalls untersucht.

Zusätzlich wird aus verschiedenen technischen Varianten eine als Referenzvariante ausgewählt. In ihr können neben auf entsprechende Transportfahrzeuge umgeladene Container (bis 45 Fuß mit Überbreite) auch herkömmliche Waggon des bisherigen Schienengüterverkehrs befördert werden. Eine spätere Kombination mit dem Schienenverkehr ist somit möglich, erfordert aber ein entsprechend integriertes Verkehrskonzept, das nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsvorhabens ist. Hier sind noch Forschungsarbeiten zur automatischen Umkopplung bestehender Züge an ein angepasstes, fahrerloses Triebfahrzeug notwendig.

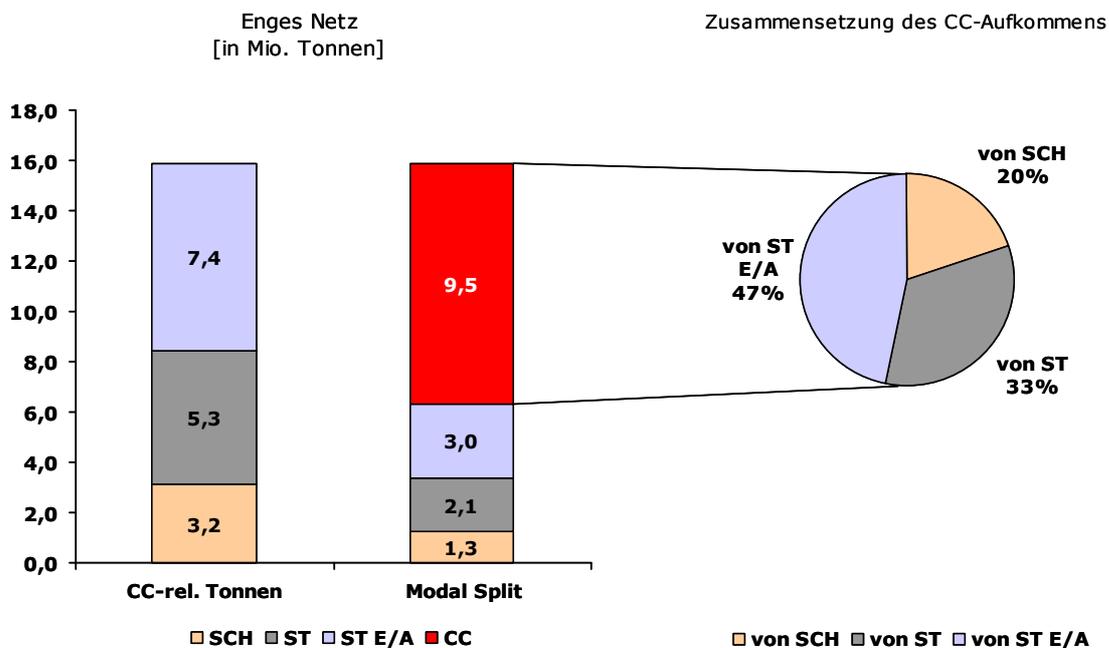


Bild 3-6: Mengenverlagerung im engen Netzentwurf 2015

Transportverlagerung

Für beide Verkehrsnetze ergeben sich entsprechend der dargestellten Annahmen Mengenverlagerungen zwischen den drei untersuchten Verkehrssystemen, die in Bild 3-6 für das enge Verkehrsnetz dargestellt sind.

Die Aufteilung der Gütermengen in Bild 3-6 zeigt, dass der größte Teil der verlagerten Gütermengen aus dem Straßengüterverkehr kommt. Die harten

Beschränkungen bei der Bestimmung des relevanten Güteraufkommens bei der Schiene führen zu einer vergleichsweise geringen Tonnage von 3,2 Mio. Tonnen. Innerhalb des Straßengüterverkehrs besitzt der Bereich der internationalen Ein- und Ausfahrten ein höheres Gewicht als die untersuchten Binnenverkehre (7,4 zu 5,3 Mio. Tonnen). Die unterirdisch transportierte Gütermenge in Höhe von 9,5 Mio. Tonnen stammt daher zu 80% von der Straße und führt dort zu entsprechenden Entlastungen. Die Berechnung der Mengen für das weite Netz führen zu höheren Mengenwerten, die Aufteilung der Güterherkunft ändert sich jedoch nicht gravierend, so dass hier aus eine weitere Darstellung verzichtet wird.

Datenweitergabe

Die Berechnung der zu transportierenden Gütermengen und die Verkehrsverlagerungen werden von den Projektpartnern für weitere Berechnungen verwendet. Hierzu wurden sie entsprechend vorbereitet:

- IVV: Zur Bestimmung der Einsparungen im Straßennetz werden Mengenänderungen für jede Transportrelation erzeugt. Zu jedem Datensatz mit Herkunfts- und Zielregion, Jahr und Güterart wird angegeben, wie viel von der ursprünglichen Tonnage im Straßensystem verbleibt und wie viel verlagert wird.
- IVE: Die von der Schiene verlagerten Tonnagemengen werden entsprechend der acht Großregionen aufbereitet und als Mengenreduktion im Schienengüterverkehr im Querschnitt weiter gegeben.
- S&P: Aus den jährlichen Transportmengen werden die richtungsabhängigen Streckenbelastungen des untersuchten unterirdischen Verkehrsnetzes berechnet. Eine Aufteilung auf die durchschnittliche Anzahl der Arbeitstage und eine aus dem Verkehrsaufkommen der Bundesautobahn 1 bei Osnabrück berechneter, richtungsabhängige, Spitzentageslastfaktor führen so zur richtungsabhängigen Spitzenlast in der neuen Verkehrsinfrastruktur, die zu bewältigen ist. Hieraus ergeben sich Vorgaben für die Auslegung der neuen Infrastruktur.
- S&P, LFM, IEEE: Aus der Spitzenlast und der durchschnittlichen Transportmenge werden im Forschungsverbund weitere Richtgrößen bezüglich des Transportguthandlings, der Energieversorgung, dem Anschluss an die bereits bestehenden Verkehrssysteme gezogen, die bei den Forschungspartnern weiter berücksichtigt werden.

Aus den Forschungen bei den Projektpartnern werden im weiteren Verlauf des Projektes maßgebliche wirtschaftliche Kenngrößen zurückgegeben, die dann zu einer Kostenberechnung der neuen Verkehrsinfrastruktur und zu einem systemübergreifenden Wirtschaftlichkeitsvergleich führen.

4 Ermittlung der Kosten und Nutzen für den Vergleichs- und Planfall

4.1 Abschätzung der Baukosten und des Realisierungszeitraumes

4.1.1 Allgemeines

Inhalte der ausgeführten Machbarkeitsstudie sind die Grundlagenermittlung und Teilaspekte der Vorplanung, welche die Grundlage liefern für eine Kostenschätzung der zu erwartenden Baukosten.

Die Kostenschätzung dient definitionsgemäß zur überschlägigen Ermittlung der Gesamtinvestitionskosten eines Projektes und wird unter Verwendung der bekannten Bedarfsangaben und globaler Erfahrungswerte durchgeführt. Die Kosten einzelner Leistungsbereiche werden pro Grundeinheit, d.h. z.B. umbautes Volumen, Vortriebsmeter etc., ermittelt. Die überschlägig ermittelten Mengen werden mit Durchschnittspreisen aus vergleichbaren, bereits durchgeführten Projekten unter Berücksichtigung aktueller Preisentwicklungen multipliziert.

Die Kostenschätzung erfolgte für die im Abschnitt 2.4.3.2 erläuterten Querschnitte, und zwar nur für die unterirdischen Fahrrohrleitungen ohne Berücksichtigung etwaiger Stationen und/oder sonstiger Bauwerke:

- einspuriger Rechteckquerschnitt in offener und geschlossener Bauweise
- zweispuriger Rechteckquerschnitt in offener und geschlossener Bauweise
- Sonderquerschnitt als Kreis in geschlossener Bauweise

Die Unterquerungen von Bahntrassen, Bundesstraßen und –autobahnen sowie von Gewässern wurden über Zuschläge auf die kalkulierten Einheitspreise mit berücksichtigt.

4.1.2 Kostenschätzung für die geschlossene Bauweise

Die Baukosten bei der geschlossenen Bauweise werden im wesentlichen von zwei Kostenanteilen beeinflusst:

- Ausbruch des Querschnittes und
- Herstellen der Innenschale (Tübbingauskleidung oder Ortbeton).

Der anstehende Baugrund hat maßgeblichen Einfluss auf die Auswahl des Bauverfahrens und die Vortriebsgeschwindigkeit und somit auch auf die Baukosten. Der Grundwasserstand ist von besonderem Interesse, da Vortriebe unter dem Grundwasserspiegel verfahrenstechnische Besonderheiten erfordern, welche die Baukosten deutlich erhöhen. Vortriebe im Festgestein führen ebenfalls zu Baukostenerhöhungen, da die Abbauwerkzeuge stärker abgenutzt werden und die Vortriebsleistung geringer ist.

Die Planungsleistung im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie beinhaltet die Absteckung möglicher Trassierungen der unterirdischen FahrFahrrohrleitungen ohne genauere Kenntnis topographischer oder geologischer Gegebenheiten. Für die Schätzung der Baukosten wurden deshalb Grundlagen für die Preisermittlung festgelegt, welche die folgenden enthaltenen und nicht enthaltenen Leistungen definieren:

Enthaltene Leistungen:

- Bodenklasse 3-5, kein Fels
- Ohne Grundwasser, Zuschlag für Grundwasser 10 %
- Mindestüberdeckung 5 m, d.h. Mindestsohlentiefe ca. 11 m, je Mehrtiefe Zuschlag von 0,5 %
- Mittlere Vortriebslänge 300 m, Zuschlag für 500 m 3 % und 1000 m 5 %
- Anteil Baustelleneinrichtung 6 % (ohne Pachten, Baustraßen, Zuwegungen)

Nicht enthaltene Leistungen:

- Mehrwertsteuer
- Kontaminiertes Material (Böden, GW)
- Grunderwerb/Temporäre Pachten
- Ingenieurleistungen
- Genehmigungen
- Querungen Fluss/Straße/Bahn (s. Abschnitt 4.1.1.3)
- Gleisbau, Signalbau

Die Streckenausrüstung (Gleisbau, Signalbau, Leitungen und Stromführung) werden im Abschnitt 2.4.5 behandelt und kostenmäßig als Streckenausrüstung gesondert berücksichtigt.

Unter den vorstehenden Ansätzen wurden die folgenden Grundeinheiten (Einheitspreise) je Vortriebsmeter ermittelt:

- Für den einspurigen Rechteckquerschnitt: 16.700,- EUR/m
- Für den zweispurigen Rechteckquerschnitt 28.800,- EUR/m
- Für das Sonderprofil (Kreis): 20.500,- EUR/m.

4.1.3 Unterquerungen

Die Unterquerungen von Bahntrassen, Bundesstraßen, –autobahnen und Gewässern wurden über Zuschläge auf die Einheitspreise je Vortriebsmeter kalkuliert. Durch diese Zuschläge werden Mehrkosten im Rahmen der Ausführung durch die vorhandene bauliche Anlage, beispielsweise große Vortriebslängen, große Tiefenlagen etc., oder auch die Kalkulation größerer Sicherheiten berücksichtigt.

Bahnunterquerung (ein- und zweispuriger Querschnitt)

- Kurze Vortriebslänge: kein Zuschlag erforderlich
- Sicherheitszuschlag evtl. für Bodenverfestigungen etc. 10 %

Gesamtzuschlag: 10 % je Vortriebsmeter

Unterquerung BAB/Bundesstraße (ein- und zweispuriger Querschnitt)

- Größere Vortriebslänge: 15 %
- Sicherheitszuschlag 10 %

Gesamtzuschlag: 25 % je Vortriebsmeter

Unterquerung Mittelgewässer (ein- und zweispuriger Querschnitt)

- Große Vortriebslänge : 15 %
- Große Tiefenlage (23,0 bis 17,0 m unter GOK): 30 %
- Sicherheitszuschlag 10 %

Gesamtzuschlag: 55 % je Vortriebsmeter

Weserunterquerung (einspuriger Querschnitt)

- Große Vortriebslänge : 20 %
- Große Tiefenlage (31,0 m unter GOK): 50 %
- Sicherheitszuschlag: 30 %

Gesamtzuschlag: 100 % je Vortriebsmeter.

4.1.4 Kostenschätzung für die offene Bauweise

Im Rahmen der Ermittlung der Baukosten für die offene Grabenverlegung sind im einzelnen nachfolgende Teilprozesse zu berücksichtigen:

- Freimachen der Grabentrasse oder Aufbrechen der Straßenbefestigung
- Erdaushub und Sicherung der Grabenwände
- Vorbereiten der Grabensohle und Verlegen der Stahlbetonelemente
- Verfüllen und Verdichten des Grabens einschließlich Rückbau eines eventuell vorhandenen Verbaus
- Wiederherstellen der Oberfläche/Straßenbefestigung.

Die Baukosten hängen im wesentlichen von folgenden Parametern ab:

- Aufbruch und Wiederherstellung der Oberfläche
- Graben- und Verbauart
- Bodenklassenverhältnisse, Erdaushub und Bodenabfuhr
- Tiefenlage
- Wasserhaltung, Drainage
- Sichern von Gebäuden, Bauteilen, Ver- und Entsorgungsleitungen

Die genannten Parameter unterliegen starken örtlichen Schwankungen. Dies führt dazu, dass die Baukosten der konventionellen offenen Bauweise grundsätzlich in starker Abhängigkeit zu den baustellenspezifischen Randbedingungen stehen.

Bis zu 75 % der Baukosten der offenen Bauweise entfallen auf die Gewerke Straßenbauarbeiten, Bodenaushub/Verbau und Wasserhaltung, deren Leistungserbringung nur als Vorleistungen anzusehen sind. Den größten Einfluss auf die

Kosten hat die Verlegetiefe, da diese maßgeblich ist für den Aushub und die Sicherung des Verlegegrabens.

- Für die Schätzung der Baukosten wurden deshalb analog der geschlossenen Bauweise Grundlagen für die Preisermittlung festgelegt, welche die folgenden enthaltenen und nicht enthaltenen Leistungen definieren:
- Enthaltene Leistungen:
- Bodenklasse 3-5, kein Fels
- Ohne Grundwasser, Zuschlag für Grundwasser 15 %
- Mindestüberdeckung 3 m, d.h. Mindestsohlentiefe ca. 8 m, Mehrüberdeckung 350,- EUR/m
- Anteil Baustelleneinrichtung 6 % (ohne Pachten, Baustraßen, Zuwegungen)

Nicht enthaltene Leistungen: Mehrwertsteuer

- Kontaminiertes Material (Böden, GW)
- Grunderwerb/Temporäre Pachten
- Ingenieurleistungen (s. Abschnitt xxx)
- Genehmigungen
- Ballastierungen oder Verankerungen der Sohle gegen Auftrieb

Unter den vorstehenden Ansätzen wurden die folgenden Grundeinheiten (Einheitspreise) je Verlegemeter ermittelt:

- Für den einspurigen Rechteckquerschnitt: 11.550,- EUR/m
- Für den zweispurigen Rechteckquerschnitt 16.200,- EUR/m

4.1.5 Realisierungszeitraum

Der Realisierungszeitraum eines Bauvorhabens umfasst grundlegend Leistungen im Rahmen der Planung, der Genehmigung (Planfeststellung), der Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen sowie deren Ausführung.

Die CargoCapContainer - Trasse mit einer Gesamtlänge von ca. 388 km ist als Bauvorhaben mit einer Ausgestaltung als Streckenbauwerk nicht ganzheitlich zu realisieren. Ein pragmatischer Ansatz für die Bauzeitenkalkulation ist die Aufteilung

des Bauvorhabens in Trassenabschnitte, deren Festlegung primär von behördlichen Zuständigkeiten in den betreffenden Raumordnungsregionen abhängt.

Die CargoCapContainer – Trasse quert die fünf Regierungsbezirke Düsseldorf, Arnsberg, Münster, Weser-Ems, Lüneburg sowie die Bundesländer Bremen und Hamburg mit folgenden Trassenlängen:

- RGB Düsseldorf 25,0 km
- RGB Arnsberg 42,5 km
- RGB Münster 90,7 km
- RGB Weser-Ems 141,10 km
- RGB Lüneburg 76,3 km
- Bremen 14,8 km
- Hamburg 9,6 km.

Angesichts der sehr großen Trassenlängen > 50 km ist es zweckdienlich, in den Regierungsbezirken Münster, Weser-Ems und Lüneburg eine weitere Aufteilung der CargoCapContainer – Trasse in mehrere, parallel zu bearbeitende Einzelabschnitte bereits in der Planungsphase bis zur Einleitung des Planfeststellungsverfahrens vorzunehmen.

Zweck der Planfeststellung ist es, alle von dem Bauvorhaben betroffenen öffentlichen und privaten Belange miteinander abzuwägen und widerstrebende Interessen auszugleichen, ohne dass es noch weiterer öffentlicher Verfahren oder Zustimmungen anderer Behörden bedarf. Durch die Planfeststellung wird die Zulässigkeit des Vorhabens einschließlich der notwendigen Folgemaßnahmen an anderen Anlagen im Hinblick auf alle von ihm berührten öffentlichen Belange festgestellt; neben der Planfeststellung sind andere behördliche Entscheidungen, insbesondere öffentlich-rechtliche Genehmigungen, Verleihungen, Erlaubnisse, Bewilligungen, Zustimmungen und Planfeststellungen nicht erforderlich. Durch die Planfeststellung werden alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Träger des Vorhabens und den durch den Plan Betroffenen rechtsgestaltend geregelt (s.a. Abschnitt 6.1.1).

Für die im Rahmen der Objekt- und Tragwerksplanung zu erbringenden Ingenieurleistungen werden für jeden der o.a. Planungsabschnitte basierend auf vergleichbaren Erfahrungen zwei bis vier Jahre veranschlagt.

Der Umfang der anschließenden Planfeststellung unter Einbeziehung der erforderlichen Umweltverträglichkeitsprüfung (s. Abschnitt 6.3) durch die zuständigen Behörden ist zum jetzigen Zeitpunkt im Rahmen dieses Forschungsprojektes nur unzureichend abzuschätzen, so dass hierfür mit ein bis drei Jahren nur ein ungefährender Zeitraum angegeben werden kann.

Für die nach der Planfeststellung erfolgende ausführungsfähige Planung, Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen werden nochmals zwei Jahre veranschlagt, so dass für die gesamte Planungsphase bis zur Vergabe der Bauleistungen ein Zeitraum von 5 bis 9 Jahren angenommen werden sollte.

Für die Abschätzung der Bauzeit ist grundsätzlich in die vier Ausführungsvarianten zu unterscheiden:

- Offen, Einspur: Rechteckquerschnitt 5,31 m x 6,99 m
- Offen, Doppelspur: Rechteckquerschnitt 10,08 m x 7,36 m
- Geschlossen, Einspur: Rechteckquerschnitt 5,31 m x 6,99 m
- Geschlossen Doppelspur: Rechteckquerschnitt 10,08 m x 7,36 m, Kreisquerschnitt \varnothing 8, 10 m

Für die Kalkulation der Bauzeit für die Fahrrohrleitungen in geschlossener Bauweise können die Erfahrungswerte vergleichbarer Tunnelquerschnitte herangezogen werden, bei denen ein täglicher Baufortschritt von 10 m für die Doppelspur und 15 m für die Einspur zugrundegelegt werden.

Bei der offenen Bauweise werden als Tagesleistung 15 m für die Doppelspur und 20 m für die Einspur angenommen.

Maßgebend für die Kalkulation der Bauzeit sind die Raumordnungsregionen Münster, Weser-Ems und Lüneburg mit den größten Trassenlängen zwischen 45 km und 94 km. Die übrigen Regionen mit den deutlich geringeren Trassenlängen sowohl in geschlossener als auch in offener Bauweise können zeitlich parallel realisiert werden.

Die Einzellängen sind nachfolgend tabellarisch aufgeführt:

Raumordnungsregion	Offene Bauweise		Geschlossene Bauweise	
	Einspur [km]	Doppelspur [km]	Einspur [km]	Doppelspur [km]
RGB Düsseldorf	11,6	3,4	7,5	2,5
RGB Arnsberg	13,1	2,6	11,6	2,8
RGB Münster	56,3	14,8	15,6	3,0
RGB Weser-Ems	93,9	21,5	17,4	6,7
RGB Lüneburg	45,1	10,8	16,0	2,9
Bremen	4,5	1,4	3,8	1,3
Hamburg	7,3	1,2	1,1	0,0
Σ	231,8	55,7	73,0	19,2

Bei einer Begrenzung der einzelnen Bauabschnitte für die einspurige Fahrrohrleitung in offener Bauweise auf ca. 15,0 km kann die Realisierung der CargoCapContainer – Trasse in den RGB Münster und Lüneburg in 4 Bauabschnitten und im RGB Weser-Ems in 6 Bauabschnitten erfolgen, wobei angenommen wird, dass maximal vier einzelne Bauabschnitte zeitgleich ausgeführt werden können. Eine größere Anzahl an Bauabschnitten muss in zeitlicher Abfolge realisiert werden.

Bei Festlegung der gleichen Trassenlänge der einzelnen Abschnitte von 15,0 km für die doppelspurige Fahrrohrleitung in offener Bauweise kann von zwei parallelen Bauabschnitten im RGB Weser-Ems ausgegangen werden.

Unter Ansatz der genannten täglichen Baufortschritte in offener Bauweise werden für die einzelnen Bauabschnitte in Abhängigkeit der Querschnittsgröße Bauzeiten von ca. 3,0 Jahren für die einspurige Fahrrohrleitung und ca. 4,5 Jahren für die Doppelspur abgeschätzt.

Unter Berücksichtigung von parallel herzustellenden Bauabschnitten ist die maximale Bauzeit für die offene Bauweise im RGB Weser-Ems mit ca. 6 Jahren zu veranschlagen. Die Trassenabschnitte in den übrigen Raumordnungsregionen können theoretisch zeitgleich ausgeführt werden.

Hinsichtlich der geschlossenen Bauweise mit einer größten Einzellänge von 17,4 km für die einspurige Fahrrohrleitung und 6,7 km für die Doppelspur (beide im RGB Weser-Ems) werden diese ganzheitlich angesetzt, was unter Ansatz der genannten täglichen Baufortschritte für die geschlossene Bauweise zu einer maximalen Bauzeit von 5 Jahren führt, auch unter der Berücksichtigung, dass die Vortriebsabschnitte in zeitlicher Abfolge erstellt werden.

Der gesamte Realisierungszeitraum der CargoCapContainer – Trasse von der Vorplanung bis zur Fertigstellung des Rohbaus wird – wie vorstehend erläutert - in Abhängigkeit von zeitgleich bearbeiteten Planungs- und Ausführungsabschnitten mit 11 bis 20 Jahren veranschlagt.

4.1.6 Baukostenabschätzung über parametrisierte Module

Die Einzelkosten für den Rohbau und für Einbauten wurden in Abhängigkeit der parametrisierten Module der CargoCapContainer - Trasse bestimmt (siehe Abschnitte 2.4.4.2 und 4.1.6). Die Einzelkosten für den Streckenbau wurden vom Forschungspartner LMF übernommen.

Zur Ermittlung der entsprechenden Gesamtkosten wurde der modulare Aufbau der CargoCapContainer - Strecke funktional erfasst und die so erhaltenen Funktionen wurden mit den o.g. Einzelkosten multipliziert und für unterschiedliche Betrachtungsabschnitte integriert.

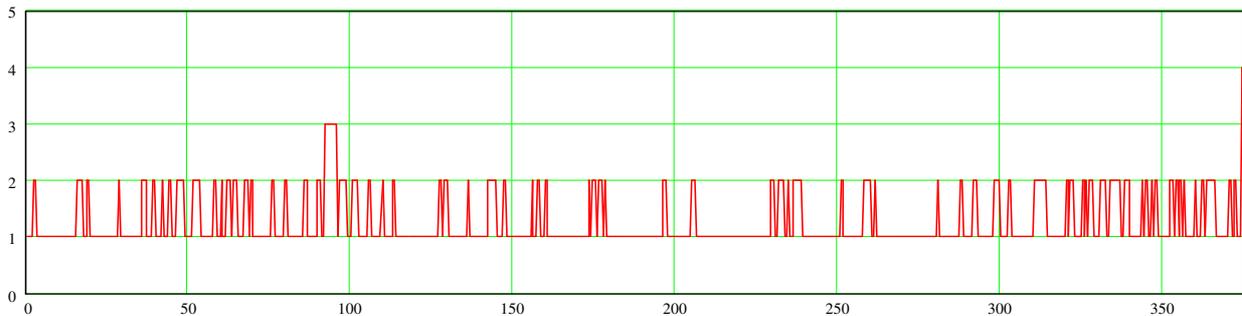
Im einzelnen wurden Funktionen für die Trassierungsparameter

- Parallelverlegung zu anderen Verkehrsträgern,
- Spurigkeit und
- Bauweise,

definiert, die im Rahmen der Modularisierung der CargoCapContainer - Strecke über eine Matrix erfasst wurden (siehe Abschnitt 2.4.1.5 und Bild 2-17).

Bild 4-1 zeigt beispielhaft die Funktion der Bauweise für die Trasse zwischen Hamburg und Duisburg.

Zusätzlich zu den Trassierungsparametern wurden besondere Querungsbauwerke, z.B. Querungen mit Flüssen oder Autobahnen, funktional erfasst. Mithilfe der vier Funktionen für Parallelverlegung, Spurigigkeit, Bauweise und besondere Querungen wird das Bauwerk CargoCapContainer für die Gesamtbaukostenermittlung hinreichend genau beschrieben.



Hamburg (0 km)

Duisburg (375,2 km);

- 1 = offene Bauweise,
- 2 = geschlossene Bauweise Rechteckquerschnitt,
- 3 = geschlossene Bauweise Kreisquerschnitt (Weser),
- 4 = Rheinbrücke

Bild 4-1: Funktion der Bauweise

Tabelle 4-1 zeigt die Einzelkosten für den Rohbau, die in die Gesamtkostenberechnung eingehen und deren Ermittlung in Abschnitt 2.4.1.5 dokumentiert ist.

Tabelle 4-2 zeigt die Zuschlagssätze für Querungsbauwerke.

Tabelle 4-1: Einzelkosten Rohbau

	offene Bauweise	geschlossene Bauweise, Rechteckquerschnitt	geschlossene Bauweise, Kreisquerschnitt	Rheinbrücke
einspurig	11.550 €/m	16.700 €/m	20.500 €/m	120.000 €/m
zweispurig	16.200 €/m	28.800 €/m	---	---

Tabelle 4-2: Zuschläge für Querungsbauwerke

	keine Querung:	Bahnquerung:	Querung BAB / gr. Bundesstr.	Querung Fluss / Kanal	Querung Weser
Zuschlag:	0 %	10 %	25 %	55 %	100 %

Für Einbauten (siehe Abschnitt 2.4.6) wurden die folgenden Einzelkosten angesetzt:

- Für allgemeine Einbauten: 350 €/m
- Für die Ausrüstung mit Brandschutzplatten: 660 €/m (Einspur - Rechteckquerschnitt), 1.050 €/m (Einspur - Kreisquerschnitt), 1.086 €/m (Doppelspur - Rechteckquerschnitt).

Die vom Forschungspartner LMF übernommenen Werte für die Kosten des Streckenbaus sind:

- Kosten des Fahrwegs: 2.203 €/m,
- Kosten einer Weiche: 200.000 €,
- Kosten des LZB - Sicherungssystems: 100 €/m.

Über die Multiplikation der einzelnen Streckenfunktionen (Parallelverlegung, Spurigkeit, Bauweise) mit den Einzelkosten des Rohbaus ergibt sich die Funktion der grundlegenden Rohbaukosten. Entsprechend ergibt sich die Funktion der Zuschläge für Querungen als Produkt der Querungsfunktion mit den Zuschlagssätzen.

Die Höhe der Zuschläge für Querungen ergibt sich aus der Multiplikation der Funktion der grundlegenden Rohbaukosten mit der Zuschlagsfunktion. Durch die Addition dieser Zuschläge zu den grundlegenden Rohbaukosten erhält man die Funktion der gesamten Rohbaukosten (siehe Bild 4-2).

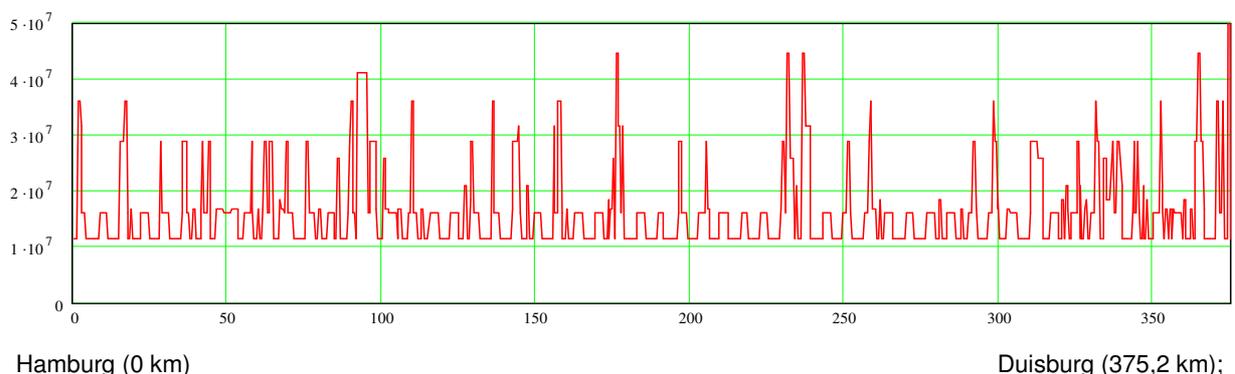


Bild 4-2: Funktion der gesamten Rohbaukosten [€/km], (10-min-Takt)

Die Funktionen für Streckenbaukosten und die Kosten der Einbauten wurden über entsprechende Multiplikationen der Trassenfunktionen mit den Einzelkosten ermittelt.

Mit den Funktionen für die

- Rohbaukosten,
- Streckenbaukosten und
- Kosten für Einbauten

sind für jeden Punkt der CargoCapContainer - Trasse die Baukosten je Längeneinheit bekannt. Über die Integration dieser Funktionen können die Baukosten für beliebige Abschnitte der Trasse bestimmt werden.

Als Grundlage für die volkswirtschaftliche Berechnung wurden die Baukosten für die Raumordnungsregionen, durch die die CargoCapContainer - Strecke führt, berechnet. Dabei wurde für den Rohbau ein Zuschlag von 3,5 % für Planung und Bauleitung und für den Innenausbau ein Zuschlag von 5 % berücksichtigt.

Rohbaukosten, Innenausbaukosten und Streckenlängen nach Raumordnungsregionen:						
	Rohbau		Innenausbau			
Hauptvariante: Hamburg - Duisburg	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Länge in der
	Rohbaukosten	Einbauten	Streckenbaukosten	Einbauten	Streckenplanung	Region [km]
Hamburg:	149.516.089 €	5.233.063 €	31.667.178 €	4.554.600 €	1.811.089 €	9,60
Hamburg Umland Süd:	997.776.483 €	34.922.177 €	207.391.312 €	36.686.963 €	12.203.914 €	62,70
Bremen Umland 1:	212.261.821 €	7.429.164 €	44.579.706 €	7.208.326 €	2.589.402 €	13,60
Bremen:	375.492.083 €	13.142.223 €	47.319.190 €	13.984.853 €	3.065.202 €	14,80
Bremen Umland 2:	56.409.158 €	1.974.321 €	10.831.598 €	2.191.048 €	651.132 €	3,00
Oldenburg:	1.188.994.815 €	41.614.819 €	248.665.130 €	39.476.528 €	14.407.083 €	75,20
Osnabrück:	429.450.379 €	15.030.763 €	98.110.841 €	12.759.762 €	5.543.530 €	31,10
Emsland:	544.441.294 €	19.055.445 €	104.597.945 €	17.600.477 €	6.109.921 €	31,80
Münster:	949.994.504 €	33.249.808 €	209.778.415 €	30.023.101 €	11.990.076 €	63,20
Emscher-Lippe:	495.855.989 €	17.354.960 €	91.524.619 €	18.336.944 €	5.493.078 €	27,50
Bochum-Hagen 1:	303.333.578 €	10.616.675 €	54.737.742 €	11.658.584 €	3.319.816 €	17,70
Duisburg-Essen:	510.464.930 €	17.866.273 €	83.311.617 €	17.192.657 €	5.025.214 €	25,00
Bochum-Hagen 2: (Langendreer)	250.359.967 €	8.762.599 €	41795252,66	10.946.911 €	2.637.108 €	12,40
Summe:	6.464.351.091 €	226.252.288 €	1.274.310.545 €	222.620.753 €	74.846.565 €	387,60
Variantenkosten Rohbau:	6.690.603.380 €					
Variantenkosten Streckenbau:	1.571.777.863 €					
Summe der Variante:	8.262.381.243 €					
Anschlussstrecke Hagen (Vorhalle):						
	Rohbau		Innenausbau			
	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Länge in der
	Rohbaukosten	Einbauten	Streckenbaukosten	Einbauten	Streckenplanung	Region [km]
Dortmund:	71.920.706 €	2.517.225 €	13.164.077 €	2.794.954 €	797.952 €	4,00
Bochum-Hagen 3: (Hagen)	215.762.117 €	7.551.674 €	39.492.231 €	8.384.863 €	2.393.855 €	12,00
Summe:	287.682.823 €	10.068.899 €	52.656.309 €	11.179.817 €	3.191.806 €	16,00
Variantenkosten Rohbau:	297.751.721 €					
Variantenkosten Streckenbau:	67.027.932 €					
Summe der Variante:	364.779.654 €					
Anschlussstrecke Köln (Eifelort):						
	Rohbau		Innenausbau			
	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Kosten sonstige	Planung + Bauleitung	Länge in der
	Rohbaukosten	Einbauten	Streckenbaukosten	Einbauten	Streckenplanung	Region [km]
Duisburg-Essen 2:	119.190.941 €	4.171.683 €	23.015.763 €	4.328.505 €	1.367.213 €	7,00
Düsseldorf:	647.036.538 €	22.646.279 €	124.942.712 €	23.497.597 €	7.422.015 €	38,00
Köln:	391.627.378 €	13.706.958 €	75.623.221 €	14.222.230 €	4.492.273 €	23,00
Summe:	1.157.854.858 €	40.524.920 €	223.581.696 €	42.048.331 €	13.281.501 €	68,00
Variantenkosten Rohbau:	1.198.379.778 €					
Variantenkosten Streckenbau:	278.911.528 €					
Summe der Variante:	1.477.291.306 €					

Bild 4-3: Ergebnisdarstellung im Berechnungsprogramm (10-min-Takt)

Bild 4-3 zeigt die Darstellung der Ergebnisse im Berechnungsprogramm für die Hauptstrecke Hamburg - Duisburg und die möglichen Anschlussstrecken nach Hagen (Vorhalle) und Köln (Eifeltor) für den 10-Minuten-Takt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Kostenabschätzung werden in Tabelle 4-3 zusammengefasst:

Tabelle 4-3: Baukosten CargoCapContainer

	Rohbaukosten:	Streckenbaukosten:	Summe:
10-Minuten-Takt:			
Hauptstrecke Hamburg-Duisburg:	6.690.603.380 €	1.151.177.863 €	8.262.381.243 €
Anschlussstrecke Hagen (Vorhalle):	297.751.721 €	67.027.932 €	364.779.654 €
Anschlussstrecke Köln (Eifeltor):	1.198.379.778 €	278.911.528 €	1.477.291.306 €
20-Minuten-Takt:			
Hauptstrecke Hamburg-Duisburg:	6.074.328.815 €	1.361.202.279 €	7.435.531.094 €
Anschlussstrecke Hagen (Vorhalle):	264.356.175 €	57.870.613 €	322.226.788 €
Anschlussstrecke Köln (Eifeltor):	1.064.693.731 €	240.149.963 €	1.304.843.694 €
30-Minuten-Takt:			
Hauptstrecke Hamburg-Duisburg:	5.899.224.532 €	1.282.708.444 €	7.181.932.976 €
Anschlussstrecke Hagen (Vorhalle):	254.518.359 €	54.926.561 €	309.444.920 €
Anschlussstrecke Köln (Eifeltor):	1.049.368.113 €	228.546.259 €	1.277.914.372 €

Detaillierte Ergebnisse der Kostenabschätzung können dem Abschlussbericht von S&P entnommen werden.

4.2 Nutzenermittlung Straße

4.2.1 Aufgabenstellung

Die Einführung von CargoCapContainer wird durch Verlagerungseffekte Einfluss auf die Nutzung und den Betriebsablauf im Straßennetz haben. Durch die Verlagerung von Fracht von der Straße auf CargoCapContainer fallen im Korridor Ruhrgebiet – Nordseehäfen prinzipiell weniger Lkw-Fahrten an.

Eine Reduktion von Fahrzeugen im Straßennetz führt dazu, dass das verbleibende Kollektiv aus Pkw und Lkw die Straßen wegen geringerer Auslastungen schneller, sicherer und umweltgerechter befahren kann. Diese Nutzen können CargoCapContainer angerechnet werden. Andererseits ergeben sich durch CargoCapContainer auf entlasteten Strecken auch Zeitvorteile, die zu Routenverlagerungen im Netz führen können, sodass Nutzenveränderungen im übergeordneten, aber auch im untergeordneten Verkehrsnetz entstehen. Erzwungene Routenverlagerungen durch die Zieländerung der zuliefernden Lkw im unmittelbaren Umfeld der CargoCapContainer-Terminals führen dort zwangsläufig zu höherem Verkehrsaufkommen. Diese Effekte sind ebenfalls in die Nutzenbilanz einzubringen.

Durch die Entlastung des Straßensystems durch "verlagerte" Lkw-Fahrten ist darüber hinaus zu prüfen, ob bei einer reduzierten Anzahl von Kfz eine geplante Straßenbaumaßnahme zur Kapazitätsausweitung unter Umständen entfallen kann, da die vorhandene Kapazität für die Verkehrsverhältnisse bei CargoCapContainer ausreicht.

Somit ergeben sich drei Teilaufgaben, deren Methodik und Ergebnisse in den folgenden Kapiteln zusammenfassend beschrieben ist, eine ausführliche Beschreibung liefert der Einzelschlussbericht IVV:

- Detaillierte Ermittlung der Verlagerungseffekte im Straßennetz durch auf CargoCapContainer verlagerte Fracht (Ermittlung der veränderten Verkehrsnachfrage und der Straßennetzbelastung, siehe Kapitel 4.2.2)
- Berechnung der verkehrswirtschaftlichen Nutzenkomponenten im Bereich 'Straße' durch zum CargoCapContainer "verlagerte" LKW-Fahrten (Direkter Nutzenbeitrag zum CargoCapContainer, siehe Kapitel 4.2.3)

- Überprüfung, ob auf geplante Straßenbauprojekte infolge CargoCapContainer verzichtet werden kann (Kostensparnis kann dem CargoCapContainer angerechnet werden, siehe Kapitel 4.2.4)

4.2.2 Ermittlung der Verkehrsauswirkungen 'Straße'

Methodische Grundlagen

Für diese Studie steht das **Netzmodell** der Bundesfernstraßenplanung zur Verfügung, mit dem u.a. die Bewertung der Straßenbauprojekte des Bundesverkehrswegeplanes 2003 (BVWP) durchgeführt wurde. Die Ermittlung der von Straßenprojekten ausgehenden, bewertungsrelevanten Wirkungen erfolgt u.a. auf der Grundlage von Verkehrsstärken im Straßennetz. Diese werden im Rahmen projektspezifischer Netzberechnungen durch Umlegung der Verkehrsnachfrageströme des Kfz-Verkehrs zwischen Raumeinheiten auf das Straßennetz ermittelt.

Zur sachgerechten Ermittlung der Verkehrsstärken werden detaillierte Informationen über die baulichen und betrieblichen Ausprägungen der einzelnen Straßenabschnitte wie Geometrie, Ausbauform, Richtungstrennung, Streifigkeit, Tempo-Limit, Überholverbot für Lkw oder Längsneigung benötigt. Diese Informationen stehen in codierter Form in einer Datei zur Verfügung, in der das Straßennetz digital als sogenanntes Netzmodell abgelegt und somit für EDV-Berechnungen operationalisiert ist. Das Netzmodell (siehe Bild 4-4) umfasst ca. 600.000 Richtungsstrecken und bildet in Deutschland alle klassifizierten Straßen (Autobahn, Bundesstraßen, Landes- und Kreisstraßen) sowie wichtige kommunale Straßen in einer Gesamtlänge von rund 260.000 km ab. Im Ausland sind nur die überregionalen Netzelemente enthalten, so dass sich ein Gesamtnetz von 536.000 km ergibt.

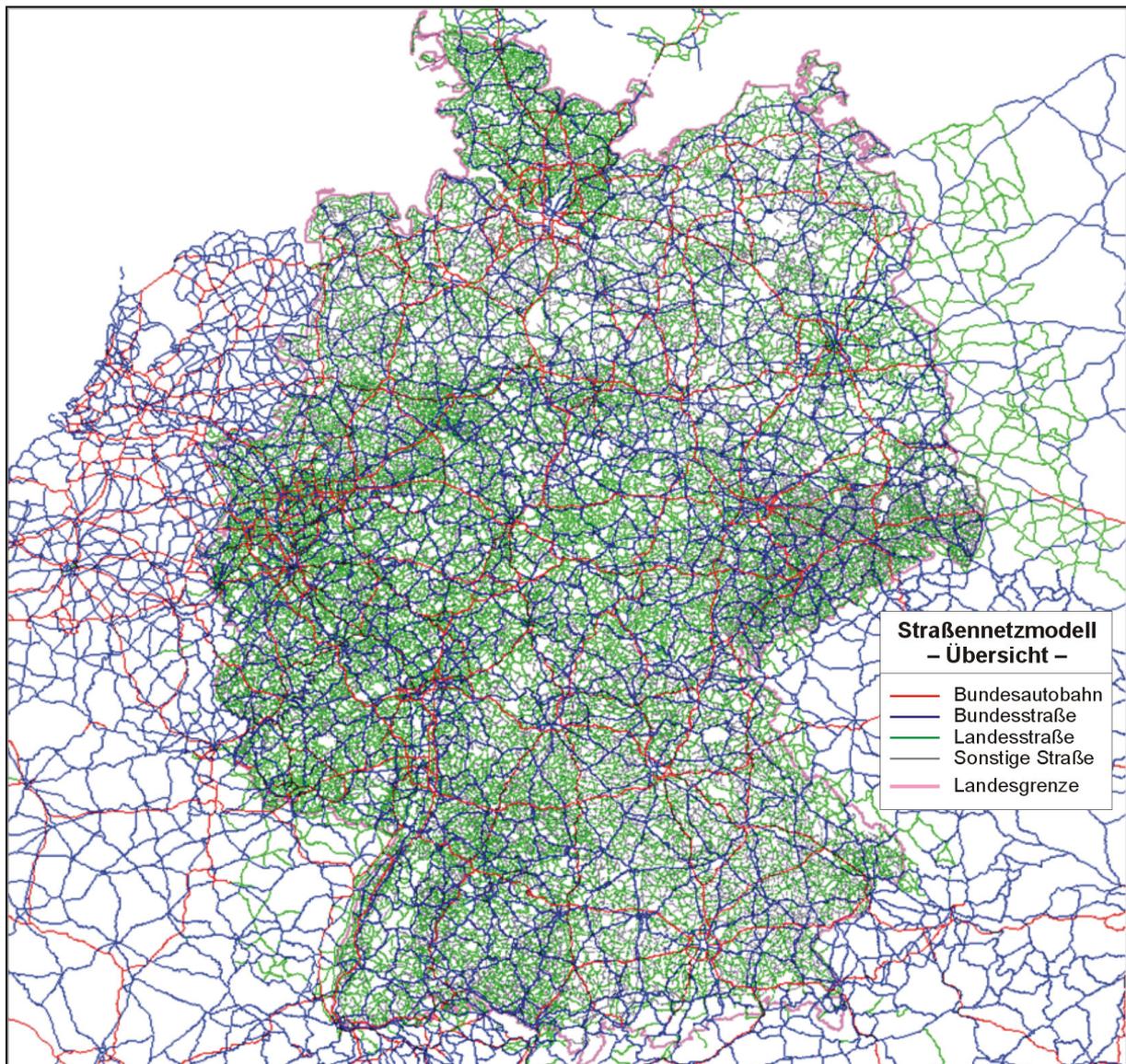


Bild 4-4 Straßennetzmodell

Die **Kapazitäten des Straßennetzes** sind im Wesentlichen abhängig von den Streckenquerschnitten und den Knotenpunktsgestaltungen bzw. Knotenpunktsteuerungen. Darüber hinaus wirken Trassierungsparameter (Steigung, Kurvigkeit), Betriebsbeschränkungen und Verkehrssteuerungsmaßnahmen (Tempo-Limits, Überholverbote) auf die Kapazitäten ein. Von entscheidender Bedeutung für die Simulation der Verkehrsabläufe im Straßenverkehr sind die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsmengen (q) und den Fahrgeschwindigkeiten (v), die mit den sog. q - v -Funktionen abgebildet werden und auf der Grundlage empirischer Messwerte für alle in der Netztypologie enthaltenen Querschnittsarten entwickelt sind. Bild 4-5 zeigt beispielhaft diesen Zusammenhang. Hieraus wird die prinzipielle Wirkung der Lkw-Reduzierung durch CargoCapContainer deutlich: Eine Reduktion

einer Streckenbelastung q_1 auf den Wert q_2 erhöht die mittlere Streckengeschwindigkeit für das Kollektiv von v_1 auf v_2 . Jedem Straßenabschnitt des Netzmodells ist eine der speziellen Streckentypologie entsprechende q - v -Funktion zugewiesen, wobei die Strecken außerhalb geschlossener Ortschaften nach den Fahrzeugarten Pkw und Lkw differenziert und innerhalb geschlossener Ortschaften über eine Funktion für den Kfz-Verkehr insgesamt beschrieben sind.

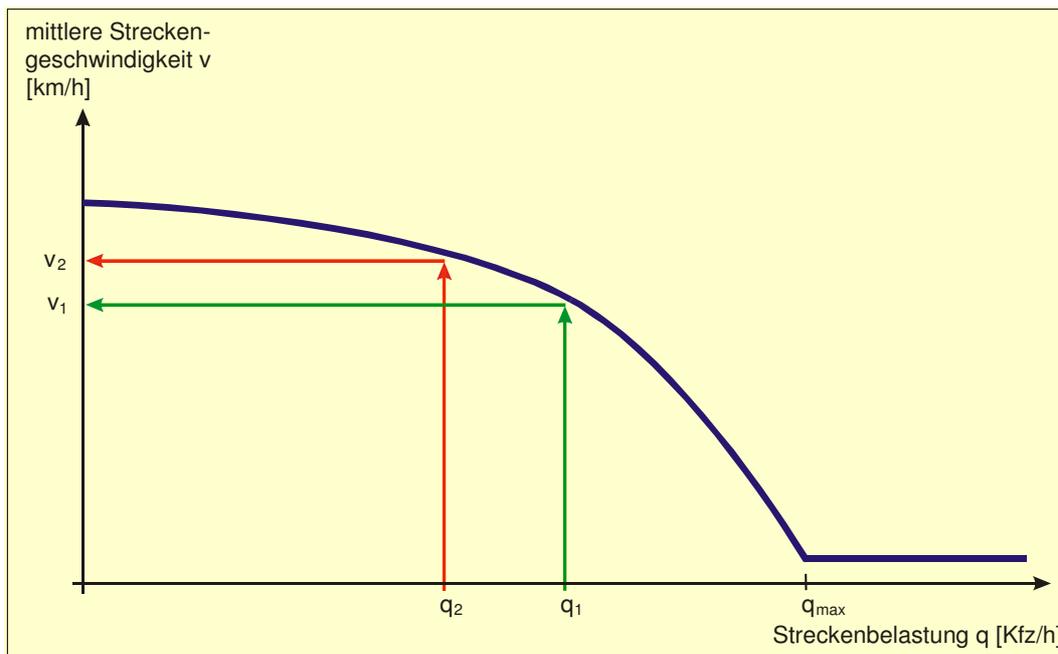


Bild 4-5 Beispiel einer Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Funktion

Um im BVWP ein Projekt bewerten zu können, werden mit Hilfe von Netzberechnungen die Verkehrsbelastungen eines Vergleichsfalls (Ohne-Fall) und die des jeweiligen Planfalls (Mit-Fall) ermittelt, indem die Ströme des Kfz-Verkehr auf das jeweilige Straßennetzmodell umgelegt werden. Aus dem Vergleich der Verkehrsbelastung im Plan- bzw. im Vergleichsfall ergeben sich die durch das jeweilige Straßenprojekt verursachten Verkehrsverlagerungen, die dann Eingangsgröße in die Nutzenberechnung sind.

Die den Berechnungen zugrunde liegenden Verkehrsströme basieren auf einer verkehrsträgerübergreifenden **Prognose zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage** bis 2015, die speziell für die BVWP 2003 erstellt wurde. Dieser Verkehrsprognose liegt das Integrationsszenario der BVWP 2003 zugrunde, in dem zusammenfassend von einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der Verkehrsnachfrage bei moderater Steuerung der Verkehrsmittelnutzung zugunsten öffentlicher Verkehrsträger

ausgegangen wird. Die Globalprognose bezieht sich auf das Prognosejahr 2015 und weist auf der Basis von ca. 500 Raumeinheiten ("Kreisregionen") fahrtzweckbezogene Verkehrsströme des Pkw-Verkehrs und gütergruppenspezifische Verkehrsströme des Lkw-Verkehrs aus. Für die Zwecke der detaillierten Netzberechnungen werden diese Fahrtenmatrizen F_{ij} zwischen Quellen i und Zielen j weiter aufbereitet und in räumlicher Hinsicht auf ca. 7.000 Verkehrszellen aufgegliedert. Hinzu kommt die Generierung des Nahverkehrs, die auf der Grundlage aktueller Strukturdaten und Verkehrsverhaltensparameter mit Hilfe der Modellsimulation durchgeführt wurde.

Die **Ermittlung der Verkehrsbelastungen** erfolgt durch Routensuchen und Umlegung der berechneten Verkehrsverflechtungsmatrizen des Pkw- und Lkw-Verkehrs auf die einzelnen Netzstrecken. Das angewandte Umlegungsverfahren wird als Capacity-Restraint-Verfahren bezeichnet. Bei diesem Verfahren werden die zu belastenden Routen durch ein Routensuchverfahren ermittelt, das jeweils Optimalrouten zwischen allen i und j liefert. Um dennoch die Aufteilung des Kollektivs auf Alternativrouten simulieren zu können, wird der Verkehrsablauf in 10 sukzessiven Schritten nachvollzogen. In jedem Schritt werden die Netzelemente der jeweils optimalen Route mit festgelegten Anteilen der Verkehrsnachfragewerte belastet. Die Widerstandswerte jedes Netzelementes (Fahrzeiten) werden nach jedem Schritt aufgrund der aktuellen Belastung mit Hilfe der q-v-Diagramme neu berechnet, so dass für die einzelnen Umlegungsschritte spezifische Routenwiderstände existieren, die wegen des q-v-Zusammenhangs zur Erzeugung jeweils neuer Optimalrouten führen. Durch unterschiedliche Gewichtung und Reihung der Nachfrageanteile des Nah- und Fernverkehrs wird sicher gestellt, dass der Fernverkehr (und hier speziell der Lkw-Verkehr) überwiegend die Autobahnen nutzt.

Verkehrsnachfrage Straße infolge CargoCapContainer

Für die CargoCapContainer-Studie konnte mit Zustimmung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen auf die Daten des BVWP zurückgegriffen werden. Die infolge CargoCapContainer veränderten Verkehrsbelastungen jeder Netzstrecke sind die Eingangsgrößen zur Nutzenberechnung. Die veränderte Verkehrsbelastung bezieht sich auf die Differenz des Vergleichsfalls, d.h. des Falles ohne CargoCapContainer und dem Planfall – der Straßennetzbelastung bei Realisierung des CargoCapContainer. Als Zeitbezug wurde wegen der vorliegenden

Daten der Prognosehorizont des BVWP (2015) gewählt, der Vergleichsfall ist das Bezugsnetz des BVWP mit der Prognosematrix. Für den Fall mit CargoCapContainer war in einem ersten Schritt die durch CargoCapContainer veränderte Verkehrsnachfragematrix F_{ij} zu bestimmen. Dabei konnte die für die Gesamtverkehrssimulation notwendige Nachfrage im Pkw- und im Lkw-Nahverkehr unverändert bleiben, die Lkw-Fernverkehrsmatrix wurde gemäß dem in Bild 4-6 skizzierten Verfahren ermittelt.

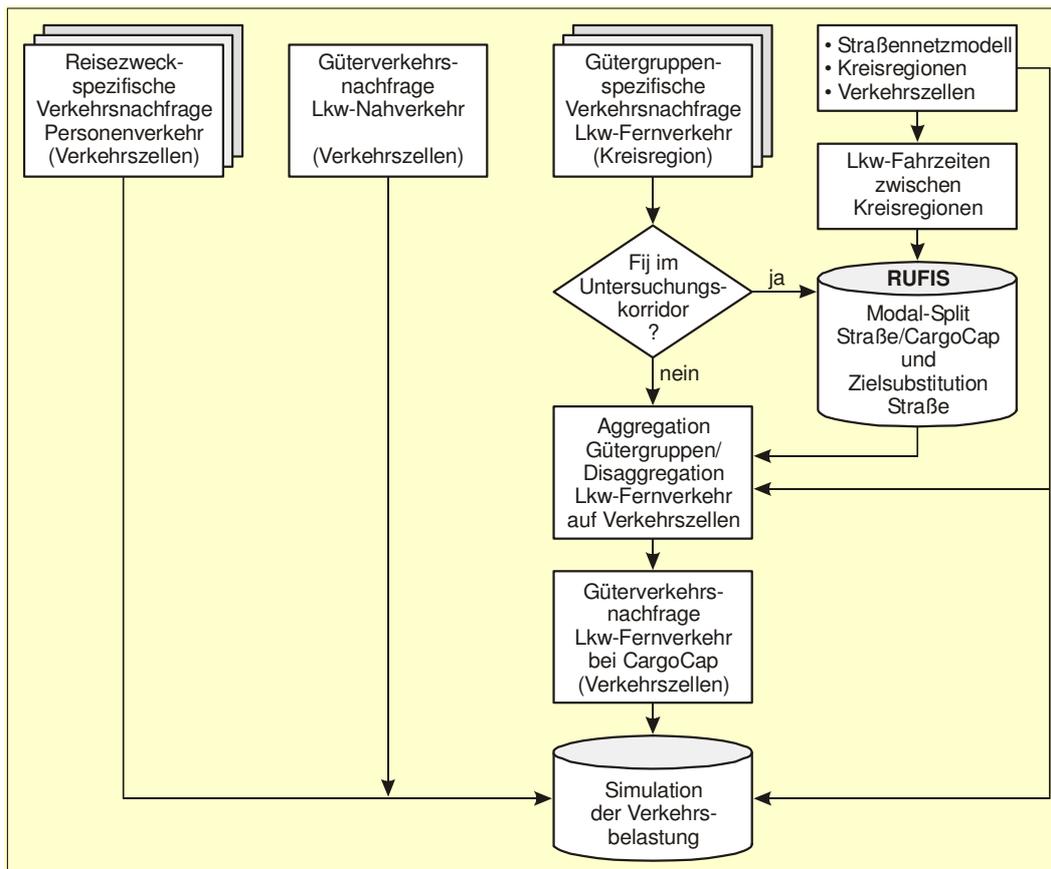


Bild 4-6 Ablauf zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage 'Straße'

Aus den in der Globalprognose für Kreisregionen vorliegenden Güterverkehrsverflechtungen wurden die im Einzugsbereich des CargoCapContainer-Systems liegenden F_{ij} -Werte getrennt nach 12 Gütergruppen in der Einheit Tonnen/Jahr selektiert. Für die relevanten Verbindungen wurden mit Hilfe des Netzmodells Lkw-Fahrzeiten ermittelt. Mit diesen Daten hat RUFIS den jeweiligen Modal-Split (Straße–CargoCapContainer) berechnet und das Ergebnis relationsscharf an IVV geliefert. Um eine für die Verkehrssimulation notwendige Datengrundlage zu erhalten, wurden die Güterverkehrsfahrten

gütergruppenspezifisch von Tonnen/Jahr in Lkw/Tag umgerechnet, über die Gütergruppen aggregiert und anschließend auf die Verkehrszellen unter Nutzung der Strukturdaten disaggregiert.

Die Modal-Split-Berechnungen wurden für mehrere Varianten durchgeführt. Bild 4-7 stellt die wichtigsten Eckwerte der Varianten E und G zusammen. Insgesamt werden pro Tag rund 3.250 Lkw-Fahrten im Fernverkehr vom CargoCapContainer übernommen.

Tonnen / a			Lkw / d		
[to/Jahr]	Netzvariante (Summe)		[LKW/Tag]	Netzvariante (Summe)	
	E	G		E	G
Straße (original)	71.069.204	71.069.204	Straße (original)	34.568	34.568
CargoCap	6.617.028	6.601.352	CargoCap	3.264	3.256
Straße (verbleibend)	64.452.175	64.467.851	Straße (verbleibend)	31.304	31.312

Bild 4-7 Eckwerte der Verkehrsnachfrage 'Straße'

Verkehrsbelastungen infolge CargoCapContainer

Mit Hilfe der Verkehrsverflechtungsmatrizen im Pkw-, Lkw-Nah- und Lkw-Fernverkehr, dem Netzmodell und den entsprechenden Simulationsalgorithmen wurde die Belastung des Verkehrsnetzes ohne und mit CargoCapContainer gemäß dem Ablauf in Bild 4-8 berechnet.

Das Berechnungsergebnis liefert je Netzstrecke die Anteile verschiedener Nutzerkollektive unterteilt nach Pkw-Verkehr (wiederum unterteilt nach Reisezwecken), Lkw-Nahverkehr und Lkw-Fernverkehr. Wie im linken Teil der Bild 4-9 als Prinzipskizze dargestellt, setzt sich der Lkw-Fernverkehr einer Autobahnstrecke im Korridor Ruhrgebiet - Nordseehäfen zusammen aus

- nicht verlagerbaren Fahrten, deren Quelle und/oder Ziel eine Verlagerung ausschließt (z.B. Ziel in Osnabrück)
- prinzipiell verlagerbaren Fahrten, die aber aufgrund der Modal-Split-

Berechnungen im System Straße verbleiben und aus
den zu CargoCapContainer verlagerten Fahrten.

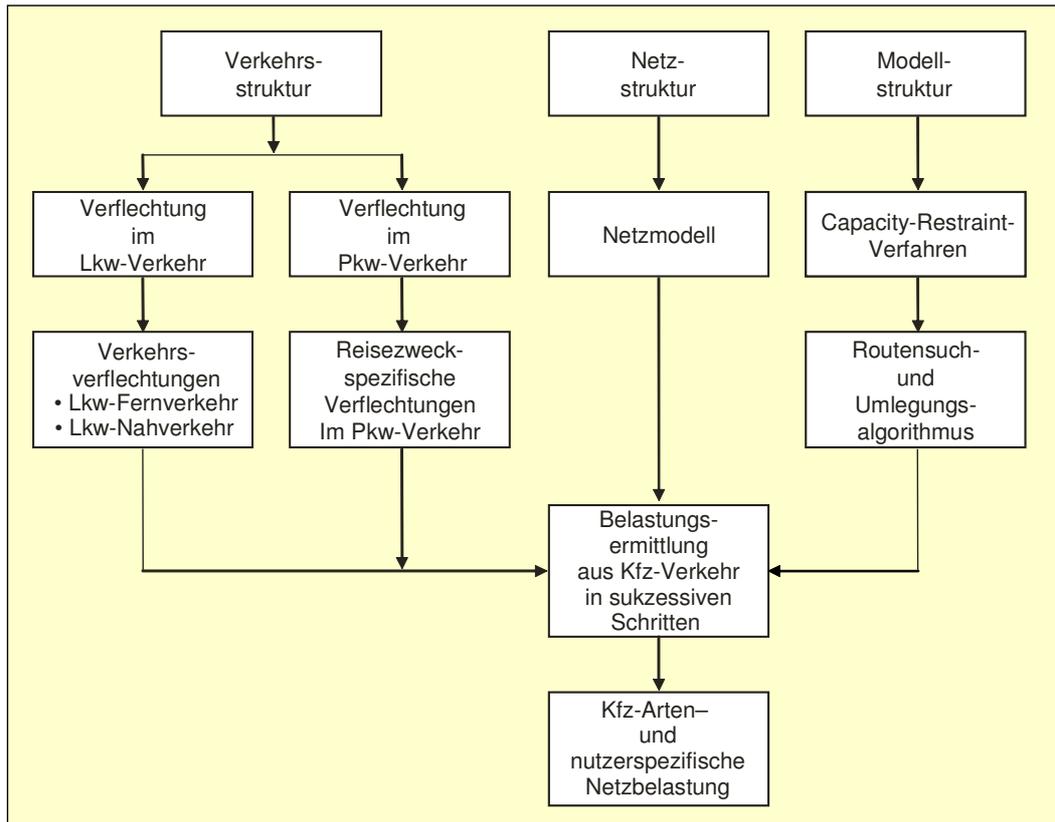


Bild 4-8 Ablauf zur Ermittlung der Verkehrsbelastung 'Straße'

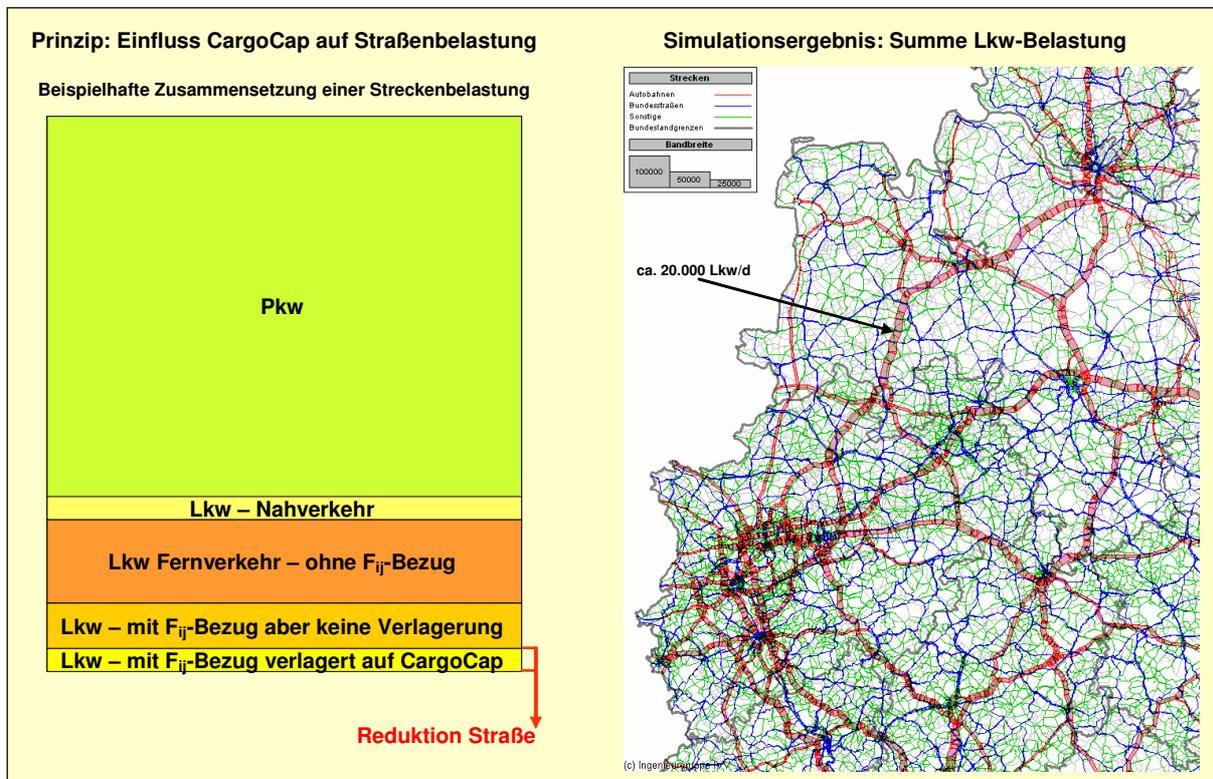


Bild 4-9 Ergebnis der Verkehrssimulation 'Straße'

Im rechten Teil der Bild 4-9 ist das Simulationsergebnis für alle Lkw-Fahrten dargestellt. Die Bandbreite gibt das Maß der Fahrten je Streckenabschnitt wieder, die Farben repräsentieren die Straßenkategorien. Auf der A1 beträgt die Querschnittsbelastung beispielsweise rund 20.000 Lkw/Tag.

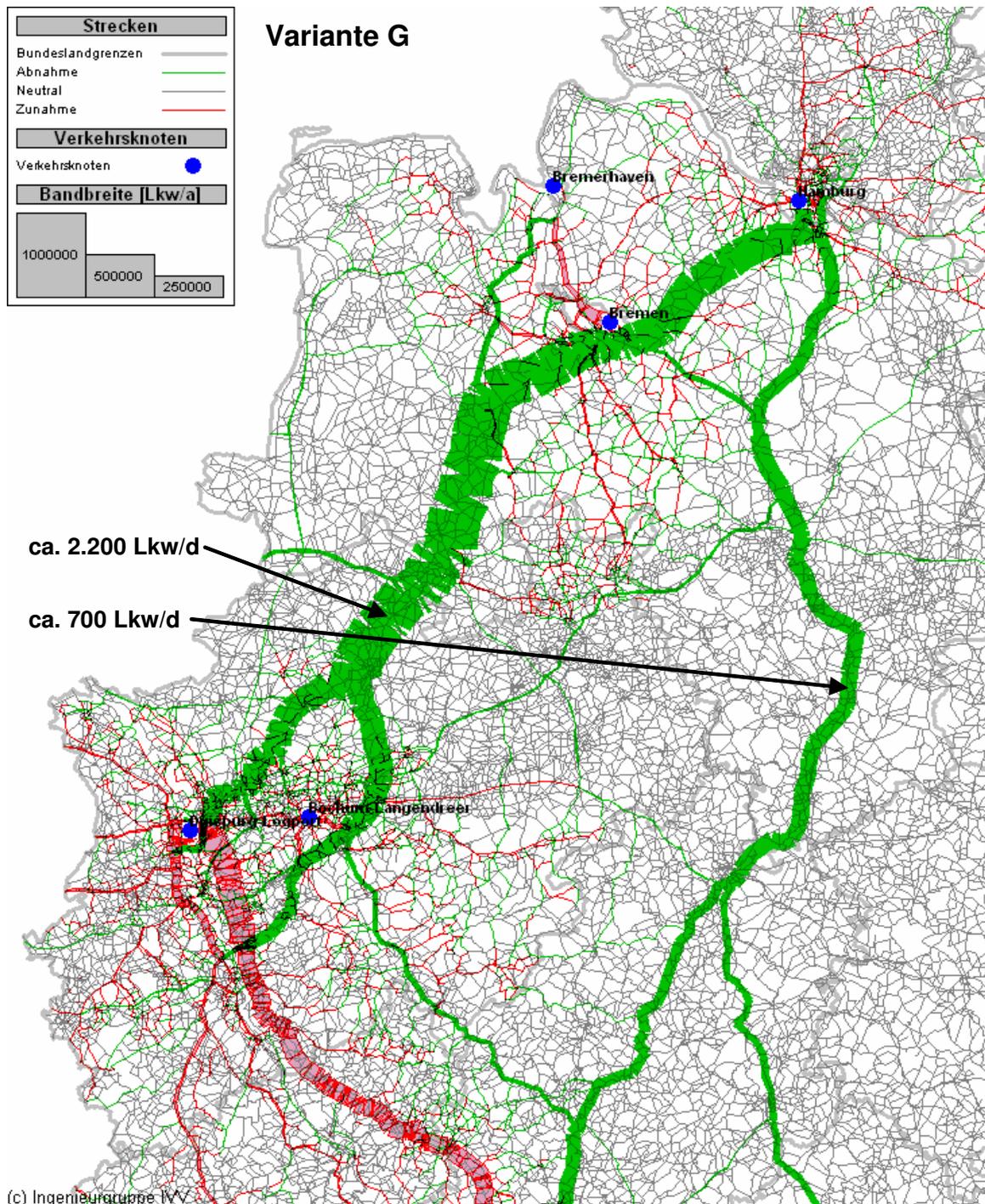


Bild 4-10 Belastungsdifferenz Straße Ohne-Fall minus Mit-Fall

Da die verlagerten Lkw etwa nur ein Zehntel dieser Menge ausmachen ist in Bild 4-10 direkt die Belastungsdifferenz zwischen dem Netzfall 'Ohne-

CargoCapContainer' und dem Netzfall 'Mit-CargoCapContainer' der Variante G in einem anderen Bandbreitenmaßstab dargestellt. Grün bedeutet dabei eine Abnahme von Kfz-Fahrten, rot eine Zunahme. Aus dieser Farbgebung lässt sich erkennen, dass beispielsweise

- die größte Belastungsreduktion mit ca. 2.200 Lkw-Tag auf der A1 zu verzeichnen ist,
- auch großräumige Verkehrsverlagerungen von der A7 zum CargoCapContainer stattfinden. Hieraus ergeben sich auch Mehrbelastungen von Süden in Richtung Ruhrgebiet,

lokale Verlagerungen im Zulauf auf die Terminals stattfinden, gut zu erkennen bei Fahrten aus Richtung Bremerhaven nach Bremen anstatt vorher über Oldenburg und A29 Richtung Ruhrgebiet oder die Verlagerung aus der Region Köln nach Duisburg statt über die A1 Richtung Nordsee.

4.2.3 Berechnung des Nutzenbeitrags 'Straße'

Methodische Grundlagen

Zur Ermittlung der **verkehrlichen Nutzen im Bereich 'Straße'** wird das im Rahmen der BVWP 2003 entwickelte Verfahren der gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Straßenprojekten eingesetzt. Hierbei werden zur Ermittlung der Nutzen aus den Ergebnissen der Netzberechnungen durch Vergleich der Verkehrsbelastungen und Geschwindigkeiten im Ohne- und Mit-Fall, die relevanten Wirkungen abgeleitet und monetarisiert. Auf eine detaillierte Beschreibung der Verfahren wird im Rahmen dieses Gesamtberichtes verzichtet, die Einzelheiten können im Einzelschlussbericht der Ingenieurgruppe IVV nachgelesen werden. Der ermittelte verkehrswirtschaftliche Nutzen setzt sich im BVWP-Verfahren aus folgenden Komponenten zusammen:

NR: Regionale Effekte

- *Beschäftigungseffekte während der Bauzeit (NR1)* – basieren auf der Abschätzung der zur Projektdurchführung erforderlichen Arbeitskräfte bzw. des Anteils der Arbeitseinkommen an den Investitionskosten
- *Beschäftigungseffekte aus Betrieb des Verkehrsweges (NR2)* – entstehen durch eine verbesserte Standortgunst im regionalen Vergleich durch verbesserte

Verkehrsanbindung

- *Hinterlandanbindung von See- und Flughäfen (NH)* – verkehrliche Wirkungen aus einer veränderten See- oder Flughafenwahl und regionalwirtschaftliche Wirkungen aus verändertem Passagier- und Güteraufkommen
- *Förderung internationaler Beziehungen (NR3)* – wird über einen Bonus von max. 10% der erzielten Zeit- und Betriebskostensparnisse bei grenzüberschreitenden Fahrten abgebildet

Hinweis: Da CargoCapContainer kein Straßenbauprojekt ist, werden die Nutzen des Bereichs NR1 und NR2 ausschließlich im Kapitel des CargoCapContainer selbst ermittelt.

NB: Transport- und Beförderungskosten

- *Fahrzeugvorhaltungskosten (NB1)* – Die vom Projekt bewirkten Verkürzungen der Transport- und Beförderungszeiten führen auch zu Kostensenkungen bei der Fahrzeugvorhaltung. Hierbei werden ausschließlich die im gewerblichen Verkehr (Lkw-Verkehr und Teile des Pkw-Verkehrs) erreichten Einsparungen einbezogen.
- *Betriebsführungskosten (NB2)* – Die mit der Realisierung des Projektes verbundenen Fahrzeitverkürzungen führen zu Senkungen der Betriebskosten. Die eingesparten Betriebsführungskosten beziehen sich ausschließlich auf den gewerblichen Verkehr und setzen sich aus den Teilnutzen Lohnkosten Personal (NB2a) und Betriebskosten Fahrzeug (NB2b) zusammen.
- *Fahrleistungskostendifferenzen bei Verlagerungen zwischen Verkehrsträgern (NB3)* – Quantifizierung der projektspezifischen Wirkungen von Intermodalen Verlagerungen zwischen Straßenverkehr und Schienenverkehr (Hinweis: Hier nicht relevant)

NW: Erhaltung der Verkehrswege

- *Erneuerungskosten (NW1)* – Projektspezifische Einsparungen zur Erneuerung bestehender Straßen oder Bauwerke
- *Instandhaltungskosten (NW2)* – Projektspezifische kontinuierliche Kosten für den Betrieb (inkl. Winterdienst) und die kleineren Instandhaltungsmaßnahmen.

Hinweis: Da CargoCapContainer kein Straßenbauprojekt ist entfallen diese Nutzenkategorien im Bereich 'Straße'

NS: Verkehrsicherheit

- *Reduktion von Unfallkosten (NS)* – Die eingesparten Unfallkosten ergeben sich aus der Differenz der Unfallkosten im Vergleichsfall und im Planfall. Sie werden quantifiziert, indem für alle Wirkungsstrecken Unfallrisikopotenziale abgeleitet und mit Unfallkostensätzen multipliziert werden. Hierbei sind die Unfallrisikopotenziale das Produkt aus Verkehrsleistungen und streckenspezifischen Unfallraten.

NE: Erreichbarkeit

- *Reduktion des Zeitaufwandes im privaten Personenverkehr (NE)* – Die projektbedingten Fahrzeitverkürzungen führen auch bei Privatfahrten zu Zeitvorteilen und damit zu (fiktiven) Kosteneinsparungen. Die Nutzenermittlung erfolgt durch Multiplikation der zu erwartenden Zeitvorteile mit Personenzeitkosten.

NU: Umwelteffekte

- *Verminderung von Geräuschbelastungen innerorts (NU1a)* – Monetarisierung von Änderungen berechneter äquivalenten Dauerschallpegel zwischen Vergleichsfall und Planfall (detailliertes Verfahren).
- *Verminderung von Geräuschbelastungen außerorts (NU1b)* – Monetarisierung von Änderungen berechneter äquivalenten Dauerschallpegel zwischen Vergleichsfall und Planfall (vereinfachtes Verfahren)
- *Verminderung von Abgasbelastungen (NU2)* – Grundlagen: Die Emissionen des jeweils betrachteten Netzes werden aus dem Verkehrsmengengerüst und den relevanten Abgasemissionskoeffizienten abgeleitet. Die Berechnung erfolgt differenziert nach 8 Fahrzeuggruppen. Die jeweils maßgebenden Emissionskoeffizienten sind dabei nach Verkehrszuständen differenziert, die durch den Streckentyp und die jeweilige Verkehrsstärke bestimmt werden. In die Berechnung der innerörtlichen Immissionen werden die Zuordnungen der einzelnen Strecken zu Stadtmodellbausteinen einbezogen. Zusätzlich fließen in die Ermittlungen die in der jeweiligen Region (Bundesländer) vorherrschenden Windsituationen mit ein. Für einzelne Komponenten werden unterschiedliche

Berechnungsformeln und Monetarisierungsansätze verwendet:

- Globale Emissionen [CO₂] (NU21)
 - Innerörtliche NOX-Immissionen (NU22)
 - Kanzerogene Schadstoffe (NU23)
 - Treibhausgase (NU24)
- *Trennwirkungen (NU3)* – Die Entlastung von Ortsdurchfahrten vom Kfz-Verkehr führt zur Verbesserung der Aufenthaltsqualitäten auf Innerortsstraßen. Diese werden mit Hilfe von Zeitverlusten, die Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn hinnehmen müssen, als sogenannte Trennwirkung quantifiziert. Die Fußgänger-Wartezeiten werden in Abhängigkeit vom Straßentyp und zum Teil von der jeweiligen Verkehrsstärke ermittelt und mit der Anzahl der Aufenthaltsbetroffenen verknüpft.

NI: Induzierter Verkehr

- *Kompensation des vom Projekt neu induzierten Verkehrs (NI)* – Berücksichtigung des quantitativen Zusammenhänge zwischen Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur (Zeitaufwand) und primär induziertem Verkehr

Nutzenbeitrag aus dem Bereich 'Straße'

Mit der BVWP-Bewertungssystematik wurde für den Fall CargoCapContainer die detaillierte Bewertung mit dem BVWP-Vergleichsfall einerseits und der simulierten Straßenbelastung im Mitfall – d.h. bei Minderbelastungen durch "reduzierte" Lkw-Fahrten aber auch Mehrbelastungen durch Zielverlagerungen im Bereich der Terminals gemäß Bild 4-10 – für die Varianten E und G durchgeführt.

Die Ergebnisse der Nutzenermittlung sind in Bild 4-11 für die Variante G aufgeführt. Aus der Größenordnung und der Vorzeichen der Zahlenwerte wird deutlich, dass diejenigen Nutzenkomponenten, die primär von der Anzahl und dem Wege- und Zeitaufwand von Fahrzeugen abhängen, durch die Reduktion der Lkw-Fahrten profitieren. Insgesamt erbringt CargoCapContainer in der Variante G für das Straßensystem einen **verkehrswirtschaftlichen Nutzen von rund 186 Mio. €/Jahr**. (In der Variante E beträgt der Nutzen 222 Mio. €/Jahr).

Nutzenkomponenten Variante G [TEUR/a]		
NR1	0	Beschäftigungseffekte während der Bauzeit
NR22	0	Beschäftigungseffekte aus Betrieb des Verkehrsweges
NH	-3	Hinterlandanbindung
NR3	13	Förderung internationaler Beziehungen
NB1	8.784	Fahrzeugvorhaltekosten
NB2a	63.903	Betriebsführungskosten (Personal)
NB2b	72.742	Betriebsführungskosten (Betrieb)
NB3	0	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern
NW1	0	Erneuerungskosten
NW2	0	Instandhaltungskosten
NS	3.681	Verkehrssicherheit
NE	-570	Verbesserung der Erreichbarkeit
NU1a	169	Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)
NU1b	0	Verminderung Geräuschbelastung (ausserorts)
NU21	188	globale Emissionen (CO ₂)
NU22	-106	inneroertliche NO _x -Immissionen
NU23	6	kanzerogene Schadstoffe
NU24	37.172	Treibhausgase
NU3	-71	Trennwirkungen
NI	89	Induzierter Verkehr
NR	10	Regionale Effekte
NB	145.429	Transportkosten
NW	0	Erhaltungskosten
NS	3.681	Verkehrssicherheit
NE	-570	Verbesserung Erreichbarkeit
NU	37.358	Umwelteffekte
NI	89	Induzierter Verkehr
185.996		Summe Nutzen

Bild 4-11 Nutzenkomponenten 'Straße' der Variante G

Bevor die Nutzen monetarisiert sind liegen die verkehrlichen Wirkungen in ihren originären Einheiten vor. Zu den wichtigsten Wirkungsbereichen zählen u.a. der Wege- und Zeitaufwand, der Treibstoffverbrauch sowie die Unfallrisikopotenziale. Ihre Ermittlung erfolgt durch Ableitung spezifischer Kenngrößen aus den streckenbezogenen Ergebnissen der Netzberechnungen:

- Der Wegeaufwand wird durch Aggregation der streckenspezifischen Belastungswerte unter Berücksichtigung der Streckenlänge ermittelt.
- Der Zeitaufwand wird ebenfalls auf der Grundlage der streckenspezifischen Belastungswerte unter Einbeziehung von Verkehrsmengen-Geschwindigkeits-

Abhängigkeiten (Verkehrsgeschwindigkeit im Belastungszustand) streckenspezifisch ermittelt und zu Gesamtwerten für den Untersuchungsraum aggregiert.

- Der vom Kfz-Verkehr ausgehenden Treibstoffverbrauch wird mit Hilfe von Verbrauchsfunktionen, die von der Kfz-Art und von den Fahrmodi der Kfz abhängig sind, streckenbezogen ermittelt und anschließend zu raumbezogenen Werten aggregiert.
- Die Ermittlung der Unfallrisikopotenziale erfolgt ebenfalls je Strecke durch Verknüpfung der streckentypbezogenen Unfallraten mit den Verkehrsbelastungswerten. Die streckenspezifischen Ergebnisse werden wiederum zu Gesamtwerten zusammengefasst.

In Bild 4-12 sind die Kenngrößen wichtiger verkehrlicher Wirkungsbereiche bei Realisierung des CargoCapContainer zusammengestellt. Auch aus dieser Tabelle werden die beiden Wirkungspänomene des CargoCapContainer deutlich: Der verringerte Wegeaufwand ergibt sich durch die Verringerung der LkW-Fahrten bzw. -Fahrtweiten. Die anderen Kenngrößen ergeben sich überwiegend aus der Tatsache, dass die übrigen Fahrzeuge wegen der geringeren Auslastung vieler Netzstrecken schneller und sicherer fahren können.

Reduktion signifikanter Kenngrößen		
Kenngröße	Variante E	Variante G
Wegeaufwand [Mio. Kfzkm / a]	-283	-257
Zeitaufwand [Mio. Kfzh / a]	-71	-64
Treibstoffverbrauch [Mio. l / a]	-4	-3
Unfallgeschehen [Unfälle / a]	-173	-152

Bild 4-12 Verkehrliche Wirkungen des CargoCapContainer im Bereich Straße

4.2.4 Überprüfung auf verzichtbare Straßenbauprojekte

Methodische Grundlagen

Ein Straßenbauprojekt wird in der Regel notwendig, wenn es wegen gesteigerter Verkehrsnachfrage zu Kapazitätsengpässen im bestehenden Netzsystem kommt. Mit CargoCapContainer wird das Straßensystem durch "verlagerte" Lkw-Fahrten partiell entlastet. Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob bei einer reduzierten Anzahl von Kfz eine (im Rahmen des BVWP 2003) geplante Straßenbaumaßnahme zur Kapazitätsausweitung unter Umständen entfallen kann, da die vorhandene Kapazität für die Verkehrsverhältnisse bei CargoCapContainer ausreicht. Die dadurch eingesparten Investitions- und Unterhaltungskosten können gesamtwirtschaftlich betrachtet dem CargoCapContainer als Nutzen zugeschlagen werden.

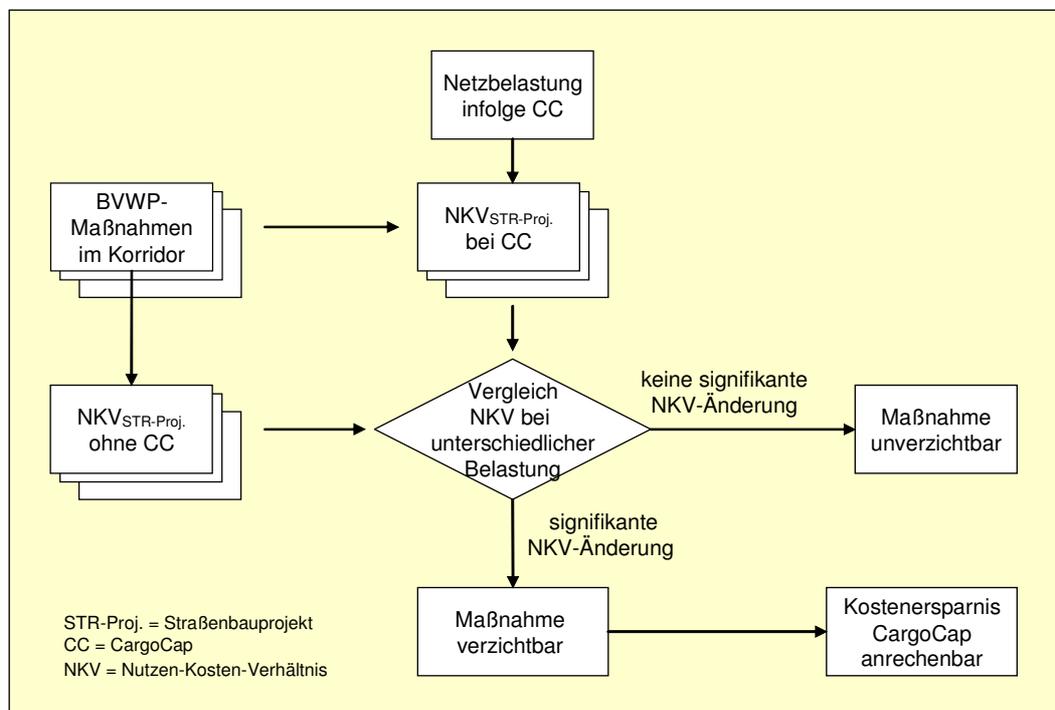


Bild 4-13 Ablauf Überprüfung verzichtbarer Straßenbauprojekte

In Bild 4-13 ist der Ablauf dieser Prüfung verdeutlicht. Zunächst sind diejenigen BVWP-Maßnahmen zu identifizieren, die von einer reduzierten Zahl von Lkw betroffen sind. Für jede Maßnahme liegt aus der BVWP ein Nutzen-Kosten-Verhältnis als Ergebnis der verkehrswirtschaftlichen Bewertung vor. Für jedes Projekt wird dann eine komplette Verkehrsberechnung und Bewertung unter den verkehrlichen Bedingungen "Mit-CargoCapContainer" durchgeführt.

Hierbei ist allerdings zu beachten, dass dabei die Verlagerung der Lkw in den CargoCapContainer sowohl im Bezugsfallnetz (ohne Straßenbaumaßnahme) als auch im Planfallnetz (mit Straßenbaumaßnahme) berücksichtigt werden muss. Es liegt also nur ein geringeres Lkw-Niveau in beiden Fällen vor, nicht wie bei der Nutzenermittlung in Kapitel 4.2.3, eine echte Differenz durch "verschundene" Lkw. Mit der um CargoCapContainer-Relevanz veränderte Verkehrsnachfrage wird ein neuer Bezugsfall und je BVWP-Projekt eine neue Verkehrsbelastung berechnet und damit eine BVWP-Bewertung durchgeführt. Das dabei ermittelte Nutzen-Kosten-Verhältnis wird mit dem "Original-NKV" verglichen. Nur wenn der NKV unter CargoCapContainer-Bedingungen deutlich nach unten abweicht und dabei kein vordringlicher Baubedarf nachgewiesen wird kann auf das Projekt verzichtet werden.

Ergebnis der Prüfung auf verzichtbare Straßenbauprojekte

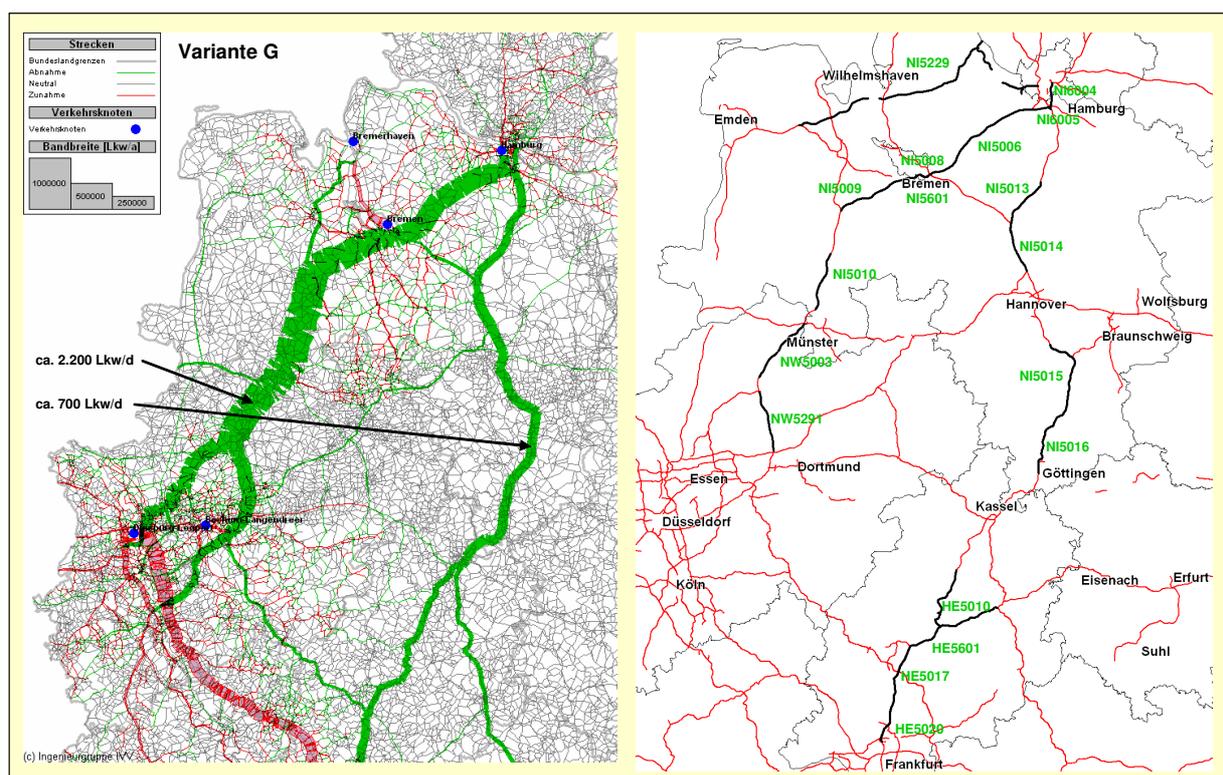


Bild 4-14 Lage der überprüften Straßenbauprojekte

Zur Überprüfung der möglichen Verzichtbarkeit der Straßenbaumaßnahmen wurden 18 betroffene Maßnahmen des aktuellen BVWP aufgrund des möglichen Einflusses der berechneten Verkehrsverlagerungen bei CargoCapContainer gemäß Bild 4-14 identifiziert.

Für den neuen Bezugsfall (Netz ohne Maßnahmen) und jede Einzelmaßnahme wurden die Verkehrssimulationen und die Bewertungen auf der Grundlage der verlagerten Lkw durchgeführt, die neuen Nutzen-Kosten-Verhältnisse ermittelt und mit den ursprünglichen verglichen.

Das Ergebnis der Überprüfung ist in Bild 4-15 zusammengefasst. 17 der 18 Maßnahmen sind Ausbaumaßnahmen von 4 auf 6 bzw. 6 auf 8 Streifen (siehe Ziffern bei 'Bautyp'). Da bei der Untersuchung je Maßnahme die Verlagerung der Lkw in den CargoCapContainer sowohl im Bezugsfall (ohne Straßenbaumaßnahme) als auch im Planfall (mit Straßenbaumaßnahme) berücksichtigt werden muss, sind die Wirkungen eher gering. Als Ergebnis könnte nur auf eine Ausbaumaßnahme auf der A1 verzichtet werden. Die damit **eingesparten Investitions- und Unterhaltungskosten betragen 6,3 Mio. €/Jahr.**

NKV - Vergleich								
Projekt-Nr.	Projekt-Beschreibung	Strassen-Bez.	Bautyp	Länge [km]	NKV	Ein-stufung	NKV bei CargoCap	NKV-Delta
HE5010	Hattenbacher Dreieck - Gambacher Kreuz	A 5	46BB	77,8	3,67	WB	3,65	-0,02
HE5017	Gambacher Kreuz (m) - Bad Homburger Kreuz	A 5	68BB	32,5	5,92	WB*	5,90	-0,02
HE5020	Bad Homburger Kreuz - Frankfurt/Main (m)	A 5	68BB	10,8	>10,00	VB	> 10,00	
HE5601	Bischhausen - Reiskirchener Dreieck	A 49	04/06	57,9	3,94	WB*	3,81	-0,13
NI5006	Buchholz - Bremen	A 1	46BB	67,9	4,73	VB	4,33	-0,40
NI5008	Bremen - Delmenhorst/O	A 1	68BB	20,4	2,57	WB	2,51	-0,06
NI5009	AS Delmenhorst-Ost - AD Ahlhorner Heide	A 1	46BB	34,5	1,94	WB	1,89	-0,05
NI5010	südl. AS Lohne/Dinklage - AS Osnabrück-Nord	A 1	46BB	38,9	3,55	VB	2,66	-0,89
NI5013	Sołtau - Walsrode	A 7	46BB	30,0	4,98	WB*	4,57	-0,41
NI5014	Walsrode - Hannover/N	A 7	68BB	29,1	3,51	WB	3,29	-0,22
NI5015	Hildesheim - Salzgitter	A 7	46BB	16,6	2,96	WB	2,89	-0,07
NI5016	Salzgitter - Göttingen	A 7	46BB	72,2	3,77	VB	3,65	-0,12
NI5802	Lübeck(A 1) - Moorburg(A 7) bzw. Westerstede(A 28A20 / A26	A 1	04KB	280,1	2,83	VÖ	2,75	-0,08
NI5601	Buchholzer Dreieck (A 261) - Osnabrück/N	A 1	46BB	174,9	4,12	WB	3,61	-0,51
NI6004	Hamburg/S - Horster Dreieck (A 7)	A 1	68BB	13,6	>10,00	WB	> 10,00	
NI7005	Horster Dreieck (A 7) - Buchholz (A 261)	A 1	46BB	11,4	1,25	WB	1,25	0,00
NW5003	Lotte/Osnabrück - Münster	A 1	46BB	39,4	3,96	VB	3,50	-0,46
NW5291	Münster - Kamen	A 1	46BB	39,9	4,70	WB	3,93	-0,77

VB Vordringlicher Bedarf
 WB Weiterer Bedarf
 WB* Weiterer Bedarf mit Planungsrecht
 VÖ Vorhaben mit besonderem naturschutzfachlichen Planungsauftrag für den VB

Nur eine Maßnahme mit Potenzial für "Verzichtbarkeit" [6.300 TEuro/a]

Bild 4-15 Ergebnis der Überprüfung

4.3 Ermittlung der Kosten und Nutzen Schiene

Ausgehend von knapp 11 Zügen je Tag und Richtung, die von der Schiene auf CargoCapContainer verlagert werden, ist ein möglicher Verzicht auf den zweigleisigen Ausbau der Strecke Minden – Nienburg (Weser) ermittelt worden.

Durch den Verzicht des zweigleisigen Ausbaus auf dem Abschnitt 116 Mio. € Investitionskosten infrage gestellt werden. Hierdurch ist mit einer angespannten Betriebssituation auf der eingleisigen Strecke zu rechnen. Für den Abschnitt Rotenburg – Verden reicht die Entlastung durch CargoCapContainer nicht aus, um den zweigleisigen Ausbau infrage zu stellen.

Eine Untersuchung der Knoten hat ergeben, dass geplante Maßnahmen zur Verbesserung von problematischen Knoten (z.B. Bremen) sich nicht auf die Relation der CargoCapContainer-Verkehre auswirken.

Die Instandhaltungskosten der Strecken können verringert werden, wenn durch den Wegfall der Güterzüge einzelne Strecken von Mischstrecken in reine Personenstrecken umdefiniert werden können. Hierdurch können maximal 400.000 € pro Jahr eingespart werden.

Durch einen fahrerlosen Betrieb können die Betriebskosten eines CargoCapContainer-Transportes gegenüber einem lokbespannten Schienentransport gesenkt werden. Die Entlastung wird mit 0,0030 € je tkm abgeleitet.

Es ist zu beachten, dass durch die Verlagerung von der Schiene auf CargoCapContainer dem System Bahn Trassenentgelte verloren gehen.

Die Umschlagvorgänge sind nicht mitbewertet worden, da sie sowohl im Schienenverkehr wie auch für CargoCapContainer-Verkehre anfallen.

Weitere Möglichkeiten der Verlagerung von der Schiene auf CargoCapContainer sind vorhanden, da der Tunnelquerschnitt von CargoCapContainer auch die Durchleitung konventioneller Güterwagen erlaubt. Dieses Potenzial ist in der oben genannten Berechnung nicht enthalten, da CargoCapContainer in erster Linie zur Entlastung der Straße dienen soll.

4.4 Bewertung der alternativen Verkehrsinfrastruktur

4.4.1 Aggregation der drei Verkehrssysteme

Nach der Ermittlung der einzelnen Nutzen- und Kostenkomponenten für die unterirdische Verkehrsinfrastruktur im Kapitel 4.1 und der analogen Bestimmung dieser Größen für die Verkehrssysteme Straße (durch das IVV) und Schiene (durch

das IVE) kann eine Gesamtberechnung der Nutzen und Kosten für den Bezugsfall und den Maßnahmenfall durchgeführt werden und die Maßnahmeneffekte selbst bestimmt werden. Für die unterirdische Verkehrsinfrastruktur ergeben sich die in Tabelle 4-4 dargestellten jährlichen Nutzengrößen für die beiden untersuchten Netzvarianten.

Komponente	weites Netz	enges Netz	Bezeichnung
NR1	6.847,91	5.356,77	Beschäftigungseffekte (Bauzeit)
NR2a	474,26	1.184,59	Beschäftigungseffekte (Betrieb)
NR2b	0,00	0,00	Hinterlandanbindung
NR4	0,00	0,00	Förderung internationaler Beziehungen
NB1	-17.944,15	-11.142,16	Fahrzeugvorhaltekosten
NB2a	-1.284,42	-1.284,42	Betriebsführungskosten (Personal)
NB2b	-220.492,71	-202.079,80	Betriebsführungskosten (Betrieb)
NB3	119.743,61	106.760,65	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern
NW1	0,00	0,00	Erneuerungskosten
NW2	-13.929,99	-11.435,21	Instandhaltungskosten der Verkehrswege
NS	-578,43	-515,71	Verkehrssicherheit
NE	0,00	0,00	Verbesserung der Erreichbarkeit
NU1i	0,00	0,00	Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)
NU1a	0,00	0,00	Verminderung Geräuschbelastung (außerorts)
NU21	-48.671,33	-46.001,85	globale Emissionen
NU22	0,00	0,00	innerörtliche NOx-Immissionen
NU23	0,00	0,00	kanzerogene Schadstoffe
NU24	0,00	0,00	Treibhausgase
NU3	0,00	0,00	Trennwirkungen
NI	0,00	0,00	Induzierter Verkehr
NR	7.322,17	6.541,37	Regionale Effekte
NB	-119.977,67	-107.745,73	Transportkosten
NW	-13.929,99	-11.435,21	Erhaltungskosten
NS	-578,43	-515,71	Verkehrssicherheit
NE	0,00	0,00	Verbesserung Erreichbarkeit
NU	-48.671,33	-46.001,85	Umwelteffekte
NI	0,00	0,00	Induzierter Verkehr
	-175.835,24	-159.157,13	Summe Nutzen

Tabelle 4-4: Jährliche Nutzenkomponenten im CargoCapContainer-System (TEUR/a)

Da im Bezugsfall keine unterirdische Infrastruktur vorliegt, ergeben sich bei einer Reihe von Nutzenkomponenten negative Werte. Die entsprechenden Einsparungen werden in den bestehenden Verkehrssystemen Straße und Schiene realisiert. Für das Schienenverkehrssystem wurden die grundlegenden Kennwerte für die Nutzengrößen (eingesparte Nettotonnenkilometer und eingesparte Investitionen im Schienennetz) beider Netzvarianten vom IVE an das RUFIS übermittelt und dort

weiter verarbeitet. Die entsprechenden jährlichen Nutzenkomponenten sind in wiedergegeben.

Tabelle 4-5: Jährliche Nutzenkomponenten im Schienensystem (TEUR/a) Vom IVV stammen die Nutzenkomponenten für das Verkehrssystem Straße, die in Tabelle 4-6 dargestellt sind.

Komponente	weites Netz	enges Netz	Bezeichnung
NR1			Beschäftigungseffekte (Bauzeit)
NR2a			Beschäftigungseffekte (Betrieb)
NR2b			Hinterlandanbindung
NR4			Förderung internationaler Beziehungen
NB1			Fahrzeugvorhaltekosten
NB2a	6,17	5,44	Betriebsführungskosten (Personal)
NB2b	10,51	9,27	Betriebsführungskosten (Betrieb)
NB3	0,00	0,00	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern
NW1	8.295,29	8.295,29	Erneuerungskosten
NW2	100,00	100,00	Instandhaltungskosten der Verkehrswege
NS	3,29	2,90	Verkehrssicherheit
NE			Verbesserung der Erreichbarkeit
NU1i			Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)
NU1a			Verminderung Geräuschbelastung (außerorts)
NU21	10,02	8,84	globale Emissionen
NU22	0,00	0,00	innerörtliche NOx-Immissionen
NU23	0,00	0,00	kanzerogene Schadstoffe
NU24	0,00	0,00	Treibhausgase
NU3	0,00	0,00	Trennwirkungen
NI	0,00	0,00	Induzierter Verkehr
NR	0,00	0,00	Regionale Effekte
NB	16,68	14,71	Transportkosten
NW	8.395,29	8.395,29	Erhaltungskosten
NS	3,29	2,90	Verkehrssicherheit
NE	0,00	0,00	Verbesserung Erreichbarkeit
NU	10,02	8,84	Umwelteffekte
NI	0,00	0,00	Induzierter Verkehr
	8.425,28	8.421,74	Summe Nutzen

Tabelle 4-6: Jährliche Nutzenkomponenten im Straßensystem (TEUR/a)

Komponente	weites Netz	enges Netz	Bezeichnung
NR1	0,00	0,00	Beschäftigungseffekte (Bauzeit)
NR2a	0,00	0,00	Beschäftigungseffekte (Betrieb)
NR2b	-3,00	-3,00	Hinterlandanbindung
NR4	14,00	13,00	Förderung internationaler Beziehungen
NB1	10.812,51	8.783,67	Fahrzeughaltekosten
NB2a	83.919,04	63.903,29	Betriebsführungskosten (Personal)
NB2b	79.933,13	72.741,56	Betriebsführungskosten (Betrieb)
NB3	0,00	0,00	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern
NW1	0,00	0,00	Erneuerungskosten
NW2	0,00	0,00	Instandhaltungskosten der Verkehrswege
NS	4.051,48	3.680,96	Verkehrssicherheit
NE	3.493,85	-570,17	Verbesserung der Erreichbarkeit
NU1i	176,92	168,79	Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)
NU1a	0,00	0,00	Verminderung Geräuschbelastung (außerorts)
NU21	208,40	187,99	globale Emissionen
NU22	-95,52	-105,88	innerörtliche NOx-Immissionen
NU23	6,93	6,21	kancerogene Schadstoffe
NU24	41.043,57	37.171,85	Treibhausgase
NU3	-81,59	-71,34	Trennwirkungen
NI	-1.697,09	88,93	Induzierter Verkehr
NR	11,00	10,00	Regionale Effekte
NB	174.664,68	145.428,52	Transportkosten
NW	0,00	0,00	Erhaltungskosten
NS	4.051,48	3.680,96	Verkehrssicherheit
NE	3.493,85	-570,17	Verbesserung Erreichbarkeit
NU	41.258,70	37.357,62	Umwelteffekte
NI	-1.697,09	88,93	Induzierter Verkehr
	221.782,63	185.995,87	Summe Nutzen

Zusätzlich 6.300 TEUR/a aus verzichtbarem Straßenprojekt

Im nächsten Schritt werden für beide Netzentwürfe die jährlichen Nutzenkomponenten zusammengefasst. Für das enge Netz ist dies in Tabelle 4-7, für das weite Netz – in Tabelle 4-8 angegeben.

Tabelle 4-7: Jährlicher Nutzen aus der Maßnahme – enges Netz (TEUR/a)

Verk.	Bezeichnung	NU ST	NU SCH	NU CC	NU Summe
NR1	Beschäftigungseffekte (Bauzeit)	0,0	0,0	5.356,8	5.356,8
NR2a	Beschäftigungseffekte (Betrieb)	0,0	0,0	1.184,6	1.184,6
NR2b	Hinterlandanbindung	-3,0	0,0	0,0	-3,0
NR4	Förderung internationaler Beziehungen	13,0	0,0	0,0	13,0
NB1	Fahrzeugvorhaltekosten	8.783,7	0,0	-11.142,2	-2.358,5
NB2a	Betriebsführungskosten (Personal)	63.903,3	5,4	-1.284,4	62.624,3
NB2b	Betriebsführungskosten (Betrieb)	72.741,6	9,3	-202.079,8	-129.329,0
NB3	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern	0,0	0,0	106.760,7	106.760,7
NW1	Erneuerungskosten	0,0	8.295,3	0,0	8.295,3
NW2	Instandhaltungskosten der Verkehrswege	0,0	100,0	-11.435,2	-11.335,2
NS	Verkehrssicherheit	3.681,0	2,9	-515,7	3.168,2
NE	Verbesserung der Erreichbarkeit	-570,2	0,0	0,0	-570,2
NU1i	Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)	168,8	0,0	0,0	168,8
NU1a	Verminderung Geräuschbelastung (außerorts)	0,0	0,0	0,0	0,0
NU21	globale Emissionen	188,0	8,8	-46.001,8	-45.805,0
NU22	innerörtliche NOx-Immissionen	-105,9	0,0	0,0	-105,9
NU23	kanzerogene Schadstoffe	6,2	0,0	0,0	6,2
NU24	Treibhausgase	37.171,8	0,0	0,0	37.171,8
NU3	Trennwirkungen	-71,3	0,0	0,0	-71,3
NI	Induzierter Verkehr	88,9	0,0	0,0	88,9
Nutzenkomponenten [TEUR/a]					
NR	Regionale Effekte	10,0	0,0	6.541,4	6.551,4
NB	Transportkosten	145.428,5	14,7	-107.745,7	37.697,5
NW	Erhaltungskosten	0,0	8.395,3	-11.435,2	-3.039,9
NS	Verkehrssicherheit	3.681,0	2,9	-515,7	3.168,2
NE	Verbesserung Erreichbarkeit	-570,2	0,0	0,0	-570,2
NU	Umwelteffekte	37.357,6	8,8	-46.001,8	-8.635,4
NI	Induzierter Verkehr	88,9	0,0	0,0	88,9
Summe Nutzen		185.995,9	8.421,7	-159.157,1	35.260,5

Tabelle 4-8: Jährlicher Nutzen aus der Maßnahme – weites Netz (TEUR/a)

Verk.	Bezeichnung	NU ST	NU SCH	NU CC	NU Summe
NR1	Beschäftigungseffekte (Bauzeit)	0,0	0,0	6.847,9	6.847,9
NR2a	Beschäftigungseffekte (Betrieb)	0,0	0,0	474,3	474,3
NR2b	Hinterlandanbindung	-3,0	0,0	0,0	-3,0
NR4	Förderung internationaler Beziehungen	14,0	0,0	0,0	14,0
NB1	Fahrzeugvorhaltekosten	10.812,5	0,0	-17.944,1	-7.131,6
NB2a	Betriebsführungskosten (Personal)	83.919,0	6,2	-1.284,4	82.640,8
NB2b	Betriebsführungskosten (Betrieb)	79.933,1	10,5	-220.492,7	-140.549,1
NB3	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern	0,0	0,0	119.743,6	119.743,6
NW1	Erneuerungskosten	0,0	8.295,3	0,0	8.295,3
NW2	Instandhaltungskosten der Verkehrswege	0,0	100,0	-13.930,0	-13.830,0
NS	Verkehrssicherheit	4.051,5	3,3	-578,4	3.476,3
NE	Verbesserung der Erreichbarkeit	3.493,9	0,0	0,0	3.493,9
NU1i	Verminderung Geräuschbelastung (innerorts)	176,9	0,0	0,0	176,9
NU1a	Verminderung Geräuschbelastung (außerorts)	0,0	0,0	0,0	0,0
NU21	globale Emissionen	208,4	10,0	-48.671,3	-48.452,9
NU22	innerörtliche NOx-Immissionen	-95,5	0,0	0,0	-95,5
NU23	kanzerogene Schadstoffe	6,9	0,0	0,0	6,9
NU24	Treibhausgase	41.043,6	0,0	0,0	41.043,6
NU3	Trennwirkungen	-81,6	0,0	0,0	-81,6
NI	Induzierter Verkehr	-1.697,1	0,0	0,0	-1.697,1
Nutzenkomponenten [TEUR/a]					
NR	Regionale Effekte	11,0	0,0	7.322,2	7.333,2
NB	Transportkosten	174.664,7	16,7	-119.977,7	54.703,7
NW	Erhaltungskosten	0,0	8.395,3	-13.930,0	-5.534,7
NS	Verkehrssicherheit	4.051,5	3,3	-578,4	3.476,3
NE	Verbesserung Erreichbarkeit	3.493,9	0,0	0,0	3.493,9
NU	Umwelteffekte	41.258,7	10,0	-48.671,3	-7.402,6
NI	Induzierter Verkehr	-1.697,1	0,0	0,0	-1.697,1
Summe Nutzen		221.782,6	8.425,3	-175.835,2	54.372,7

Um für die anschließende Nutzen-Kosten-Analyse beide Größen vergleichbar zu machen, müssen die jährlichen Nutzenwerte über die Projektlaufzeit analog zu den Kostengrößen zusammengefasst werden. Hierzu werden die Nutzenwirkungen vor Betriebsbeginn und die Nutzenwirkungen der ersten 30 Betriebsjahre auf den Gegenwartswert abdiskontiert und aggregiert. Das Ergebnis ist der Gegenwartswert aller Nutzen der Maßnahme vor dem Betrieb und der ersten 30 Betriebsjahre. Dieser Wert wird dem Gegenwartswert aller Kosten vor Betriebsbeginn und der Kosten der ersten 30 Betriebsjahre gegenüber gestellt (vgl. Endbericht des Teilprojekts „Wirtschaftliche Betrachtung“). Der Nutzen-Kosten-Vergleich wird in zweifacher Hinsicht durchgeführt, sowohl für die internen Zahlungsströme einer (fiktiven) Verkehrsgesellschaft als auch für die Gesellschaft insgesamt. Die Ergebnisse werden in den folgenden beiden Abschnitten dargestellt.

4.4.2 Vergleich der betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen

Grundlage des betriebswirtschaftlichen Vergleichs der Nutzen und Kostengrößen ist eine fiktive Verkehrsgesellschaft. Sie hat die Aufgabe, die in Kapitel 3 ermittelten Transporte durchzuführen. Dies kann sie alternativ mit den bisherigen Verkehrssystemen durchführen (Bezugsfall) oder durch die Errichtung einer neuen, unterirdischen Verkehrsinfrastruktur befördern (Maßnahmenfall). Die klassische Kosten-Nutzen-Analyse wird somit auf diejenigen Nutzen- und Kostengrößen reduziert, die für diese Verkehrsgesellschaft zahlungswirksam werden. Hierzu werden gerechnet:

- 1 NB1 Fahrzeugvorhaltekosten
- 2 NB2a Betriebsführungskosten (Personal)
- 3 NB2b Betriebsführungskosten (Betrieb)
- 4 NB3 Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern
- 5 NW1 Erneuerungskosten
- 6 NW2 Instandhaltungskosten der Verkehrswege
- 7 K Kosten für die Investition

Für die bestehenden Verkehrssysteme Straße und Schiene wird angenommen, dass die Verkehrsgesellschaft vollständig zur Finanzierung der Verkehrswege (NW1 und NW2) und zu den Fahrzeugkosten (NB1, NB2a und NB2b) veranlagt wird und so

eine entsprechende geringere Nutzung zu entsprechend geringeren Zahlungen in den bestehenden Systemen führt. Durch eine Verlagerung der Verkehre in das neue Verkehrssystem werden Einsparungen erzielt (NB3). Da die Auftraggeber aber konstante Transportpreise entrichten, wird der Nutzen aus der Verlagerung erfolgswirksam und ist somit zu berücksichtigen. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Tabelle 4-9 angegeben.

Tabelle 4-9: Zusammenfassung der betriebswirtschaftlichen Größen

jährliche Nutzenkomponente		enges Netz		weites Netz	
		in TEUR p.a.			
NB1	Fahrzeughaltekosten	-2.358,49		-7.131,63	
NB2a	Betriebsführungskosten (Personal)	62.624,32		82.640,79	
NB2b	Betriebsführungskosten (Betrieb)	-129.328,97		-140.549,06	
NB3	Verlagerung zwischen den Verkehrsträgern	106.760,65		119.743,61	
NW1	Erneuerungskosten	8.295,29		8.295,29	
NW2	Instandhaltungskosten der Verkehrswege	-11.335,21		-13.829,99	
			Barwert		Barwert
Summe		34.657,59	569.678,80	49.169,00	802.264,71

Jährliche Kosten der Investition

K	241.878,71	5.197.301,08	294.727,99	6.332.885,14
---	------------	--------------	------------	--------------

Bewertung

Nutzen	34.657,59	569.678,80	49.169,00	802.264,71
Kosten	241.878,71	5.197.301,08	294.727,99	6.332.885,14
N-K-Differenz	-207.221,12	-4.627.622,28	-245.558,98	-5.530.620,43

N-K-Verhältnis		0,110		0,127
-----------------------	--	--------------	--	--------------

Für beide Netzentwürfe ergibt sich, dass die jährlichen Nutzen aus der Verlagerung der beschriebenen Transporte in das unterirdische System positiv sind (34,7 Mio. EUR für das enge Netz und 49,2 Mio. EUR für das weite Netz), so dass auch die Barwerte der Nutzengrößen positiv sind. Diese positiven Nutzen reichen im Vergleich zu den notwendigen Investitionskosten in den Verkehrsweg jedoch nicht aus, um eine Nutzen-Kosten-Relation von mindestens 1 zu erreichen.

Maßgeblich für dieses Ergebnis ist die Größe NB2b: Betriebsführungskosten (Betrieb) der neuen Verkehrsinfrastruktur (vgl. Tabelle 4-4). Im engen Netzentwurf setzen sie sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Terminalkosten (Be- und Entladung der Fahrzeuge im unterirdischen System): 32,1 Mio. EUR p.a.
- Energiekosten: 36,4 Mio. EUR p.a.

– Wartungskosten: 133,5 Mio. EUR p.a.

Insbesondere die Wartungskosten sind als kritische Größe anzusehen. Da mit den Fahrzeugen in der unterirdischen Fahrstrecke noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen, wurden sie durch konservative Annahmen geschätzt, die in Zukunft zu überprüfen sind. Vor allem die Nutzung bereits bekannter Komponenten in den zu konstruierenden Fahrzeugen sollte dazu führen, die Wartungskosten auf ein vertretbares Maß zu senken. Zum gegenwärtigen Forschungsstand kann diese Größe jedoch noch nicht begründet nach unten korrigiert werden.

Eine zweite Erkenntnis aus dem Vergleich der betrieblichen Nutzen- und Kostengrößen bezieht sich auf die Werte für die unterschiedlichen Netzvarianten. Im weiten Netz kommen die Streckenabschnitte von Duisburg nach Köln und von Bochum nach Hagen zum engen Netz hinzu. Die notwendigen Kosten für die unterstellte Betriebslaufzeit steigern sich von 5,2 auf 6,3 Mrd. EUR. Trotz dieser Steigerung verbessert sich aber sowohl die Nutzengröße (von 569,7 auf 802,3 Mio. EUR) als auch das Nutzen-Kosten-Verhältnis (von 0,110 auf 0,127) während sich die Nutzen-Kosten-Differenz von -4,6 auf -5,5 Mrd. EUR verschlechtert.

4.4.3 Vergleich der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen

Neben den tatsächlichen Zahlungsströmen aus dem Geschäftsbetrieb werden in der Gesamtgesellschaft weitere Kosten und Nutzen wirksam, die das Wohlergehen von Personen betreffen und bei Verkehrsmaßnahmen durch die Methodik der Nutzen-Kosten-Analyse der Bundesverkehrswegeplanung berücksichtigt werden sollen. Die Methodik der Bundesverkehrswegeplanung wird für die Bestimmung der gesellschaftlichen Kosten und Nutzen des neuen Systems angepasst, da hierfür standardisierte Berechnungsvorschriften überwiegend fehlen. Der Standard der Bundesverkehrswegeplanung bezüglich der Berechnung und der Wertansätze bleibt erhalten, so dass die Ergebnisse vergleichbar sind. Für beide Netzvarianten werden die Ergebnisse in Tabelle 4-10 dargestellt.

Bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung ergibt sich keine grundsätzliche Änderung der betriebswirtschaftlichen Einschätzung der betrachteten Netze. Auch hier sind positive jährliche Nutzen zu verzeichnen (35,3 Mio. EUR p. a. für das enge Netz und 54,4 Mio. EUR p. a. für das weite Netz), die entsprechend zu einem positiven Nutzenbarwert über die betrachtete Berechnungsperiode führen. Durch die

Investitionskosten für den Verkehrsweg wird aber auch hier der Zielwert für das Nutzen-Kosten-Verhältnis von mindestens 1 verfehlt (0,098 für das enge Netz und 0,127 für das weite Netz). Maßgeblich für dieses Ergebnis ist auch hier zunächst der hohe Wert der Nutzengröße NB2b: Betriebsführungskosten (Betrieb) der neuen Verkehrsinfrastruktur (vgl. Tabelle 4-4). Sie werden vor allem von den Wartungskosten der neuen Verkehrsinfrastruktur dominiert (133,5 Mio. EUR p. a. im engen Netz und 149,8 Mio. EUR p. a. im weiten Netz). Hinzu kommen die Energiekosten für den Betrieb der neuen Einrichtung, die doppelt zu Buche schlagen: als direkte Energiekosten (36,4 Mio. EUR p. a. im engen Netz und 38,6 Mio. EUR p. a. im weiten Netz) und durch ihre Wirkungen bei der Komponente NU21: Globale Emissionen (46,0 Mio. EUR p.a. im engen Netz und 48,7 Mio. EUR p. a. im weiten Netz).

Tabelle 4-10: Zusammenfassung der volkswirtschaftlichen Größen

jährliche Nutzenkomponente		enges Netz		weites Netz	
		in TEUR p.a.			
NR	Regionale Effekte	6.551,37		7.333,17	
NB	Transportkosten	37.697,51		54.703,70	
NW	Erhaltungskosten	-3.039,92		-5.534,70	
NS	Verkehrssicherheit	3.168,15		3.476,34	
NE	Verbesserung Erreichbarkeit	-570,17		3.493,85	
NU	Umwelteffekte	-8.635,39		-7.402,62	
NI	Induzierter Verkehr	88,93	Barwert	-1.697,09	Barwert
Summe		35.260,48	510.470,09	54.372,66	805.348,43
Jährliche Kosten der Investition					
K		241.878,71	5.197.301,08	294.727,99	6.332.885,14
Bewertung					
Nutzen		35.260,48	510.470,09	54.372,66	805.348,43
Kosten		241.878,71	5.197.301,08	294.727,99	6.332.885,14
N-K-Differenz		-206.618,23	-4.686.830,99	-240.355,33	-5.527.536,71
N-K-Verhältnis			0,098	0,127	

Die Konstruktion der Fahrzeuge für das unterirdische Verkehrssystem und die Fahrzeug-Fahrweg-Interaktion stellen somit zukünftige Forschungsschwerpunkte dar. Da entsprechende Fahrzeuge noch nicht am Markt erhältlich sind, wurden im Forschungsverbund entsprechende Konstruktionsentwürfe erstellt und mit konservativen Kostenschätzungen monetarisiert. Zu prüfen bleibt, ob durch die stärkere Verwendung bereits bestehender Komponenten die Kosten für die Fahrzeuge und deren Wartung deutlich gesenkt werden kann. Bei dem doppelt

berücksichtigten Energieverbrauch (als direkte Energiekosten und als indirekte Kosten durch globale Emissionen) stellt der Luftwiderstand in der unterirdischen Fahrrohrleitung ein Problem dar. Durch die noch vergleichsweise geringe Transportkapazität wurde eine einfache Fahrspur mit Doppelspurinseln zugrunde gelegt. Hierdurch wird die Luftsäule im Tunnel von beiden Richtungen bewegt, was zu hohen relativen Luftströmen und einem entsprechend hohen Energieverbrauch führt. Ein kompletter Ausbau als Doppelspur, eine Verringerung des Versperrungsgrades des Tunnelquerschnitts durch das Fahrzeug bzw. eine weniger windanfällige Konstruktion der Fahrzeuge würde hier zu deutlichen Verbesserungen führen.

Auch bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung stellt sich heraus, dass es durch eine Vergrößerung des Netzes (vom engen zum weiten Netzentwurf) zu einer Verbesserung der Nutzenbarwerte (von 510,5 Mrd. EUR auf 805,3 Mio. EUR) und des Nutzen-Kosten-Verhältnisses führt (von 0,098 auf 0,127). Die Nutzen-Kosten-Differenz verschlechtert sich von 4,7 auf 5,5 Mrd. EUR.

4.5 Bewertung der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse

Insgesamt muss festgehalten werden, dass sich unter den gewählten Annahmen bezüglich der Netzauslegung hinsichtlich Lage und Netzzumfang, der Transportmengen und der technischen Ausgestaltung der unterirdischen Transportinfrastruktur kein betriebswirtschaftlicher Erfolg und kein volkswirtschaftlicher Nutzen einstellen wird. Die Ursachen für dieses Ergebnis können in zwei Gruppen zusammengefasst werden:

Betriebskosten der unterirdischen Infrastruktur

Aufgrund der Mengenermittlung und des daraus abgeleiteten Transportaufkommens innerhalb der neuen Infrastruktur wurde im Forschungsverlauf die Transportaufgabe von dem reinen Transport von Containern auf den Transport von Sattelaufliegern und Anhängern erweitert. Dies hat sich als notwendig erwiesen, um gemäß den konservativ bestimmten Transportmengen eine zumindest nennenswerte Auslastung der gewählten Streckenabschnitte zu gewährleisten.

- Auf der Kostenseite hat diese Erweiterung dazu geführt, dass der Tunnelquerschnitt erhöht und die Transportfahrzeuge entsprechend groß dimensioniert werden mussten, um diese Ladungen befördern zu können.

Zusätzlich mussten zusätzliche Umschlagtechniken für die Sattelaufleger und Anhänger zu den bereits berücksichtigten Containerbrücken eingeführt werden. Dies erhöht den technischen und damit auch monetären Aufwand für die Anschaffung und Wartung der Fahrzeuge.

- Die Orientierung der Fahrzeugauslegung an der Spitzenlast erfordert eine entsprechende Stabilität der Fahrzeuge, die zu einem entsprechend hohen Gewicht führt. Dies wirkt sich negativ auf die Relation der Frachttonnage zu Fahrzeuggewicht für die durchschnittlichen Transporte aus und erfordert einen entsprechenden Energieinput.
- Um die Kosten für die unterirdische Verkehrsinfrastruktur möglichst gering zu halten, wurde der Tunnelquerschnitt möglichst klein gewählt. Dieser hohe Versperrungsgrad durch die Fahrzeuge im Tunnel führt zu entsprechend hohen Luftwiderständen und zu einer nachteiligen Wirkung auf den Energieverbrauch mit entsprechenden betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Folgen.
- Die (konservativ) geschätzte Transportmenge machte es sinnvoll, nicht die ganze Strecke als Doppelspurtrasse zu planen. Stattdessen wurde eine Einzelspur mit Doppelspurinseln für die Passage entgegengerichteter Fahrzeuge konstruiert. Der Luftstrom wird bei einem solchen Betrieb in kurzen Abständen in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt und führt ebenfalls zu hohen Luftwiderständen. Bei einer durchgehenden Doppelspur würde stattdessen der Luftstrom permanent mit dem Fahrzeug mitgeführt, so dass sich die relative Luftgeschwindigkeit und der tatsächlich zu überwindende Luftwiderstand deutlich verringern würden. Dieses Einsparpotenzial konnte unter den hier gemachten Annahmen nicht mobilisiert werden.

Betrachtete Netzentwürfe

Forschungsleitend sollte eine Verbindung der deutschen Seehäfen mit dem Ruhrgebiet untersucht werden. Hieraus ergaben sich die Vorgaben für die Analyse der Transportrelationen, bei denen die neue Verkehrsinfrastruktur eine interessante Alternative zum Straßen- und Schienengüterverkehr sein kann. Zudem wurde durch die Verbindung der ausgewählten Standorte eine Vorentscheidung über die zu überwindenden topografischen Gegebenheiten getroffen, die als Faktum für das gemeinsame Forschungsvorhaben gilt.

Die unterirdische Verkehrsinfrastruktur kann nur in einem integrierten Verkehrssektor betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Effekte auf das bestehende Straßen- und Schienensystem untersucht und in der Nutzen-Kosten-Analyse zusammen geführt. Die Wirkungen der neuen Infrastruktur sind damit aber umgekehrt auch abhängig von den Gegebenheiten der bestehenden Systeme. Für die ausgewählten Netze sind hier folgende Besonderheiten anzuführen:

- Die unterirdische Verkehrsstrasse verläuft in der Hauptrichtung parallel zur bereits vergleichsweise gut ausgebauten Bundesautobahn 1, für die im bestehenden Bundesverkehrswegeplan indisponible Erweiterungen vorgesehen sind, so dass ihre Leistungsfähigkeit weiter verbessert wird. Der Verlagerungsdruck für die Straßengüterverkehre ist somit vergleichsweise gering, so dass durch die neue Infrastruktur nur geringe Verlagerungseffekte zu ermitteln waren. Die in der Nutzen-Kosten-Analyse als positiv zu bewertende Einsparungen im Straßenbereich fallen entsprechend gering aus.
- Die Netzerweiterung vor allem von Duisburg nach Köln zeigt jedoch, dass hier mögliche Potenziale verborgen sind. Hier zeigt das Autobahnnetz eine deutliche Überlastung, so dass die Verlagerungswirkungen durch die vergleichsweise kleine Netzerweiterung nennenswert sind.
- Im Schienennetz wurde in der Vergangenheit entlang der Hauptrichtung eine Entzerrung der Personen- und Güterverkehre vorgenommen. Die im Bundesverkehrswegeplan verzeichneten Maßnahmen führen noch zu einer weiteren Entzerrung. Die Verlagerungseffekte von der Schiene (die bereits durch die politisch motivierten Einschränkungen gering berechnet wurden) sind somit ebenfalls gering. Hier hat im Schienenbereich der Paradigmenwechsel stattgefunden, der durch die unterirdische Infrastruktur forciert werden soll: die zukünftige Trennung von Personen- und Güterverkehren auf getrennte Verkehrswege mit entsprechend angepassten Transportbesonderheiten.

Insgesamt ist zu erwarten, dass CargoCapContainer-System dort ihre besonderen Vorteile zeigen kann,

- wo die Straßen- und Schienennetze eine große Überlastung zeigen, die nicht durch Erweiterungsmaßnahmen behoben werden können, oder
- wo die bestehenden überregionalen Verkehrsverbindungen erst neu geschaffen

werden müssen, wie dies in Richtung der zur EU beigetretenen Länder der Fall ist. Insofern muss insgesamt angeführt werden, dass die Technik der unterirdischen Beförderung von Containern, Sattelaufliegern, Anhängern oder Schienenwaggons noch einiger Verbesserungen bedarf und der richtige Einsatzort für eine Initialstrecke, aus der ein späteres übergreifendes Verkehrsnetz entstehen kann, noch nicht gefunden wurde.

5 Juristische Betrachtung

Gegenstand der juristischen Untersuchung ist im Wesentlichen die Frage, ob und inwieweit eine unterirdische Transportanlage für Container aus rechtlicher Sicht eine Alternative zum herkömmlichen Straßentransport auf der hier betrachteten Strecke zwischen dem Ruhrgebiet und den Nordseehäfen Bremen und Hamburg darstellt. Es bedarf insofern eines Vergleiches der rechtlichen Vor- und Nachteile eines durchgängigen Ausbaus der Bundesautobahn BAB 1 auf drei Spuren zwischen dem Ruhrgebiet und Bremen bzw. Hamburg mit denen des Baus der unterirdischen Container-Transportanlage auf dieser Strecke.

Im Vergleich zu der in vorherigen Untersuchungen betrachteten Stückgut-Transportanlage durch das Ruhrgebiet weist die hier zugrunde gelegte Variante wesentlich größere Dimensionen auf, die sich auf die planungsrechtliche Einordnung und damit auf das Erfordernis der Durchführung einer Planfeststellung niederschlagen. Insbesondere kann nicht mehr von einer Vergleichbarkeit mit unterirdischen Rohrleitungen ausgegangen werden.

Dies hat zur Folge, dass auf die unterirdische Container-Transportanlage, anders als auf die regionale CargoCapContainer-Variante, in weiten Teilen gesetzliche Vorschriften für Verkehrsanlagen Anwendung finden, so dass die Unterschiede zum rechtlichen Rahmen bei einem Autobahnausbau im planungsrechtlicher Hinsicht gering sind. Jedoch ergeben sich aus umweltrechtlicher Sicht Vorteile.

Der folgende Bericht als Teil des gemeinsamen Abschlussberichts stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse des ausführlichen Einzel-Abschlussberichts des juristischen Teilprojekts dar.

Für eine Vertiefung und detailliertere Betrachtung der hier getroffenen Feststellungen sei auf den Einzel-Abschlussbericht verwiesen.

5.1 Rechtliche Aspekte des Autobahnausbaus

Zunächst sollen die rechtlichen Bedingungen für einen Autobahnausbau betrachtet werden.

5.1.1 Das Planfeststellungsverfahren bei einem Autobahnausbau

Die wichtigsten Planfeststellungsverfahren sind bundesrechtlich geregelt. Im Vordergrund stehen die Planfeststellungen für Verkehrswege und Verkehrsanlagen. [49] Für den Bau und für Änderungen von Bundesfernstraßen sieht § 17 Abs. 1 Satz 1 FStrG [50] das Planfeststellungsverfahren zwingend vor. [51] Bundesfernstraßen unterliegen insofern grundsätzlich einem Verbot mit Planfeststellungsvorbehalt. [52]

Der Begriff der Änderung umfasst jede Veränderung einer bestehenden Straße, [53] so dass auch ein Autobahnausbau eine Änderung i.S.d. § 17 Abs. 1 Satz 1 FStrG darstellt.

Dementsprechend ist auch für den Ausbau der BAB 1 auf durchgängig drei Spuren ein Planfeststellungsverfahren gem. § 17 Abs. 1 Satz 1 durchzuführen.

Die Planfeststellung erfolgt im Regelfall durch einen „Planfeststellungsbeschluss“, der aufgrund des förmlichen Planfeststellungsverfahrens ergeht. Ausnahmsweise kann statt eines Beschlusses auch eine „Plangenehmigung“ erfolgen. Das setzt voraus, dass Rechte Dritter durch das Vorhaben nicht beeinträchtigt werden oder die Betroffenen ihr Einverständnis erklären und dass mit den Trägern öffentlicher Belange, deren Aufgabenbereich berührt wird, das Benehmen hergestellt worden ist. Dieser Ausnahmetatbestand ist jedoch bei einem Autobahnausbau um eine Spur kaum einschlägig, da bei einer solchen Maßnahme stets private und öffentliche Belange berührt sind.

Nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts folgen die materiellen Schranken für die fernstraßenrechtliche Planung (1.) aus der Bindung der Planfeststellungsbehörde an die vorbereitende Planungsentscheidung des Bundesministers für Verkehr nach § 16 FStrG, (2.) aus dem Erfordernis einer der fernstraßenrechtlichen Zielsetzung entsprechenden Rechtfertigung des konkreten Planungsvorhabens, (3.) aus dem gesetzlichen Planungsleitsätzen und (4.) aus den Anforderungen des Abwägungs- und Abstimmungsgebots. [54]

Da die Planfeststellung rechtsgestaltend in individuelle Rechtspositionen Dritter eingreift und Grundlage notwendiger Enteignungen ist (§19 Abs. 2 FStrG) [55], muss sie den Maßstäben des Art. 14 Abs. 3 GG genügen. In diesem Sinne ist die Straßenplanung gerechtfertigt, wenn für das Vorhaben nach Maßgabe der

allgemeinen Ziele nach § 1 Abs. 1, § 3 Abs. 1 und § 4 FStrG ein Bedürfnis besteht und der Eingriff verhältnismäßig ist. [56] Ein Bedürfnis besteht, wenn die konkrete Planungsmaßnahme erforderlich ist. [57] Erforderlich ist sie, wenn sie vernünftigerweise geboten ist. [58]

Der Planfeststellungsbeschluss ersetzt kraft seiner „Konzentrationswirkung“ [59] alle für das Vorhaben erforderlichen anderen behördlichen Entscheidungen (Genehmigungen, Verleihungen, Erlaubnisse, Bewilligungen, Zustimmungen, Planfeststellungen) und regelt rechtsgestaltend alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Träger des Vorhabens und den durch den Plan Betroffenen (s.a. § 75 Abs. 1 S. 1, 2. HS und S. 2 VwVfG).

5.1.2 Umweltrechtliche Regelungen

Um negativen Auswirkungen auf die Umwelt möglichst zu vermeiden, muss das Straßenbauvorhaben den immissionsschutzrechtlichen Vorschriften sowie den Eingriffsregelungen nach dem Bundesnaturschutzgesetz (§§ 18 ff. BNatSchG) genügen und einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach dem UVP-Gesetz [60] Stand halten.

5.1.2.1 Immissionsschutz

Die Streitigkeiten im Zusammenhang mit der straßenrechtlichen Planfeststellung betreffen insbesondere den Schutz vor Verkehrslärm. [61] Über die Vorsorge gegenüber Verkehrslärmbeeinträchtigungen beim Bau oder bei wesentlichen Änderungen von Straßen hat das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) eine eingehende Regelung getroffen. Ausgehend von dem Befund, dass Geräuschimmissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren und Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbei zu führen, schädliche Umwelteinwirkungen i.S.d. § 3 Abs. 1 BImSchG darstellen, enthalten die §§ 41, 42, 43 und 50 BImSchG eine abgestufte lückenlose Regelung des Lärmschutzes. [62]

Gemäß § 41 BImSchG ist beim Bau oder bei einer wesentlichen Änderung öffentlicher Straßen sicherzustellen, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden können. Der Ausbau einer Autobahn stellt gemäß § 1 der 16. BImSchV eine wesentliche

Änderung dar, da hier gemäß § 1 Abs. 2 Nr. 1 „eine Straße um einen oder mehrere durchgehende Fahrstreifen für den Kraftfahrzeugverkehr (...) baulich erweitert wird“.

Dem als Planungsleitsatz ausgestalteten Vermeidungsgebot des § 41 BImSchG wird entweder durch Schallschutzmaßnahmen entsprochen, die nach Möglichkeit bereits in den Plänen des Vorhabenträgers vorgesehen sind, oder diesem werden im Planfeststellungsbeschluss aktive Lärmschutzmaßnahmen durch entsprechende Auflagen aufgegeben.

Nur soweit die Kosten des aktiven Schallschutzes außer Verhältnis zu dem angegebenen Schutzzweck, also der Reduzierung der Lärmimmissionen bis zur Zumutbarkeitsschwelle, stehen, kommen auf der dritten Stufe Entschädigungsleistungen für passive Schallschutzmaßnahmen in Betracht. Die Entschädigung ist nach § 42 Abs. 2 BImSchG in Höhe der erbrachten Aufwendungen für technisch-reale Schutzvorkehrungen zu leisten. Nur wenn und soweit sich auch passive Schallschutzmaßnahmen als untunlich (unzureichend oder unverhältnismäßig) oder mit dem Vorhaben als unvereinbar erweisen, tritt an die Stelle des Anspruchs auf Aufwendungsersatz ein Entschädigungsanspruch nach § 74 Abs. 2 S. 3 VwVfG. Die Lärmschutzansprüche dienen folglich nicht dazu, alle mit dem Vorhaben verbundenen Vermögensnachteile auszugleichen. Der Anspruch auf passiven Lärmschutz wird im Planfeststellungsbeschluss nur dem Grunde nach festgelegt. Über die Höhe wird in den Entschädigungsverfahren nach § 19 a FStrG bzw. § 42 Abs. 3 BImSchG entschieden.

Es zeigt sich also, dass das BImSchG hohe Anforderungen, insbesondere an den Lärmschutz, bei einem Autobahnausbau stellt.

5.1.2.2 Eingriffsregelung des Bundesnaturschutzgesetzes

Die letztlich auf das Verursacherprinzip zurückgehenden Regelungen zum Schutz vor natur- und landschaftsschädigenden Eingriffen (§§ 18 ff. BNatSchG) haben die Erhaltung des status quo in der Natur durch Vermeidung von Eingriffen und den Ausgleich von Beeinträchtigungen zum Ziel (Bestandsschutz- und Kompensationsprinzip).

5.1.2.2.1 Definition des Eingriffs in Natur und Landschaft nach § 18 Abs. 1 BnatSchG

Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung sind nach der Legaldefinition der Vorschrift „Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können“.

Der Ausbau einer Autobahn stellt in jedem Fall eine Änderung der Bodengestalt im Sinne des § 18 dar, [63] so dass die naturschutzrechtlichen Vorschriften, insbesondere § 19 BNatSchG, zu beachten sind.

5.1.2.2.2 Der allgemeine Schutz vor natur- oder landschaftsschädigenden Eingriffen

Die Rechtsfolgenregelung des § 19 BNatSchG ist als naturschutzrechtliche Ermächtigung zur Vornahme belastender Anordnungen konzipiert. Die zuständigen Behörden haben die in § 19 vorgesehenen Entscheidungen (z.B. Eingriffsuntersagung, Anordnung von Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen) im Benehmen, also mit dem Ziel eines Ausgleichs der Interessen, mit den für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Behörden zu treffen (§§ 20 Abs. 2, 21 Abs. 3 BNatSchG). Die Rechtsfolgenregelung beinhaltet folgende Prüfungsschritte:

- Vermeidungspflicht nach § 19 Abs. 1 BnatSchG

Vermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft sind nach § 19 Abs. 1 BNatSchG zu unterlassen. Nach der neueren Rechtsprechung des BVerwG unterliegt das Vermeidungsgebot auch in der Planfeststellung nicht der planerischen Abwägung, sondern ist striktes Recht. [64] Der Begriff der Vermeidbarkeit ist in Bezug auf die konkrete Ausführung eines Vorhabens, also in erster Linie objektbezogen zu verstehen. Es ist zu fragen, ob das von einem Fachgesetz gebilligte Vorhaben an der vorgesehenen Stelle ohne einen Eingriff in Natur und Landschaft bzw. mit weniger schweren Beeinträchtigungen verwirklicht werden kann.

- Auswirkungen auf den Naturhaushalt sind so gering wie möglich zu halten, was

auch die Suche nach schonenderen Alternativen am Ort des Eingriffs einschließt, jedoch zu keiner umfassenden Alternativenprüfung zwingt. [65] Anhand strenger Maßstäbe ist jeweils zu prüfen, ob diejenigen Belange, deretwegen freies Gelände des Naturhaushalts in Anspruch genommen werden soll, ausreichend dargelegt und gewichtig genug sind. [66]

– Kompensationspflichten gemäß § 19 Abs. 2 BNatSchG

„Unvermeidliche“ Naturbeeinträchtigungen sind nach § 19 Abs. 2 BNatSchG vorrangig auszugleichen. Der Begriff des Ausgleichs ist in § 19 Abs. 2 Satz 2 BNatSchG vorgegeben. Ein Eingriff ist demnach ausgeglichen, „wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts wiederhergestellt sind und das Landschaftsbild landschaftsgerecht wiederhergestellt oder neu gestaltet ist“. Ziel des Ausgleichsgebots ist also eine weitestgehende Kompensation der Eingriffsfolgen durch gleichartige Ausgleichsmaßnahmen, die, wenn der Ausgleich am Ort des Eingriffs nicht oder nur unter unverhältnismäßigem Aufwand möglich ist, auch im gleichen Landschaftsraum und auch im zeitlich gestreckten Zusammenhang mit dem Eingriff durchgeführt werden können. [67]

– Das Ausgleichsgebot wird somit vom tatsächlich Machbaren und durch den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz begrenzt.

– Unzulässigkeit des Eingriffs gemäß § 19 Abs. 3 BNatSchG

– Nach § 19 Abs. 3 Satz 1 BNatSchG darf ein Eingriff nicht zugelassen oder durchgeführt werden, wenn (1) die Beeinträchtigungen nicht zu vermeiden oder nicht in angemessener Frist auszugleichen oder nicht in sonstiger Weise zu kompensieren sind und (2) die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege bei der Abwägung aller Anforderungen an Natur und Landschaft gegenüber anderen Belangen im Rang vorgehen. Dies ist bei der Planung des Autobahnausbaus zu berücksichtigen.

5.1.2.3 Die Umweltverträglichkeitsprüfung

Der Ausbau einer Bundesautobahn erfordert gemäß Nr. 14.3 der Anlage I des UVPG i.V.m § 3 e UVPG eine Umweltverträglichkeitsprüfung. Primäres Ziel der UVP ist es, die Verwaltung bei umweltbedeutsamen Vorhaben frühzeitig und umfassend über die umweltbezogenen Auswirkungen des Vorhabens zu informieren.

Nach dem UVPG wird die UVP nicht von einer besonderen UVP-Behörde in einem selbstständigen Verfahren vorgenommen, sondern in die jeweiligen Zulassungsverfahren, hier das Planfeststellungsverfahren, integriert. Sie ist damit unselbstständiger Teil dieser Verfahren.

Die UVP umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen eines Vorhabens auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, ferner auf Kultur- und sonstige Sachgüter sowie die Wechselwirkungen zwischen diesen Schutzgütern. Hierfür ist zunächst eine Bestandsaufnahme des gegenwärtigen Zustands der Umwelt im Einwirkungsbereich des geplanten Projekts vorzunehmen. Sodann sind die Umweltauswirkungen des Projekts zu prognostizieren. Schließlich muss eine Bewertung des Projekts anhand ökologischer Maßstäbe erfolgen. [68]

Den Abschluss der Umweltverträglichkeitsprüfung bildet die Bewertung der Umweltauswirkungen des Vorhabens auf der Grundlage der zusammenfassenden Darstellung nach § 11 UVPG und die Berücksichtigung dieser Bewertung bei der Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens (§ 12 UVPG). Unter Bewertung der Umweltauswirkungen eines Vorhabens versteht das UVPG „Aussagen zur Erheblichkeit, Vernachlässigbarkeit, Tolerierbarkeit etc. von möglichen Umweltbeeinträchtigungen“. Fraglich ist allerdings, nach welchen Kriterien diese Bewertung durchgeführt werden soll. Nach § 12 UVPG geschieht dies „im Hinblick auf eine wirksame Umweltvorsorge im Sinne der §§ 1, 2 Abs. 1 S. 2 und 4 nach Maßgabe der geltenden Gesetze“. Nach Ziffer 1.3.1 UVPVwV [69] sind „Maßstäbe für die Bewertung der Umweltauswirkungen eines Vorhabens die gesetzlichen Umweltauflagen für den Genehmigungsanspruch“. Die Bewertung ist daher als (überwiegend) juristische Beurteilung zu verstehen, die auf die Zulassungsvoraussetzungen in den einschlägigen gesetzlichen Vorschriften verweist. Diese Regelungen sind allerdings so auszulegen und anzuwenden, dass das Ziel einer bestmöglichen Umweltvorsorge erreicht oder zumindest nicht beeinträchtigt wird. [70]

Die Umweltverträglichkeitsprüfung wird damit abgeschlossen, dass die Bewertung der Umweltauswirkungen im Rahmen der Zulassungsentscheidung über das Vorhaben berücksichtigt wird (vgl. §12 UVPG). Bereits durch diese Terminologie wird

deutlich, dass das Ergebnis der Bewertung bei der Zulassungsentscheidung nicht bindend ist. Es ist fraglich, inwieweit es überhaupt berücksichtigt werden kann. Unproblematisch sind dabei jene Verfahren, in denen der Behörde bei der Zulassungsentscheidung ein Ermessen eingeräumt ist. Dies ist insbesondere bei Planfeststellungsverfahren – wie vorliegend – der Fall. [71]

5.1.3 Ergebnis zu den rechtlichen Aspekten eines Autobahnausbaus

Es kann mithin festgestellt werden, dass ein Ausbau der BAB 1 mit einem erheblichen Verfahrensaufwand - sowohl sachlich als auch zeitlich - in Form eines Planfeststellungsverfahrens verbunden ist. Auch die umweltrechtlichen Anforderungen an einen Autobahnausbau sind sehr hoch. Aufgrund der Vorgaben des § 41 BImSchG sind Maßnahmen zum Lärmschutz zu treffen. Des Weiteren greifen die naturschutzrechtlichen Vermeidungs- und Kompensationspflichten des § 19 Abs. 1 und 2 BNatSchG ein. Schließlich führt auch die erforderliche UVP zu einer umfassenden Überprüfung der Auswirkungen des Bauvorhabens auf die Umwelt, so dass insgesamt der Umweltschutz eine erhebliche Hürde für die Verwirklichung des Ausbaus darstellen kann.

5.2 Rechtliche Aspekte des Baus

In einem zweiten Teil sollen nun die für den Bau und Betrieb einer unterirdischen Container-Transportanlage relevanten rechtlichen Anforderungen beleuchtet werden, um festzustellen, ob eine solche Anlage größeren rechtlichen Hindernissen gegenübersteht als ein Autobahnausbau oder ob sich diesem gegenüber möglicherweise sogar Vorteile ergeben.

Zunächst sollen die planungs- und umweltrechtlichen Anforderungen betrachtet werden, danach wird auf die verschiedenen Möglichkeiten der Nutzung von Grundstücken für die Transportanlage und die dabei zu beachtenden rechtlichen Regelungen eingegangen.

Gegenstand der Betrachtung ist in erster Linie die Transportstrecke, die an den Endpunkten der Strecke zu errichtenden Verladeterminals wurden noch nicht umfassend in die Betrachtung mit einbezogen.

5.2.1 Erfordernis einer Planfeststellung

Zunächst stellt sich die Frage, ob nach den geltenden gesetzlichen Bestimmungen die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens für das unterirdische Container-Transportsystem erforderlich ist.

Für den unterirdischen Containertransport wurde bislang kein entsprechendes Fachplanungsgesetz erlassen. Jedoch könnte das AEG [72] anwendbar sein, das in § 18 Abs. 1 Satz 1 für den Bau von Betriebsanlagen einer Eisenbahn die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens zwingend vorsieht. Gem. § 1 Abs. 1 AEG gilt dieses Gesetz jedoch nur für „Eisenbahnen“. Die unterirdische Container-Transportanlage müsste also als Eisenbahn i.S.d. AEG zu qualifizieren sein.

5.2.1.1 Qualifikation als Eisenbahn

Ob ein Transportmittel als Eisenbahn i.S.d. AEG einzuordnen ist, bestimmt sich nach der Definition in § 1 Abs. 1 AEG. Der Begriff der Eisenbahnen wird dort allerdings nicht positiv definiert, sondern nur negativ gegenüber anderen Schienenbahnen abgegrenzt, für die dann gesonderte Rechtsvorschriften gelten. [73] Der Begriff Schienenbahnen umfasst als Oberbegriff alle Bahnen, die in fester Spur laufen. [74] Die unterirdische Container-Transportanlage wird innerhalb der Transportröhre auf einer Schiene geführt, so dass sie als Schienenbahn zu qualifizieren ist. [75] Sie müsste ferner aber gerade auch als Eisenbahn einzuordnen sein.

§ 2 Abs. 7 AEG sieht vor, dass in Zweifelsfällen und soweit es sich nicht um Schienenbahnen des Bundes handelt, die beteiligten obersten Landesverkehrsbehörden im Benehmen mit dem Bundesverkehrsministerium entscheiden, ob und inwieweit eine Schienenbahn zu den Eisenbahnen i.S.d. Gesetzes zu rechnen ist.

Gem. § 2 Abs. 6 AEG sind Eisenbahnen des Bundes solche, die sich überwiegend in der Hand des Bundes oder eines mehrheitlich dem Bund gehörenden Unternehmens befinden. Auch wenn über die genaue Form der Betreibergesellschaft bisher noch keine Aussagen getroffen werden können, ist von einer privaten Betreibergesellschaft ohne Mehrheitsbeteiligung des Bundes auszugehen, die Eigentümerin der Transportanlagen ist, so dass es sich nicht um eine bundeseigene Anlage handelt. § 2 Abs. 7 AEG ist also einschlägig. Demnach liegt die Entscheidung

über die Qualifikation des unterirdischen Container-Transportsystems als Eisenbahn bei den entsprechenden Landesbehörden, der hier nicht vorgegriffen werden kann. Im Folgenden kann also nur eine eigene Einschätzung der rechtlichen Bewertung vorgenommen werden.

Nach dem Negativkatalog des § 1 Abs. 1 Satz 2 AEG unterfallen andere Schienenbahnen wie Magnetschwebbahnen, Straßenbahnen und die nach ihrer Bau- oder Betriebsweise ähnlichen Bahnen, Bergbahnen und sonstige Bahnen besonderer Bauart nicht dem Eisenbahnbegriff des AEG.

Die unterirdische Container-Transportanlage stellt weder eine Magnetschwebbahn noch eine Bergbahn oder eine sonstige Bahn dar. Sie ist auch nicht durch die ausschließliche oder überwiegende Beförderung von Personen gekennzeichnet, [76] da sie nur Güter transportiert. Dementsprechend ist sie auch nicht als Straßenbahn oder eine dieser ähnlichen Bahn zu qualifizieren. [77] Möglicherweise ist die Container-Transportanlage aufgrund ihres unterirdischen Verlaufs mit einer U-Bahn gleichzusetzen. Untergrundbahnen werden jedoch gem. § 4 Abs. 2 PBefG zu den Straßenbahnen gerechnet, sie dienen also ebenfalls nur dem Personenverkehr, so dass die unterirdische Container-Transportanlage nicht als U-Bahn einzuordnen ist. Grundsätzlich sind Untergrundbahnen, die einen namhaften Güterverkehr abwickeln, als Eisenbahnen einzuordnen. [78] Diese Wertung gilt grundsätzlich auch für die unterirdische CargoCapContainer-Anlage.

Im Hinblick auf das in den vorhergehenden Studien untersuchte unterirdische Stückgut-Transportsystem durch das Ruhrgebiet wurde jedoch trotz dieser Tatsache nicht von einer Anwendbarkeit der eisenbahnrechtlichen Vorschriften ausgegangen, da es sich um eine unterirdische Anlage handelt, die wegen der Ähnlichkeit mit Rohrleitungen der Versorgungswirtschaft und ihres Charakters als innovatives Verkehrsmittel nicht mit bestehenden oberirdischen Verkehrssystemen vergleichbar ist. [79] Durch seine unterirdische Verlegung in einem geschlossenen System, das keinerlei unmittelbaren Außenkontakt hat, ist auch die Gefahrenlage nicht mit der von herkömmlichen oberirdischen Zügen gleichzusetzen. [80] Unterirdische Systeme dieser Art existieren bisher nicht, so dass sie auch nicht von dem Begriff der Eisenbahn, der sich ausschließlich auf oberirdische Systeme bezieht, erfasst werden können. [81]

Demzufolge stellt das unterirdische rohrleitungsgebundene Stückgut-Transportsystem durch das Ruhrgebiet, das Gegenstand der vorhergehenden Untersuchungen war, keine Eisenbahn i.S.d. AEG dar. Dies hat zur Folge, dass mangels Anwendbarkeit der eisenbahnrechtlichen Vorschriften ein Planfeststellungsverfahren für diese Anlage nicht gesetzlich vorgesehen ist.

Es stellt sich die Frage, ob diese Wertung auf die hier zu betrachtende unterirdische Container-Transportanlage übertragbar ist.

Ähnlich wie bei der unterirdischen Stückgut-Transportanlage besteht auch hier ein Unterschied zur herkömmlichen Eisenbahn, da die Container-Transportanlage vollständig unterirdisch verläuft, also ein System darstellt, das in dieser Form bisher nicht existiert und dessen Gefährdungslage nicht mit der bei einer oberirdischen Streckenführung vergleichbar ist. Es ähnelt aufgrund seiner Dimensionen jedoch einem Tunnel, durch den die Züge fahren, so dass sich stärkere Parallelen zur Eisenbahn ergeben.

Demnach ist das vorliegend zu untersuchende System im Vergleich zu der unterirdischen Stückgut-Transportanlage durch zwei wesentliche Unterschiede gekennzeichnet:

Zum einen ist bei einem Durchmesser der Transportröhre von 7 m ein wesentlich größerer Raumbedarf gegeben, so dass ein Vergleich mit einer Rohrleitung der Versorgungswirtschaft nicht mehr ohne weiteres angestellt werden kann. Zudem sollen durch das System ganze Züge der herkömmlichen Eisenbahn geschleust werden, wodurch eine stärkere Beziehung zur Eisenbahn besteht als beim rohrleitungsgebundenen Stückguttransport.

Noch zusätzlich akzentuiert werden diese Parallelen durch die Tatsache, dass der Transporttunnel so ausgelegt ist, dass in ihm auch herkömmliche Züge, die Eisenbahnen i.S.d. AEG darstellen, auf herkömmlichen Schienen fahren können. Diese Züge verlieren ihre Eigenschaft als Eisenbahn nicht dadurch, dass sie in ein unterirdisches Tunnelsystem einfahren. Demnach erscheint es möglich, dass die zuständigen Behörden die unterirdische Container-Transportanlage als Eisenbahn i.S.d. AEG qualifizieren.

Zudem ergibt sich auch im Hinblick auf den Zweck des Planfeststellungsverfahrens, dessen Durchführung von der Qualifikation als Eisenbahn abhängt, ein anderes Bild als bei der Stückgut-Transportanlage durch das Ruhrgebiet. Das Planfeststellungsverfahren dient dem Zweck, die verschiedenen Interessen der von dem Bau der Anlage Betroffenen im Rahmen einer Abwägung zu würdigen. Durch den Bau der unterirdischen Container-Transportanlage werden diese Interessen in höherem Maße tangiert als bei der Verlegung der rohrlungsgebundenen Stückgut-Transportanlage. Zwar wird nach Abschluss der Bauarbeiten der ursprüngliche Zustand der Oberfläche wiederhergestellt, jedoch muss bei Verlegung in offener Bauweise der Boden bei einfacher Spurführung in einer Breite von 8 m und im Bereich der Doppelspurinseln bis zu 16 m aufgerissen werden. Es erfolgt also während der Bauphase ein erheblich umfassenderer Eingriff in die Landschaft als bei der Verlegung der unterirdischen Stückgut-Transportröhre, die nur einen Durchmesser von 1,60 m hat. Auch liegen in Anbetracht der Größe der Anlage und der zu befördernden Behälter weiterreichende Konsequenzen durch den Betrieb nahe als bei der rohrlungsgebundenen Stückgut-Transportanlage.

Demzufolge erscheint es geboten, etwaige Konflikte mit den Beteiligten im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens zu klären; der dann ergehende Planfeststellungsbeschluss bietet aufgrund seiner formellen Konzentrationswirkung sowie seiner Gestaltungswirkung auch eine gewisse Planungs- bzw. Investitionssicherheit für die Betreibergesellschaft. [82]

Demnach erscheint auch im Interesse der Gewährleistung eines ungestörten Betriebes der unterirdischen Container-Transportanlage die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens aufgrund seiner umfassenden Klärungs- und Abwägungsfunktion sinnvoll. Dieses Argument spricht also ebenfalls für die Qualifikation der Anlage als Eisenbahn mit der Folge der Anwendbarkeit des § 18 Abs. 1 Satz 1 AEG.

Mangels anderer einschlägiger Regelungen für das innovative System soll deshalb im Folgenden die Annahme zugrunde gelegt werden, dass es sich bei der unterirdischen Stückgut-Transportanlage um eine Eisenbahn i.S.d. AEG handelt.

Möglich und gegebenenfalls anzuregen wäre die Schaffung eines eigenständigen Gesetzes für die unterirdische Container-Transportanlage, das den Besonderheiten

des Systems angepasst wird und anstelle der eisenbahnrechtlichen Vorschriften anwendbar ist. Eine solche Regelung wurde auch für das innovative System der Magnetschwebbahn gewählt. De lege lata ist jedoch von einer Anwendbarkeit der eisenbahnrechtlichen Vorschriften auszugehen.

5.2.1.2 Bau oder Änderung von Betriebsanlagen

Ist die unterirdische Container-Transportanlage als Eisenbahn zu qualifizieren, stellen die in der unterirdischen Röhre verlegten Gleise, die dem Eisenbahnbetrieb dienen, Betriebsanlagen einer Eisenbahn dar.[83]

Das Planfeststellungserfordernis des § 18 Abs. 1 Satz 1 AEG verlangt ferner, dass ein Bau oder eine Änderung dieser Betriebsanlagen vorgenommen werden soll.

Bei der Verlegung der unterirdischen Transportanlage wird der Transporttunnel, der auch die Gleise aufnimmt, neu errichtet, so dass ein Bau von Betriebsanlagen einer Eisenbahn gegeben ist.

Diese Bewertung ist bei der Verlegung unter Straßen- und Privatgrundstücken unproblematisch. Bei der Verlegung unter stillgelegten Eisenbahnstrecken besteht die Besonderheit, dass Grundstücke genutzt werden, auf denen sich bereits (zumindest ehemalige) Betriebsanlagen von Eisenbahnen befinden, für die bei ihrer Errichtung ein Planfeststellungsverfahren durchgeführt wurde.

Diese haben ihre Eigenschaft als Betriebsanlagen trotz ihrer Stilllegung nicht durch Entwidmung verloren, da an eine solche hohe Anforderungen zu stellen sind, [84] die hier nicht erfüllt werden. Allerdings handelt es sich bei der Errichtung der unterirdischen Container-Transportanlage unter diesen Betriebsanlagen aufgrund der umfassenden Veränderungen, die nicht von dem ursprünglichen Widmungszweck gedeckt sind, nicht um eine bloße Wiederinbetriebnahme oder Änderung der bestehenden Betriebsanlagen, sondern um den Bau neuer Betriebsanlagen.

Demnach ist auch in diesem Fall § 18 Abs. 1 Satz 1 AEG einschlägig und für den Bau der Transportanlage, unabhängig von der zugrunde gelegten Streckenvariante, ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

Aufgrund der Genehmigungs- und formellen Konzentrationswirkung des Planfeststellungsbeschlusses sind daneben andere behördliche Entscheidungen, wie

z.B. eine Baugenehmigung, nicht erforderlich. Allerdings bleibt die Planfeststellungsbehörde an die materiellen Vorgaben des jeweiligen Fachrechts gebunden. [85] Aus diesem Grund werden im Folgenden die jeweiligen Genehmigungserfordernisse und deren Voraussetzungen, wie sie auch von der Planfeststellungsbehörde zu berücksichtigen sind, dargestellt, die Erteilung dieser Genehmigungen ist kraft der Konzentrationswirkung grundsätzlich durch das Planfeststellungsverfahren abgedeckt und muss nicht gesondert beantragt werden.

5.2.2 Eisenbahnrechtliche Genehmigung gem. § 6 Abs. 1 AEG

Die Betreibergesellschaft bedarf für den Betrieb der Anlage einer eisenbahnrechtlichen Genehmigung gem. § 6 Abs. 1 AEG, die an den Nachweis der finanziellen Leistungsfähigkeit, der Zuverlässigkeit und der Fachkunde der Betreiber geknüpft ist.

5.2.3 Anwendbarkeit der LbauOen

Die Landesbauordnungen sind nur dann auf die unterirdische Container-Transportanlage anwendbar, wenn keine der dort aufgeführten Ausnahmegesetze eingreift.

Die unterirdische Container-Transportanlage ist als eine Anlage des öffentlichen Verkehrs i.S.d. § 1 Abs. 2 Nr. 1 BauO NRW, HambBauO, BremBauO und § 3 Abs. 1 Nr. 1 NdsBauO zu qualifizieren mit der Folge, dass die bauordnungsrechtlichen Vorschriften nicht anwendbar sind. Diese Ausnahmeregelung dient der Vermeidung von Doppelregelungen und Doppelprüfungen, da in dem ohnehin durchzuführenden Planfeststellungsverfahren bereits alle öffentlichen und privaten Belange geprüft und berücksichtigt werden. [86]

5.2.4 Anwendbarkeit der EBO

Stattdessen könnte die unterirdische Container-Transportanlage an den spezifischen eisenbahnrechtlichen Anforderungen an die Konstruktionssicherheit zu messen sein.

Grundsätzlich sind die Betreiber von Eisenbahnen gem. § 4 Abs. 1 AEG verpflichtet, ihren Betrieb sicher zu führen und Eisenbahninfrastruktur, Fahrzeuge und Zubehör sicher zu bauen und in betriebssicherem Zustand zu halten. Für regelspurige

Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs enthält die EBO [87] Konkretisierungen hinsichtlich der baulichen Anforderungen.

Diese gilt gem. § 1 Abs. 1 für regelspurige Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland.

Im Gegensatz zu der im Rahmen der Prüfung der Planfeststellungsbedürftigkeit festgestellten planungsrechtlichen Vergleichbarkeit mit herkömmlichen Eisenbahnen ergibt sich im Bereich der Sicherheitsanforderungen ein völlig anderes Bild.

Die EBO enthält detaillierte Regelungen, die genau auf den Betrieb von oberirdischen herkömmlichen Eisenbahnen ausgerichtet sind. Dagegen stellt die unterirdische Container-Transportanlage ein bisher nicht existierendes innovatives System dar, dessen Vorteile insbesondere und gerade darin bestehen, dass seine Betriebstechnik nicht mit der von herkömmlichen Eisenbahnen vergleichbar ist. Es handelt sich dabei um ein unbemannt fahrendes, computergesteuertes und vollständig unterirdisch fahrendes System, das mit der Außenwelt in keiner Weise in Berührung kommt. Demnach muss auch nicht im selben Maße wie bei herkömmlichen Eisenbahnen mit äußeren Störungen des Betriebes, z.B. durch Hindernisse auf den Gleisen oder Personen auf den Gleisanlagen, gerechnet werden. Auch existieren keine Kreuzungen mit anderen Verkehrswegen, von denen Gefahrenpotential ausgeht.

Zwar besteht die Möglichkeit einer Betriebsstörung durch einen Unfall innerhalb der Röhre. Die Auswirkungen eines solchen Vorfalles bleiben allerdings auf den abgeschlossenen Bereich des Transporttunnels beschränkt, der grundsätzlich nicht von Menschen betreten wird. Im Notfall oder zu Wartungszwecken erreicht nur geschultes Fachpersonal das Innere der Röhre und dies nur bei Stillstand des Transportbetriebes. Durch diese Isolierung aller Gefahren von der Außenwelt ergibt sich also eine grundlegend andere Bewertung der Sicherheitslage als bei den herkömmlichen oberirdischen Zügen.

Diese Unterschiede machen deutlich, dass die Vorgaben der EBO, bei deren Erlass der Verordnungsgeber die Situation des herkömmlichen oberirdischen Zugverkehrs vor Augen hatte, dieses innovative Konzept nicht abdecken können. Sie passen nicht auf das neuartige unterirdische Transportsystem und die bei seinem Betrieb

herrschende Sicherheitslage. Die EBO bezweckt die Sicherstellung der Sicherheit und Ordnung beim Bau und Betrieb von Eisenbahnen. [88] Dieser Zweck kann jedoch nur für solche Eisenbahnen erreicht werden, für deren Bau und Betrieb die in der EBO aufgestellten hohen Sicherheitsanforderungen notwendig und sinnvoll sind. Im Hinblick auf das unterirdische Container-Transportsystem kann die Sicherheit auch ohne Einhaltung der Vorschriften der EBO sichergestellt werden, da bestimmte Gefahren aufgrund der unterirdischen Führung nicht bestehen.

Wegen der strikten Ausrichtung der detaillierten Regelungen der EBO auf die Erfordernisse und Bedürfnisse der herkömmlichen oberirdisch fahrenden Eisenbahn ist davon auszugehen, dass sie auch nur für solche herkömmlichen Eisenbahnen gelten soll. Demnach ist im Anwendungsbereich der EBO ein anderer Eisenbahnbegriff zugrunde zu legen als im Rahmen des § 18 Abs. 1 AEG. Dieser Eisenbahnbegriff ist mit Blick auf den Zweck der EBO, die Gewährleistung der Sicherheit im Eisenbahnverkehr, enger gesteckt und es ist davon auszugehen, dass er nur herkömmliche oberirdisch fahrende Züge umfasst. Die unterirdische Container-Transportanlage ist also nicht als Eisenbahn i.S.d. EBO anzusehen, so dass diese nicht gilt.

Jedenfalls solange es an einer eigenen gesetzlichen Regelung der planungsrechtlichen als auch der sicherheitsrechtlichen Vorgaben an die unterirdische Container-Transportanlage fehlt, ist davon auszugehen, dass allenfalls einzelne Vorschriften der EBO, deren Zweck auf das unterirdische Transportsystem übertragbar ist, analog Anwendung finden. Ansonsten gilt die allgemeine Vorschrift des § 4 Abs. 1 AEG.

5.2.5 Umweltrechtliche Zulässigkeit

Ferner stellt sich die Frage, welche umweltrechtlichen Vorgaben bei der Realisierung der unterirdischen Container-Transportanlage zu berücksichtigen sind.

5.2.5.1 BImSchG

Es besteht die Möglichkeit, dass durch die unterirdische Transportanlage Lärm und Erschütterungen hervorgerufen werden, so dass der Anwendungsbereich des BImSchG [89] eröffnet sein könnte.

Gem. § 2 Abs. 1 Nr. 4 umfasst der Geltungsbereich des BImSchG auch den Bau von Eisenbahnen nach Maßgabe der §§ 41 bis 43 BImSchG. Dabei ist der Begriff der Eisenbahn weit zu fassen, er umfasst sämtliche Schienenbahnen. [90] Demnach ist das BImSchG auf die unterirdische Container-Transportanlage, die wie bereits festgestellt als Eisenbahn zu qualifizieren ist, anwendbar.

Im Planungsstadium ist das allgemeine Minimierungsgebot des § 50 BImSchG zu berücksichtigen, das bestimmt, dass im Rahmen der Planung schädliche Umwelteinwirkungen auf Gebiete, die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienen, sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich zu vermeiden sind. § 50 erfasst auch Planfeststellungen, [91] so dass er auch für die Planung der Container-Transportanlage zu beachten ist.

§ 50 BImSchG bezieht sich auf die Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen. Darunter fallen nach der Definition des § 3 Abs. 1 BImSchG „Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.“

Bei der unterirdischen Transportanlage besteht nach allen Streckenvarianten die Besonderheit, dass sie unterirdisch verlegt wird, so dass nur wenig oder möglicherweise gar keine Emissionen durch die Röhre nach außen dringen.

Die Lärmentwicklung ist aufgrund der Tatsache, dass die Transporte in einer unterirdischen Röhre durchgeführt und Elektromotoren verwendet werden, als gering einzustufen. Möglicherweise dringt überhaupt kein Lärm nach außen. Im jetzigen Untersuchungsstadium können noch keine Angaben über die Höhe der Geräuschbelastung an der Erdoberfläche gemacht werden, die u.a. abhängig von der umgebenden Bebauung ist. Dies ist erst nach entsprechenden Messungen auf einer Teststrecke möglich. Allerdings werden Geräuschemissionen beim öffentlichen Personennahverkehr im Bereich der U-Bahn durch technische Maßnahmen, insbesondere durch Dämmung, auf Null reduziert. [92] Demnach dürfte auch beim unterirdischen Container-Transport, wenn schon keine vollständige Vermeidung, so doch nur eine geringe Lärmentwicklung an der Oberfläche zu erwarten sein.

Abgasemissionen werden durch die Transportanlage aufgrund der Tatsache, dass in im Tunnel ausschließlich elektrische Antriebe verwendet werden, nicht produziert.

Im Hinblick auf Erschütterungen ist zu berücksichtigen, dass auch in dieser Hinsicht bei U-Bahnen eine Reduzierung auf Null erreicht worden ist. Allerdings werden in der unterirdischen Transportanlage relativ schwere Transportbehälter befördert, so dass sich Erschütterungen möglicherweise nicht vollständig vermeiden lassen.

Jedoch ist aus den oben genannten Gründen nicht anzunehmen, dass diese den Grad einer schädlichen Umwelteinwirkung erreichen werden. Trotzdem sollte zur Sicherheit eine Beeinträchtigung der nach § 50 geschützten Gebiete durch die Trasse der unterirdischen Container-Transportanlage so weit wie möglich vermieden werden. Es ist eine Abwägung mit anderen Belangen vorzunehmen, die der Immissionsminimierung allerdings nur bei besonderem Gewicht vorgehen. [93]

Soweit sich bei der Trassierung schädliche Umwelteinwirkungen nicht vollständig vermeiden lassen, ist auf der zweiten Stufe § 41 Abs. 1 BImSchG zu beachten, nach dem bei dem Bau und der wesentlichen Änderung von Eisenbahnen sicherzustellen ist, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden können, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind.

Diese Regelung gilt allerdings ebenfalls nur für den unwahrscheinlichen Fall, dass die Schwelle einer schädlichen Umwelteinwirkung durch die Verkehrsgeräusche überschritten wird.

Der Begriff der schädlichen Umwelteinwirkung ist im Hinblick auf Geräuschemissionen durch die 16. BImSchV [94] konkretisiert worden, die in § 2 nach Art der Umgebung und Tages- oder Nachtzeit differenzierte Richtwerte aufstellt. [95]

Aufgrund der oben beschriebenen Abschirmung der ohnehin geringen Geräuschentwicklung durch Tunnel ist nicht davon auszugehen, dass die Richtwerte der 16. BImSchV überschritten werden. Sollten sich Geräuschemissionen nicht vollständig vermeiden lassen, sind sie auf ein Mindestmaß zu beschränken. Sie sollten die in § 2 der 16. BImSchV festgelegte Grenze von tagsüber 57 dB (A) und nachts 47 dB (A) im oberirdischen Bereich außerhalb der Röhre nicht überschreiten,

dann ist ein 24-Stunden-Betrieb der Anlage im Bereich von Wohngebieten, Krankenhäusern, Schulen, Kurhäusern und Altenheimen möglich.

Die Regelung des § 41 BImSchG erstreckt sich nur auf Geräuschmissionen, in Bezug auf Erschütterungs- und Abgasmissionen durch öffentliche Verkehrswege besteht eine Regelungslücke, da die anlagenbezogenen Vorschriften des BImSchG nicht anwendbar sind. [96] Insofern greift lediglich das bereits oben behandelte Minimierungsgebot des § 50 BImSchG ein.

5.2.5.2 Gewässerschutz

Da durch die unterirdische Verlegung der Container-Transportanlage Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten sind, sind auch die wasserschutzrechtlichen Vorschriften, insbesondere das Wassergaushaltsgesetz zu beachten. [97]

Aufgrund ihrer mangelnden Vergleichbarkeit mit einer Pipeline greift § 19 a WHG für die unterirdische Transportanlage nicht ein, so dass kein Genehmigungserfordernis gemäß dieser Vorschrift besteht. [98]

Auch die rohrleitungsspezifischen Vorschriften der §§ 26 Abs. 2, 32 b Abs. 2 Satz 2, 34 Abs. 2 Satz 2 WHG gelten aus diesem Grund hier nicht.

Allerdings bedarf die Benutzung von Gewässern gem. § 2 Abs. 1 der behördlichen Erlaubnis oder Bewilligung. Als eine solche Benutzung gilt gem. § 3 Abs. 2 Nr. 1 auch das Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierzu bestimmt oder hierfür geeignet sind.

Die unterirdische Transportanlage könnte geeignet sein, das Grundwasser umzuleiten oder abzusenken. Unter § 3 Abs. 2 Nr. 1 fällt auch der Bau von Unterführungen, Tiefgaragen oder U-Bahnrohren im Grundwasser. [99] Das Erlaubnis- bzw. Bewilligungserfordernis greift schon ein, wenn lediglich die Möglichkeit einer Einwirkung auf das Grundwasser besteht. [100]

Bei der Tiefenlage sowie der Größe der unterirdischen Transportanlage werden Einwirkungen auf das Grundwasser nicht zu vermeiden sein, die auch eine Um- oder Ableitung des Grundwassers umfassen können.

Demnach unterfällt CargoCapContainer § 3 Abs. 2 Nr. 1 WHG, so dass das Erlaubnis- bzw. Bewilligungserfordernis des § 2 Abs. 1 WHG greift.

Die Bewilligung ist gem. § 6 Abs. 1 WHG zu versagen, soweit von der beabsichtigten Benutzung eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere eine Gefährdung der öffentlichen Wasserversorgung zu erwarten ist, die nicht durch Auflagen oder Maßnahmen einer öffentlich-rechtlichen Körperschaft verhütet oder ausgeglichen wird.

Im Hinblick auf die Tunnellage ist aufgrund der elektrisch betriebenen Transportfahrzeuge die Möglichkeit einer Verunreinigung des Grundwassers durch den Betrieb ohnehin gering. Zudem kann ein Kontakt des Grundwassers mit etwaigen Stoffen durch eine Abdichtung der Transportröhre verhindert werden.

Also können durch die Planfeststellungsbehörde entsprechende Auflagen gem. § 4 WHG erteilt werden, so dass nicht anzunehmen ist, dass der wasserrechtlichen Zulässigkeit der Transportanlage Bedenken entgegenstehen. Allerdings liegt die Entscheidung über die Bewilligungserteilung im Ermessen der Behörde, [101] ihre Bewertung kann also nicht vorausgesehen werden.

Im Hinblick auf die wasserrechtliche Bewilligung ist umstritten, ob sich auch auf diese die Konzentrationswirkung des Planfeststellungsbeschlusses erstreckt. Um sicher zu gehen, sollte daher die wasserrechtliche Bewilligung gesondert bei der Planfeststellungsbehörde, die in jedem Fall zuständig ist, beantragt werden.

5.2.5.3 BbodSchG

Daneben sind die Regelungen des Bundesbodenschutzgesetzes zu beachten.

Der Anwendungsbereich des BBodSchG [102] umfasst gem. § 3 Abs. 1 schädliche Bodenveränderungen, soweit diese nicht bereits spezialgesetzlich geregelt sind. In § 3 Abs. 1 Nr. 8 BBodSchG sind als solche fachgesetzlichen Regelungen auch die Vorschriften über den Bau von Verkehrswegen aufgeführt. Die eisenbahnrechtlichen Vorschriften enthalten jedoch keine besonderen bodenrechtlichen Bestimmungen, so dass das BBodSchG anwendbar ist.

§ 4 BBodSchG enthält die zentralen materiellen Pflichten des Gesetzes. Abs. 1 regelt die allgemeine Verhaltenspflicht, Bodeneinwirkungen nur in einer Weise

vorzunehmen, dass schädliche Bodenveränderungen nicht hervorgerufen werden, Abs. 2 beinhaltet eine Abwehripflicht der für ein Grundstück verantwortlichen Person, Abs. 3 schließlich regelt die Sanierungspflicht, wenn bereits schädliche Bodenveränderungen eingetreten sind.

Neben den Schutzpflichten des § 4 beinhaltet § 7 BBodSchV [103] eine Vorsorgepflicht mit dem Ziel, schädliche Bodeneinwirkungen, die durch die Nutzung des Grundstücks hervorgerufen werden können, zu vermeiden. Maßgeblich für das Eingreifen der Vermeidungs-, Abwehr-, Sanierungs- und Vorsorgepflicht ist die schädliche Bodenveränderung. Nach der Legaldefinition des § 2 Abs. 3 BBodSchG sind darunter Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen zu verstehen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen. Einwirkungen auf den Boden, durch die seine Funktionen beeinträchtigt werden, können insbesondere durch Schadstoffeintrag oder andere direkte menschliche Einwirkungen auf den Boden, wie z.B. Versiegelung, Erosion, Verdichtung oder allgemein durch Veränderungen der Bodenphysik entstehen. [104]

Nach der Herstellung des Tunnels wird die Bodenoberfläche in ihrem ursprünglichen Zustand wieder hergestellt. In der Röhre werden nach der Konzeption der Anlage keine schädlichen Stoffe transportiert, zudem könnten solche Stoffe aufgrund des Trassenverlaufs durch eine abgeschlossene Röhre nicht in den sie umgebenden Boden gelangen. [105] Aus diesem Grund ist nicht zu erwarten, dass durch den Bau und Betrieb der unterirdischen Container-Transportanlage schädliche Bodenveränderungen hervorgerufen werden. Gleichwohl ist bei der Planung und dem Betrieb darauf zu achten, dass etwaige negative Auswirkungen auf den Boden so weit wie möglich vermieden werden. Die Schutzpflichten des § 4 werden durch die auf der Grundlage des § 8 BBodSchG ergangene BBodSchV konkretisiert, in der in Anhang 2 neben Maßnahmen- und Prüfwerten auch Vorsorgewerte festgelegt sind.

Insgesamt ist also festzuhalten, dass beim Bau und Betrieb der unterirdischen Container-Transportanlage nachteilige Auswirkungen durch entsprechende Schutzmaßnahmen verhindert werden müssen, was jedoch angesichts der Geschlossenheit des Systems keine größeren Schwierigkeiten bereiten dürfte.

5.2.5.4 BnatSchG

Neben den wasser-, immissionsschutz- und bodenschutzrechtlichen Vorschriften sind die allgemeinen Regelungen des BNatSchG [106] zu beachten.

Bei diesen Vorschriften handelt es sich gem. § 11 BNatSchG weitestgehend um Rahmenvorschriften, die bei der Anwendung und Auslegung anderer Vorschriften zu berücksichtigen sind, [107] also auch im Rahmen der Planfeststellung für das CargoCapContainer-System.

Gem. § 19 Abs. 1 BNatSchG sind vermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch Eingriffe zu unterlassen. Entsprechende Bestimmungen finden sich in den Landesnaturschutzgesetzen. [108]

Ein Eingriff in die Natur und Landschaft liegt gem. § 18 Abs. 1 BNatSchG [109] vor bei Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können.

In Bezug auf die Errichtung und den Betrieb von CargoCapContainer erscheint eine erhebliche Beeinträchtigung des Naturhaushalts oder des Landschaftsbildes aufgrund der unterirdischen Verlegung, nach der die ursprüngliche Bodenoberfläche wiederhergestellt und der Natur überlassen wird, wodurch das Landschaftsbild keine Veränderung erfährt, eher unwahrscheinlich. Diese könnte allenfalls durch Auswirkungen auf das Grundwasser eintreten. Aufgrund dieser nicht auszuschließenden Möglichkeit ist jedoch wegen der geringen Anforderungen des § 18 BNatSchG an einen Eingriff [110] von einem solchen auszugehen.

Demnach ist § 19 BNatSchG zu beachten. Dieser bestimmt, dass Auswirkungen auf den Naturhaushalt so gering wie möglich zu halten sind. [111] Ist eine vollständige Vermeidung nicht möglich, müssen sie zumindest so weit wie möglich gemindert werden. [112] Daneben statuiert § 19 Abs. 2 eine Ausgleichs- und Kompensationspflicht für den Fall unvermeidbarer Beeinträchtigungen. Ausgeglichen wird eine Beeinträchtigung gem. § 19 Abs. 2 Satz 2 durch die Wiederherstellung der beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes, ansonsten ist eine Kompensation gem. Satz 3 durch Ersetzung der beeinträchtigten

Funktionen des Naturhaushalts in gleichwertiger Weise oder einer landschaftsgerechten Neugestaltung des Landschaftsbildes erforderlich. Ist eine solche Kompensation nicht möglich, ist der Eingriff gem. § 19 Abs. 3 BNatSchG unzulässig.

Wie bereits festgestellt, umfasst das Vermeidungs- und Kompensationsgebot des § 19 BNatSchG jedoch nur solche Eingriffe, die Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft mit sich bringen. Diese sind aufgrund der landschaftsschonenden unterirdischen Konzeption von CargoCapContainer eher als gering einzustufen, so dass die naturschutzrechtlichen Vorgaben, die ohnehin nicht unmittelbar durchgesetzt werden können, sondern nur im Rahmen der Planung zu berücksichtigen sind, der Realisierung der Anlage nicht entgegenstehen dürften.

Sollte die Transportstrecke durch Gebiete führen, die durch besonderen Akt gem. § 22 BNatSchG zum Schutzgebiet erklärt wurden, z.B. Naturschutzgebiete, Nationalparks, Naturdenkmale etc. (vgl. § 22 Abs. 1 BNatSchG), sind höhere Anforderungen an die Nutzung dieser Gebiete zu stellen. Ob und in welchem Umfang eine Trassenführung durch diese Gebiete möglich ist, kann hier nicht abstrakt beurteilt werden. Dazu müssten die einzelnen konkreten Gebiete einer gesonderten Prüfung unterzogen werden.

5.2.5.5 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Möglicherweise muss vor dem Bau der unterirdischen Transportanlage im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens eine UVP nach dem UVPG durchgeführt werden.

Der Anwendungsbereich des UVPG ist in § 3 Abs. 1 Satz 1 UVPG geregelt. Danach bedürfen die in Anlage 1 aufgeführten Vorhaben einer Umweltverträglichkeitsprüfung. In der Anlage ist unter Nr. 14.7 der Bau eines Schienenweges von Eisenbahnen mit den dazugehörigen Betriebsanlagen aufgeführt. Für diese Vorhaben ist die Durchführung einer UVP zwingend vorgeschrieben

Das UVPG kennt keinen eigenständigen Vorhabenbegriff. Vielmehr ist bezüglich des Vorhaben- und Anlagenbegriffs auf die Begriffe der jeweiligen Fachgesetze zurückzugreifen, [113] so dass hier derselbe Eisenbahnbegriff wie im AEG zugrunde gelegt werden kann. Wie bereits festgestellt, handelt es sich bei CargoCapContainer

um Schienenwege und Betriebsanlagen einer Eisenbahn, [114] so dass die Durchführung einer UVP erforderlich ist. [115]

5.2.5.6 Ergebnis zur umweltrechtlichen Zulässigkeit

Es sind also die Vorschriften des BImSchG, des WHG sowie des BBodSchG zu beachten. Es empfiehlt sich, eine gesonderte wasserrechtliche Bewilligung bei der Planfeststellungsbehörde zu beantragen, da umstritten ist, ob sich die formelle Konzentrationswirkung des Planfeststellungsbeschlusses auch auf diese Genehmigung erstreckt. Daneben sind im Rahmen der Planfeststellung die Anforderungen des BNatSchG zu berücksichtigen und grundsätzlich ist für alle Streckenvarianten eine UVP durchzuführen.

5.2.6 Inanspruchnahme von Grundstücken

Der Trassenverlauf soll möglichst weitgehend unter bestehenden Verkehrswegen erfolgen, um Verhandlungen mit vielen Einzelpersonen zu vermeiden. Demzufolge sollen in erster Linie stillgelegte Eisenbahnstrecken oder öffentliche Straßengrundstücke genutzt werden. Zur Erreichung einer möglichst direkten Linienführung der Trasse und wegen der Breite der Transportröhre wird jedoch eine Inanspruchnahme angrenzender privater Grundstücke nicht immer vermieden werden können. Schließlich ist eine rechtliche Bewertung der Nutzung der Hafengrundstücke an den Endpunkten der Strecke vorzunehmen.

5.2.6.1 Straßen

Im Straßenrecht wird unterschieden zwischen der erlaubnisfreien Nutzung im Rahmen des Gemeingebrauchs (§ 7 Abs. 1 Satz 1 FStrG [116]; § 14 Abs. 1 Satz 1 StrWG NRW; § 14 Abs. 1 Satz 1 NdsStrG; § 15 Abs. 1 BremLStrG; § 16 HambWG), der erlaubnispflichtigen Sondernutzung (§ 8 Abs. 1 Satz 1 FStrG; § 18 Abs. 1 Satz 1 StrWG NRW; § 18 Abs. 1 Satz 1 NdsStrG; § 18 Abs. 1 BremLStrG; § 19 HambWG) sowie der sonstigen Nutzung (§ 8 Abs. 10 FStrG; § 23 Abs. 1 StrWG NRW; § 23 Abs. 1 NStrG; § 19 BremLStrG). [117]

Der Gemeingebrauch wird in den Straßengesetzen des Bundes und der Länder übereinstimmend legal definiert als der jedermann gestattete Gebrauch der Straße im Rahmen der Widmung und der Verkehrsvorschriften. [118]

In der generellen Machbarkeitsstudie wurde bereits festgestellt, dass es sich bei dem unterirdischen Stückguttransport nicht um einen Gebrauch der Straßenoberfläche im Rahmen der Widmung zu Zwecken des Verkehrs und damit nicht um Gemeingebrauch handelt. [119] Demnach stellt die Verlegung eines unterirdischen Transportsystems unter oder neben dem Straßenkörper eine Sondernutzung gem. §§ 8 Abs. 1 Satz 1 FStrG, 18 Abs. 1 Satz 1 StrWG NRW, NdsStrG, BremLStrG, 19 HambWG dar.

Diese erfordert grundsätzlich eine öffentlich-rechtliche Erlaubnis, eine sog. Sondernutzungserlaubnis. Gem. §§ 8 Abs. 10 FStrG, 23 Abs. 1 StrWG NRW, NdsStrG, 19 BremLStrG genügt jedoch die Erteilung einer privatrechtlichen Genehmigung des Straßeneigentümers, wenn durch die Nutzung der Gemeingebrauch nicht beeinträchtigt wird oder werden kann. [120] Dies ist nur dann der Fall, wenn die Sondernutzung öffentliche Interessen in keiner Weise berührt, [121] wenn also während des Baus und Betriebs der unterirdischen Anlage der Straßenverkehr nicht beeinträchtigt wird.

Bei der Verlegung unter Bundesfernstraßen ist aus Gründen der Sicherung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nur eine Verlegung möglich, bei der die Fahrbahndecke nicht aufgerissen werden muss. Kann bei einer solchen Bauweise eine Beeinträchtigung des Kfz-Verkehrs ausgeschlossen werden, was aufgrund der Verlegung in geschlossener Bauweise vom Straßenrand aus zu erwarten ist, genügt der Abschluss eines privatrechtlichen Gestattungsvertrages gem. § 8 Abs. 10 FStrG. Daneben ist die Erteilung einer Anbaugenehmigung gem. § 9 Abs. 2 Nr. 1, Abs. 5 FStrG erforderlich, die ebenfalls erteilt wird, wenn die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gewährleistet ist.

Ein privatrechtlicher Gestattungsvertrag ist auch bei der Verlegung unter Land- und Gemeindestraßen ausreichend, da hier ebenfalls die Straßendecke nicht aufgerissen werden soll. Dieser Vertrag ist in §§ 23 Abs. 1 StrWGNRW, NdsStrG, 19 BremLStrG geregelt. In Hamburg fehlt eine solche landesrechtliche Regelung, so dass hier stets eine Sondernutzungserlaubnis erforderlich ist.

Bei Nutzung eines parallel zur Bundes- oder Landstraße verlaufenden Radwegs für die Baustelle muss eine Sondernutzungserlaubnis gem. § 8 Abs. 1 FStrG bzw. §§ 18 Abs. 1 StrWG NRW, NdsStrWG, BremLStrG, 19 HambWG erteilt werden. Dies ist

jedoch zu erwarten, wenn eine Umleitung des Radverkehrs ohne Beeinträchtigung des Kfz-Verkehrs auf der Straße möglich ist.

Diese Ausführungen gelten auch für unterirdische Querungen von Straßen.

5.2.6.2 Private Grundstücke

Bei der Nutzung von Privatgrundstücken ist eine Einigung mit dem Grundstückseigentümer erforderlich. Das Verbotsrecht des Grundstückseigentümers aus § 905 BGB greift aufgrund seiner hohen Anforderungen [122] und der nicht auszuschließenden Möglichkeit einer Beeinträchtigung der Grundstücksnutzung nicht ein. Allerdings sind auch etwaige Duldungspflichten des Grundstückseigentümers wie das Notwegerecht nach § 917 BGB nicht einschlägig, da die Betreibergesellschaft im Regelfall nicht Eigentümerin der angrenzenden Grundstücke sein wird.

Eine schuldrechtliche Vereinbarung, die vom Gesetzgeber insbesondere durch die Festschreibung eines zwingenden Kündigungsrechts nur auf eine begrenzte Dauer ausgelegt ist, erscheint nur sinnvoll, wenn lediglich eine vorübergehende Nutzung des Grundstücks, z.B. während der Bauphase angestrebt wird.

Ansonsten ist eine dingliche Sicherung des Nutzungsrechts durch eine beschränkte persönliche Dienstbarkeit gem. §§ 1090, 1092 BGB, die dem Inhaber absolute Abwehrbefugnisse gegenüber jedermann sowie Verfügungs- und Sukzessionsschutz gewährt, [123] zu empfehlen.

Weigert sich der Grundstückseigentümer, das Grundstück zur Verfügung zu stellen, kommt als ultima ratio eine Enteignung gem. § 22 AEG in Betracht. Deren Zulässigkeit hängt vom konkreten Einzelfall ab, letztlich wird sie jedoch leichter als bei oberirdischen Enteignungsmaßnahmen zu erreichen sein.

5.2.6.3 Stillgelegte Eisenbahnstrecken

Die Nutzung stillgelegter Eisenbahnstrecken der DB AG für die unterirdische Verlegung unterscheidet sich nicht von der anderer privater Grundstücke.

Duldungspflichten oder ein Kontrahierungszwang für die DB AG bestehen nicht. Insbesondere ist die vorgesehene Nutzung aufgrund der Tatsache, dass hier keine

bestehende Infrastruktur genutzt werden soll und die beabsichtigte Nutzung sich nicht im Rahmen des ursprünglichen Widmungszwecks der Strecke hält, [124] nicht als Nutzung von Eisenbahninfrastruktur i.S.d. § 14 Abs. 1, 2 Abs. 3 Satz 2 AEG zu bewerten, so dass die dort statuierte Duldungspflicht für die DB AG in diesem Zusammenhang nicht eingreift.

Auch ein Anspruch auf Vertragsschluss gegenüber der DB AG aus § 19 Abs. 4 Nr. 4 GWB, der sog. Essential-facilities-Doktrin, besteht nicht, da hier keine bestehende Infrastruktur genutzt werden soll.

Die Inanspruchnahme der stillgelegten Eisenbahnstrecken erfordert also ebenfalls den Abschluss eines privatrechtlichen Gestattungsvertrages, vorzugsweise gesichert durch eine beschränkte persönliche Dienstbarkeit.

5.2.6.4 Hafengelände

Für die Nutzung des Hafengeländes, insbesondere der Hafenbahnanlagen, ist der Abschluss eines privatrechtlichen Gestattungsvertrags mit dem Hafenbetreiber bzw. im Fall des Weitertransports im Hafen durch die allein berechnigte DB AG mit dieser erforderlich.

Der Zugangsanspruch des § 14 AEG bezieht sich nur auf öffentliche Gleise, zu denen die Mehrzahl der Hafenbahnanlagen nicht gehört. Er ist also lediglich für die Hauptgleise des Hamburger Hafens einschlägig. Ansonsten greift sowohl gegenüber dem Hafenbetreiber als auch der DB AG im Falle der Verweigerung des Zugangs das allgemeine Diskriminierungsverbot des § 20 GWB ein, das einen Anspruch auf Zugang statuiert, wenn dies die einzige Möglichkeit darstellt, die Diskriminierung zu beseitigen.

Ferner ist auch hier zu berücksichtigen, dass aufgrund des § 4 AEG ein sicherer Betrieb gewährleistet sein muss, was insbesondere durch Absperrungen im Bereich der Tunnelmündung und der Strecken mit automatischem Betrieb sicherzustellen ist.

5.3 Vergleich der beiden Alternativen und Ergebnis

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass sich aus planungsrechtlicher Sicht im Hinblick auf die verschiedenen Realisierungsvarianten kaum Unterschiede ergeben. Für beide Verkehrswege ist die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens erforderlich;

auch muss für jeden eine UVP durchgeführt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die einschlägigen gesetzlichen Regelungen häufig allgemein für öffentliche Verkehrswege gelten, worunter sowohl die Autobahn als auch die unterirdische Container-Transportanlage zu fassen sind. Hier ergibt sich ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zu der regionalen CargoCap-Ruhrgebietstrasse, deren Transportröhre lediglich einen Durchmesser von 1,60 m aufweisen soll und die demnach eher eine Rohrleitung darstellt. Dagegen ist die hier untersuchte Transportanlage zumindest im Hinblick auf den Geltungsbereich der rechtlichen Regelungen mit einer Eisenbahn vergleichbar.

Allerdings bedingt die unterirdische Verlegung der CargoCapContainer-Anlage geringere Beeinträchtigungen der Umwelt als der oberirdische Autobahnausbau. Zum einen ist durch die isolierende Wirkung der Transportröhre und der sie umgebenden Erde eine Minimierung der Lärmemissionen möglich. Durch die ausschließliche Verwendung von Elektromotoren wird ferner gewährleistet, dass keine Abgase in der Anlage entstehen. Zum anderen wird das Landschaftsbild nur kurzfristig während der Bauarbeiten beeinträchtigt. Nach deren Abschluss wird der ursprüngliche natürliche Zustand wiederhergestellt, so dass langfristig keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes erfolgt.

Mithin lassen sich die umweltrechtlichen Anforderungen beim Bau von CargoCapContainer leichter erfüllen als bei einem Autobahnausbau.

Damit ergibt der Vergleich, dass dem Bau und Betrieb der unterirdischen Container-Transportanlage keine zusätzlichen Hindernisse entgegenstehen als die, die auch mit einem Autobahnausbau verbunden sind. Bezüglich der Erfüllung der umweltrechtlichen Anforderungen ist CargoCapContainer klar im Vorteil.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Technische Lösung

Forschungsleitend war die Übertragung des bereits für regionale Güterverkehre in Ballungsgebieten konzipierten CargoCap-Systems auf den Güterfernverkehr zwischen den Seehäfen Hamburg und Bremen/Bremerhaven einerseits und dem Ruhrgebiet andererseits. Ein interdisziplinär zusammengesetztes Forscherteam aus Bochum, Aachen und Hannover untersuchte die Frage, welche Transportgrößen, Geschwindigkeiten, Transporttechniken und Netzentwürfe in der Lage sind, den Verkehr in den gegenwärtig genutzten Verkehrssystemen Straße und Schiene soweit zu entlasten, dass ausreichend Einspareffekte erzeugt werden, um eine entsprechende Investition in den unterirdischen Containertransport zu rechtfertigen.

Während der anfänglichen Recherchen und der weiteren Bearbeitung des Projektes konnten **neue Erkenntnisse** über die Verkehrsströme auf den betrachteten Relationen und den zugehörigen Ladungs- und Beförderungsgefäßen gewonnen werden, die eine (kostenneutrale) Erweiterung der Zielsetzung des Forschungsvorhabens um die nachfolgend genannten Aspekte erforderten:

- **Einbeziehung weiterer Ladeformen** des intermodalen Verkehrs. Neben den Containern sollen alle gängigen Wechselbehälter und insbesondere Sattelaufleger transportiert werden.
- Auslegung der Tunnel für die **optionale Durchleitung konventioneller Güterzüge** mit speziellen Triebfahrzeugen. Die zugehörigen Betrachtungen erfolgten ausschließlich in technischer Hinsicht und wurden nicht in die Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen.
- **Einbeziehung alternativer Netzvarianten** mit den obligatorischen Verkehrsstationen Hamburg-Altenwerder, Bremen-Roland, Bochum-Langendreer und Duisburg-LogPort sowie optional Köln-Eifeltor und Hagen-Vorhalle. Auf die Stichstrecke von Bremen nach Bremerhaven wurde wegen zu geringer Gütermengen verzichtet.

Die gesamte technische Auslegung der baulichen Anlagen, der Strecken- und Stationsausrüstung sowie der Fahrzeuge erfolgte stets mit der Zielrichtung einer flexiblen Übertragbarkeit auf die unterschiedlichsten Transportaufgaben des

modernen Güterfernverkehrs. So wurde ein **Betriebskonzept** mit beliebig getakteten Fahrplantrassen und flexiblen Zuglängen entwickelt, das 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 Anlage. Für die vorliegende Beförderungsaufgabe wurde eine Einspurlösung gewählt, deren Doppelspurinseln bei steigenden Transportvolumen verdichtet oder bei Bedarf zu einer durchgehenden Doppelspur verlängert werden können.

Die Gestaltung der **Terminals** orientierte sich hinsichtlich des Container- und Wechselbehälterumschlages an den bestehenden Systemen, wobei unter der Voraussetzung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen für den automatischen Fahrbetrieb sogar eine Integration in bestehende Containerbahnhöfe möglich ist. Für die Übernahme der Sattelaufleger wurde das Umschlagsprinzip des neuartigen Konzepts „CargoBeamer[®]“ adaptiert, das im Gegensatz zur Kranverladung keinerlei Modifizierungen der Straßenfahrzeuge erfordert.

Bei der Konstruktion und **Dimensionierung des Rohbaus und der Streckenausrüstung** ist es gelungen, die gesamte Strecke inkl. der Doppelspurabschnitte in parametrisierte Module zu unterteilen, die separat bemessen werden konnten. Mit den Kostenansätzen für diese Module konnte eine Kostenfunktion aufgestellt werden, deren Integration über Teilstrecken oder über die Gesamtstrecke die jeweiligen Investitionskosten der unbeweglichen Anlagen ergab. Mit diesem System, das auf jede beliebige Strecke oder Verkehrsrelation übertragbar ist, ließen sich die Varianten der Streckenführung und der Leistungsfähigkeit (Taktung) problemlos und neutral bewerten. Dabei konnte insbesondere die kostenmäßige Überlegenheit des Rechteckquerschnittes gegenüber dem kreisförmigen Tunnel nicht nur für die offene, sondern auch für die geschlossene Bauweise zumindest für den vorliegenden Anwendungsfall nachgewiesen werden.

Das **Transportfahrzeug** wurde als vierachsige, selbstfahrende Einheit konzipiert, die in einem zentral angeordneten Frachtraum Sattelaufleger, 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.

Gegenstand der **juristischen Untersuchung** war insbesondere der Vergleich der rechtlichen Vor- und Nachteile eines durchgängigen Ausbaus der Bundesautobahn BAB 1 auf drei Spuren zwischen dem Ruhrgebiet und Bremen bzw. Hamburg mit denen des Baus der unterirdischen Container-Transportanlage auf dieser Strecke. Bedingt durch die unterirdische Verlegung der CargoCapContainer-Anlage ergeben sich in der Summe wesentlich geringere Beeinträchtigungen der Umwelt als der oberirdische Autobahnausbau. Zum einen ist durch die isolierende Wirkung der Transportröhre und der sie umgebenden Erde eine Minimierung der Lärmemissionen möglich. Durch die ausschließliche Verwendung von Elektromotoren wird ferner gewährleistet, dass keine Abgase in der Anlage entstehen. Zum anderen wird das Landschaftsbild nur kurzfristig während der Bauarbeiten beeinträchtigt. Nach deren Abschluss wird der ursprüngliche natürliche Zustand wiederhergestellt, so dass langfristig keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes erfolgt. Mithin lassen sich die umweltrechtlichen Anforderungen beim Bau der CargoCapContainer-Transportanlage leichter erfüllen als bei einem Autobahnausbau. Damit ergibt der Vergleich, dass dem Bau und Betrieb der unterirdischen Container-Transportanlage keine zusätzlichen Hindernisse entgegenstehen als die, die auch mit einem Autobahnausbau verbunden sind. Bezüglich der Erfüllung der umweltrechtlichen Anforderungen ist die CargoCapContainer-Anlage klar im Vorteil.

Insgesamt muss festgehalten werden, dass sich unter den gewählten Annahmen bezüglich der Netzauslegung hinsichtlich Lage und Netzzumfang, der Transportmengen und der technischen Ausgestaltung der unterirdischen Transportinfrastruktur kein ausreichender betriebswirtschaftlicher Erfolg sowie volkswirtschaftlicher Nutzen einstellen wird, um die entstehenden Verkehrswegekosten zu decken.

Die Ursachen für dieses Ergebnis liegen einerseits an die **Betriebskosten** der unterirdischen Infrastruktur und andererseits an die betrachteten Netzverläufe. Durch die unterirdische Trassenführung ohne durchgehende Doppelspur wird der Fahrwiderstand durch Luftreibung vergleichsweise hoch, was zu einem entsprechend hohen Energieverbrauch führt. Dieser wirkt sich nicht nur betriebswirtschaftlich über

den Strompreis aus, sondern zusätzlich volkswirtschaftlich durch höhere **Umweltkosten**. Eine Veränderung des Querschnitts oder eine oberirdische Verlegung kann hierbei zu einer Verbesserung führen. Neben den Betriebskosten ist festzustellen, dass das ermittelte Transportaufkommen in Relation zur Verkehrsweginvestition gering ausfällt. Hierdurch zeigt sich, dass das untersuchte Netz die Anforderung an die zu erreichende Mindestnetzgröße nicht erfüllt. Eine andere Trassenführung oder eine Ausweitung des Netzes wird zu einem überproportionalen Anstieg des Transportaufkommens führen 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. Dass diese Wirkung hier zu erwarten ist, zeigt bspw. die Verbesserung der **Nutzen-Kosten-Relation** bei einer Ausweitung vom hier untersuchten engen zum weiten Netz.

6.2 Weiterer Forschungsbedarf

Im Forschungsverbund wurde im Projektverlauf ein hohes Maß an Kompetenz bei der Bewertung neuer Verkehrsinfrastrukturen und ihrer Wirkung in einem integrierten Verkehrssektor geschaffen. Es liegen umfassende und standardisierte Daten über gegenwärtige und zukünftige Verkehrsströme vor, deren Aufbereitung und Auswertung für die vorliegende Untersuchung durchgeführt wurde. Eine Übertragung auf entsprechend vergleichbare Forschungsfragen ist problemlos möglich. Ebenso wurde die Berechnungsmethodik im Zuge der Bundesverkehrswegeplanung auf die neue Verkehrsinfrastruktur erweitert und ein entsprechendes Berechnungsschema entwickelt, das schnell und ohne großen zusätzlichen Aufwand auf veränderte Fälle angewendet werden kann. So können andere Netzentwürfe oder Modifikationen in der Transporttechnik schnell auf ihre Erfolgswirksamkeit getestet und eingeordnet werden ohne dass ein nochmaliger Forschungsaufwand in gleicher Höhe erforderlich wäre.

Eine Reihe weiterer Forschungsfragen können mit der etablierten Forschergruppe effizient bearbeitet werden. Hierzu zählt zunächst die Frage, welche Wirkungen eine Netzverlagerung bzw. Netzvergrößerung auf den Verkehrssektor insgesamt ausübt. Ein erster Ansatz zur Bestimmung eines Netzes wurde in den ersten Gesprächen mit

dem BMBF vorgestellt und umfasst ein europäisches Netz. Die vorgestellte Skizze ist in Bild 6-1 wiedergegeben.

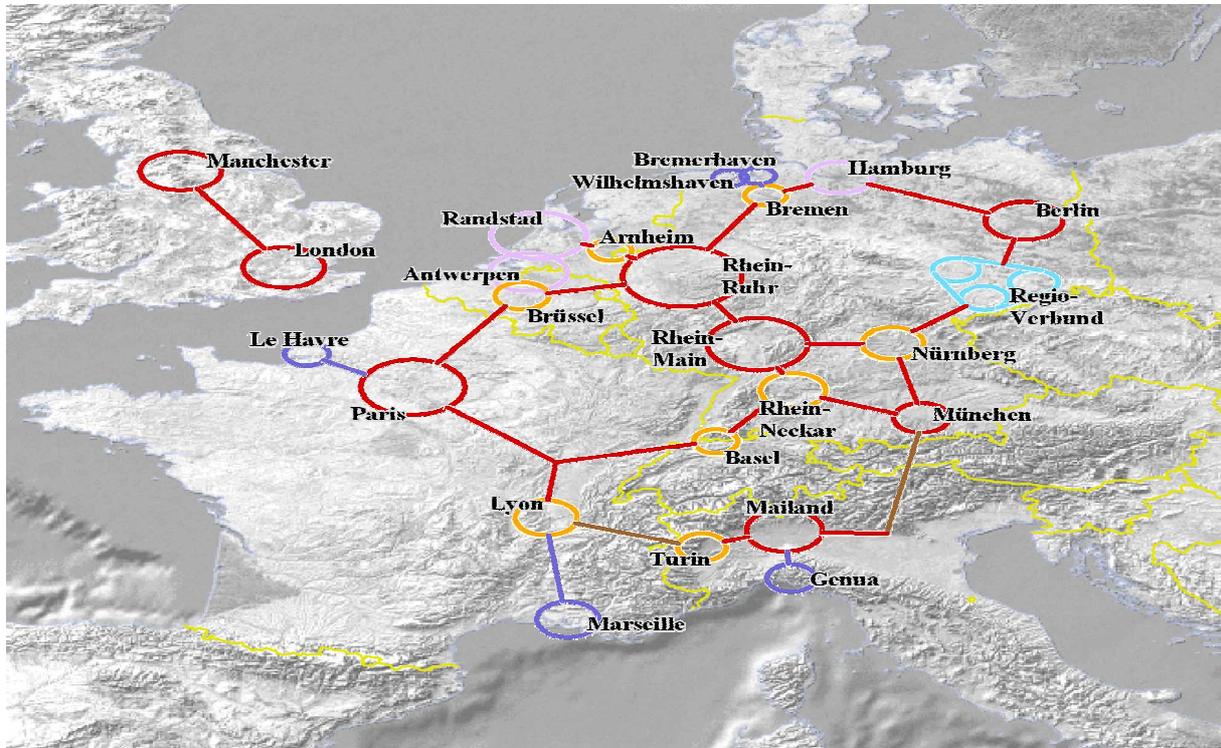


Bild 6-1: Skizze eines europäischen Verkehrsnetzes

Es bleibt somit die Frage zu klären, wie das Netz ausgelegt werden muss, damit die kritische Mindestnetzgröße erreicht wird und welche Netzteile diese Eigenschaft ausweisen. Denkbar sind hier

- größere innerdeutsche Netze
- die Verbindung wichtiger innerdeutscher Verkehrsknotenpunkte mit Transitstrecken ins
 - benachbarte westeuropäische Ausland bzw.
 - in die zur EU beigetretenen Länder Mittel- und Osteuropas oder
 - die Querung problematischer Verkehrshindernisse wie den Alpen

die Integration in das sog. „Transeuropäische Netz“, bei der unter Umständen eine Stärkung der deutschen Ostseehäfen als Hauptumschlagsorte für die Ostseeanrainer als Ziel angeführt werden kann. Eine Integration mit bereits durchgeführten oder im Bau befindlichen Verkehrserweiterungen spielt hier ebenfalls eine herausragende Rolle.

Parallel zur Suche nach der optimalen Lage und Größe eines Initialnetzes kann geprüft werden, welche besonderen kleinräumigen Engpässe im bestehenden Schienenverkehrssystem bestehen, die durch eine Separation der Personen- und Güterverkehre spürbar entlastet werden können.



Bild 6-2: Ausführungsbeispiel für eine eingekapselt, oberirdisch verlegte Schienenbahn entlang einer Autobahn (HSL Antwerpen-Rotterdam, Inbetriebnahme 2007)

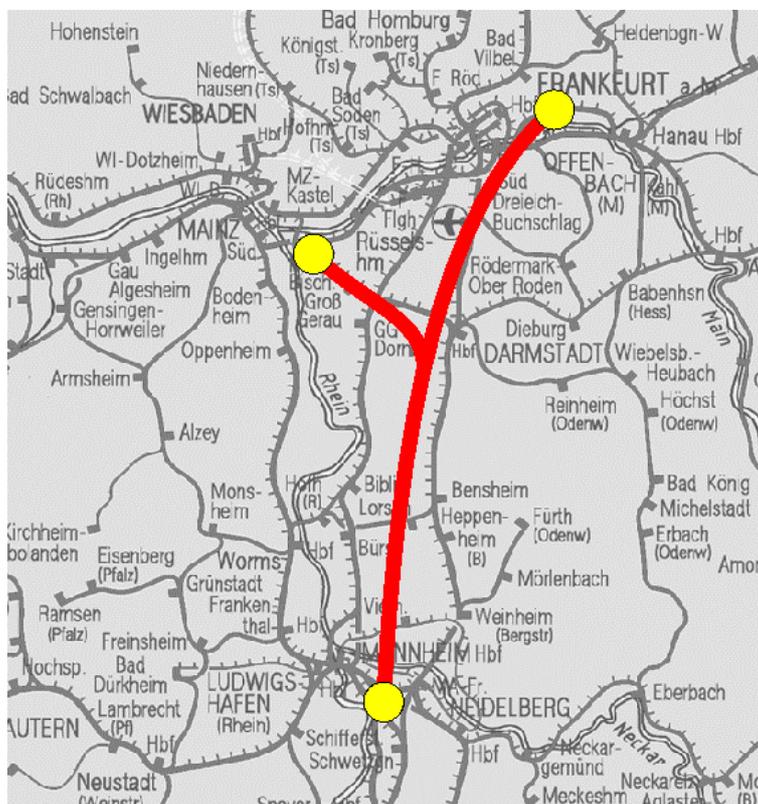


Bild 6-3: Beispiel für mögliche Netzentlastungen durch kurze Streckenabschnitte

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:

- die Fahrdynamik ist kompatibel mit dem bestehenden Schienengüterverkehr,
- der Transportablauf erfolgt in einem geschlossenen System und ist somit ungestört von äußeren Einflüssen,
- durch den unbemannten Transport werden Störungen durch menschliches Versagen ausgeschlossen und
- das geplante Leit- und Sicherungssystem entspricht der in der Diskussion befindlichen höchsten Qualitätsstufe, durch die die Schienenstrecke optimal ausgenutzt wird.

Solche kleinen Streckenabschnitte können zu einem späteren Zeitpunkt als „Keimzellen“ eines neuen Verkehrssystems dienen, indem sie zu einem Netz zusammengeschlossen werden. In der Zwischenzeit erfüllen sie eine deutliche Entlastungswirkung bei dem bestehenden Schienensystem. Ein Beispiel für ein solches „kleines“ Teilstück ist in Bild 6-3 dargestellt. Hier führt eine Entmischung von Personen- und Güterverkehren im gegenwärtig überlasteten Schienennetz Frankfurt a.M., Mainz und Mannheim zu starken Entlastungseffekten mit entsprechend hohen positiven Netzeffekten.

Eine weitere interessante Frage bezieht sich auf die Möglichkeit, das geschlossene und fahrerlos arbeitende neue Verkehrssystem auch oberirdisch anzulegen. Durch entsprechende Absperrungen oder Einkastungen können externe Störungen ausgeschlossen werden, wobei aber zusätzliche Lärmimmissionen und Trennwirkungen auftreten werden. Je nach Lage der Teilstücke einer Strecke wäre somit das bestehende Modulsystem um solche oberirdische Abschnitte zu erweitern und schnell in die bestehenden Berechnungen zu integrieren.

Literatur

- [1] Stein, D.: „Transport- und Versorgungssysteme unter der Erde – Transport von Stückgut durch Rohrleitungen“; unveröffentlichte Forschungsberichte; Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen; 1999, 2000, 2001.
- [2] Gersdorff, Alexander von; Borstel, Stefan von: „Wirtschaft warnt vor dem Verkehrskollaps“; Zeitungsbericht aus: Die Welt; 15. Mai 2002.
- [3] Alexandrow, A.M.: “Pneumatischer Container-Transport in Rohrleitungen” (russisch); Moskau; 1979
- [4] Firmeninformation Tubeexpress; www.tubeexpress.com
- [5] Roop, Stephen S.; Bierling, David H.: “Economic and Technical Feasibility of a Freight Pipeline System in Texas”; 2nd International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems; Delft; 28-29 September 2000.
- [6] James, Arthur P.; Dixon, Andrea G.: “Differential Drayage and Short-Haul Costs of Container Movement Among Ports in Galveston Bay, Texas”; 2nd International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems; Delft; 28-29 September 2000.
- [7] „New Freight Transport System – Transportation of People and Freight on Separate Roadways”; Projektprospekt; Japan.
- [8] Pielage, B.A.: „Design Approach and Prototyping of Automated Underground Freight Transportation Systems in the Netherlands”; 2nd International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems; Delft; 28-29 September 2000.
- [9] Stein, D.: „Grabenloser Leitungsbau“, Ernst&Sohn Verlag, 2003
- [10] Firmeninformation Herrenknecht AG, Schwanau.
- [11] Watanabe, S., Ishikawa, Y., Ito, Y., Tsuchida, A.: Development of Parallel

-
- Link Excavating Shield Method to Utilize the Underground Effectively. Dokumentation 5. Internationaler Kongress Leitungsbau, S 630-642. Hamburg 1997.
- [12] Kashima, J., Konde, N.: Construction of extremely close-set tunnels using the muddy soil pressure balanced Rectangular Shield Method. Tunnels for People, S. 225-260. Eds.: Golser, Hinkel & Schubert. Balkema, Rotterdam 1997.
- [13] Firmeninformation DAIHO Corporation, Tokyo, Japan.
- [14] Firmeninformation Takenaka Civil Engineering & Construction Co. Ltd., Tokyo, Japan.
- [15] Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung (EBO); Richtlinie des EBA; 08.05.1967.
- [16] Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten; DB-Netz; Stand 01.10.1998.
- [17] ZTV-ING; Teil 5 Tunnelbau; Bundesanstalt für Straßenwesen; 01.03.
- [18] RABT: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen; 2003.
- [19] Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln; Richtlinie des EBA; Stand 01.07.1997.
- [20] Lichtenberger, Dr. Bernhard: „Handbuch Gleis“. Tezloff Verlag Hamburg, 2. Auflage, 2004.
- [21] 16. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung), 12. Juni 1990.
- [22] Stroh, Dr. Katharina; Gerke, Dr. Michael: „AL 29: Lärm – Straße und Schiene“. Hrgs.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LFU), Augsburg, Oktober 2003.
www.bayern.de/lfu/umwberat/laerm2_okt2003.pdf AL29

-
- [23] Seelig, A.: „Berührungslose induktive Energieübertragung“; DaimlerChrysler AG Forschungsinstitut Frankfurt 2003.
- [24] Gunselmann, W.; Höschler, P.; Reiner, G.: „Energiespeichereinsatz im Städtnetz Köln“; Elektrische Bahnen 98 (2000), Heft 11/12, S. 463-468.
- [25] Halfmann, U.; Hein, G.; Olsen, H.; Röhlig, S.: „Wirtschaftliche Optimierung von Stadtbahnen durch Nutzung der Bremsenergie in Energiespeichern“; Tagungsband VDE-Kongress 2002, FT 2 „Zukunftsweisende Bahntechnik“.
- [26] Steiner, M.: „Energiespeicher in Schienenfahrzeugen“; Tagungsband VDE-Kongress 2004, FT 2.4 „Nachhaltiger Energieeinsatz in Transport und Verkehr“.
- [27] Deutsche Bundesbahn: „Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung: EBO“, 8. Mai 1967 DS 300.
- [28] Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH: „Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen – Antrag“, Bochum, 2003.
- [29] DIN ISO 668: „ISO-Container der Reihe 1“, 1999.
- [30] Maersk Sealand: Maersk „Equipment Guide - Containers for every need“, Februar 2004.
http://www.maersksealand.com/msl/msl/Gauss/res/equip_container.pdf
- [31] Star Container; Februar 2004. <http://www.star-container.de>
- [32] Kessel & Partner: „Bestimmung des Marktpotentials für den Transport stapelbarer Wechselbehältern in der Binnenschifffahrt und Betriebsversuch“, Freiburg/Frankfurt: September 2002 – Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen FE-Nr. 30.0322/2001.
- [33] DIN EN 425: „Wechselbehälter der Klasse A – Maße und allgemeine Anforderungen“, 1995.

-
- [34] DIN EN 284: „Wechselbehälter der Klasse C – Maße und allgemeine Anforderungen“, 1992.
- [35] DIN ISO 15190: „Frachtbehälter – Binnencontainer“, 1991.
- [36] Internationale Vereinigung der Gesellschaften für den kombinierten Verkehr Schiene-Straße (UIRR): „CO2-Reduzierung durch kombinierten Verkehr“. Brüssel, Juli 2003.
- [37] Hucho, W.-H. (Hrsg.): „Aerodynamik des Automobils“; Springer Verlag, Berlin; 3. grundlegend neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 1999.
- [38] Weidemann, Dr.-Ing. habil. H.-J.: „CargoBeamer™ - Innovationsvorschub für den kombinierten Verkehr.“; Speyer, Oktober 2002.
http://www.cargobeamer.de/index_files/frame.htm
- [39] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE): New developments in the field of combined transport in UNECE member countries. Transmitted by Modalohr, France, Modalohr – The successful rail/road transport solution. Informal document No. 1, 2003
<http://www.unece.org/trans/wp24/documents/inf-1e.pdf>
- [40] Krafftahrt-Bundesamt: Statistische Mitteilungen – Reihe 8: Kraftverkehr. Güterkraftverkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge. Flensburg: Juli 2003
- [41] Riechers, D.: Nürnberg erhält erste fahrerlose U-Bahn in Deutschland. In: Stadtverkehr, 47. Jahrgang, Sonderdruck 05/2002, Freiburg: EK-Verlag.
- [42] Runge, Dr. H. (Siemens – Pressereferat Corporate Technology): Die Fahrstromschiene als Datenleitung. München: Siemens – Pressereferat Corporate Technology 27.09.2003 – Informationsnummer: CT200207011 d
http://www.siemens.com/index.jsp?sdc_rh=null&sdc_flags=null&sdc_sectionid=0&sdc_secnavid=0&sdc_3dnavlstid=&sdc_countryid=0&sdc_mpid=0&sdc_unitid=999&sdc_conttype=2&sdc_contentid=1028609&sdc_langid=0&
aufgerufen im Februar 2004
- [43] Suwe, K.-H.: Automatische fahrerlose U-Bahn-Linie in Singapur in Betrieb.

In: Signal + Draht, Ausgabe 9/2003, Hamburg: Tetzlaff Verlag.

- [44] Steimel, A.: Elektrische Triebfahrzeuge und ihre Energieversorgung; Oldenbourg Industrieverlag, München 2003.
- [45] Filipovic, Z.: Elektrische Bahnen; Springer Verlag 1995.
- [46] Bakran, M.M.; Eckel, H.-G.; Eckert, P.; Gambach, H.; Wenkemann, U.: „Comparison of Multi-System Traction Converters for High-Power Locomotives“; IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen 2004.
- [47] Berg, H.; Schilling, O.; Schutze, T.: „The new 6.5kV IGBT module: a reliable device for medium voltage applications“; International Exhibition and Conference on Power Electronics, Intelligent Motion and Power Quality, Nürnberg 2001.
- [48] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVWB): Bericht des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum kombinierten Verkehr. Berlin: Juli 2001.
- [49] Badura, Peter, in: Erichsen Hans-Uwe; Ehlers, Dirk: „Allgemeines Verwaltungsrecht“. 12. Auflage, De Gruyter, Berlin (2002), § 39 II 1 Rn. 19.
- [50] Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Februar 2003, BGBl. I S. 286 (Neubekanntmachung des FStrG in der Fassung der Bekanntgabe vom 19.04.1994, BGBl. I S. 854, in der seit 17.10.2002 geltenden Fassung).
- [51] Eine Ausnahme zu diesem Grundsatz regelt § 17 Abs. 2 FStrG. Danach entfallen Planfeststellung und Plangenehmigung in Fällen von unwesentlicher Bedeutung. Nach § 17 Abs. 2 S. 2 ist dies beispielsweise der Fall, wenn andere öffentliche Belange nicht berührt sind oder die bereits getroffenen behördlichen Entscheidungen dem Plan nicht entgegenstehen (1.) und Rechte anderer nicht beeinträchtigt werden oder abbedungen wurden (2.). Diese Ausnahmetatbestände sind jedoch bei einem Ausbau der

Autobahn um eine Spur kaum einschlägig, da bei einer solchen Maßnahme stets andere öffentliche Belange berührt sind.

- [52] Marschall, Ernst A. (Begr.); Schroeter, H.W.; Kastner, Fritz: „Bundesfernstraßengesetz“. 5. Auflage, Heymann, Köln u.a. (2003), § 17 Rn. 30.
- [53] Ebenda, § 17 Rn. 32.
- [54] Vgl. etwa BVerwGE 48, 56 ff.; 56, 110, 117.
- [55] Sog. enteignungsrechtliche Vorwirkung, vgl. Badura, Peter: in: Erichsen, Hans-Uwe ; Ehlers, Dirk, a.a.O., siehe Endnote 1, § 39 Rn. 21.
- [56] Zum Bedürfnis vgl. BVerwGE 48, 56; 34, 304; 45, 309 und zur Verhältnismäßigkeit BVerfGE 19, 342.
- [57] Siehe BVerwGE 48, 56, 60; 56, 110; 71, 166, 168 f.; 71, 282; 84, 31, 36; 84, 123.
- [58] BVerwGE 71, 166, 168 f.; 72, 282; vgl. auch Niehues, Norbert: „Das Erfordernis der Planrechtfertigung als Instrument des verfassungsrechtlichen Eigentumsschutzes“. WiVerw. 1985, S. 265 ff.
- [59] Badura, Peter, in: Erichsen, Hans-Uwe ; Ehlers, Dirk: a.a.O., siehe Endnote 1, § 34 Rn. 10, § 39 Rn. 15, 22.
- [60] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 12.02.1990 (BGBl. I S. 205), neugefasst durch die Bekanntmachung vom 05.09.2001 (BGBl. I S. 2350), zuletzt geändert durch Gesetz vom 24.06.2004 (BGBl. I S. 1359).
- [61] Blocher, Rolf: „Lärmschutz im straßenrechtlichen Planfeststellungsverfahren“. DÖV 1981, S. 660; Ebling, Wilfried: „Verkehrslärmschutz – Verfahrensbeschleunigung“. DÖV 1991, S. 422.
- [62] Die Lärmgrenzwerte sind in der 16. Verordnung zur Durchführung des BImSchG (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni

-
- 1990 (BGBl. I S. 1036) geregelt.
- [63] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: „Umweltrecht“. 5. Auflage, Müller, Heidelberg 2003, § 6 Rn. 131.
- [64] BVerwGE 100, 370, 381; BVerwG NVwZ 1993, S. 565 ff.; UPR 1997, S. 329 ff.
- [65] BVerwGE 104, 144 ff.; nach BVerwG NuR 1998, S. 138 ist die Alternativenprüfung bereits im fachplanungsrechtlichen Abwägungsgebot enthalten.
- [66] BVerwGE 75, 214, 257.
- [67] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 6 Rn. 143.
- [68] Näher: Ebenda, § 4 Rn. 14 ff.
- [69] Verwaltungsvorschriften zum UVP-Gesetz.
- [70] Kloepfer, Michael: „Umweltrecht“. 3. Auflage, Beck, München 2004, § 5 Rn. 101.
- [71] Vgl. dazu und zur Problematik der gebundenen Zulassungsentscheidung: Ebenda, § 5 Rn. 101.
- [72] Allgemeines Eisenbahngesetz v. 27.12. 1993, BGBl. I S. 2378, 2396, berichtigt in BGBl. I 1994, S. 2439.
- [73] Kunz, Wolfgang (Herausgeber): „Eisenbahnrecht“. Nomos, Baden Baden (2003), Loseblatt, Stand: 14. Lieferung 2003, § 1 Abs. 1 Erl. 1, S. 23; Steenhoff, Holger: „Planfeststellung für Betriebsanlagen von Eisenbahnen“. DVBl. 1996, S. 1236, 1237.
- [74] Finger, Hans-Joachim: „Kommentar zum Allgemeinen Eisenbahngesetz und Bundesbahngesetz“. Hestra-Verlag, Darmstadt (1981), § 1 Anm. 3a;

Amtliche Begründung, zit. bei: Kunz, Wolfgang (Herausgeber): a.a.O., siehe Endnote 25, § 1 Abs. 1 Erl. 1, S. 24; Haustein, Werner: „Die Eisenbahnen im deutschen öffentlichen Recht“. Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft, Frankfurt a.M. (1960), § 5; Steenhoff, Holger: a.a.O., siehe Endnote 25, S. 1237.

- [75] So auch Ergebnis für die Stückgut-Transportanlage bei Danwitz, Thomas von; Hennemann, Vera: „Transport- und Versorgungssysteme unter der Erde, Teilprojekt: Transport von Stückgut durch Rohrleitungen, Abschlussbericht 2000“. Bochum (2000), S. 36.
- [76] So Definition der Straßenbahn in § 4 Abs. 1 letzter HS PBefG.
- [77] So auch Ergebnis für die Stückgut-Transportanlage bei Danwitz, Thomas von; Hennemann, Vera: a.a.O., siehe Endnote 27, S. 37.
- [78] Finger, Hans-Joachim: a.a.O., siehe Endnote 26, § 1 AEG Erl. 3 c.
- [79] Insbesondere Danwitz, Thomas von; Hennemann, Vera: a.a.O., siehe Endnote 27, S. 38; Danwitz, Thomas von; Wilhelm, Marco: „Transport von Stückgut in Rohrleitungen, Teilprojekt: Juristische Aspekte, Abschlussbericht 1999“. Bochum (1999), S. 9.
- [80] Danwitz, Thomas von; Hennemann, Vera: a.a.O., siehe Endnote 27, S. 38.
- [81] Ebenda.
- [82] Siehe dazu ausführlich den Einzelbericht des vorliegenden juristischen Teilprojekts, 3. Teil A.I.
- [83] Vgl. zu den Anforderungen an Betriebsanlagen: Brauner, Roman: „Reaktivierung stillgelegter Nebenstrecken der Bundesbahn – freie Fahrt?“. VBl.BW 1997, S. 88, 89; Ronellenfitsch, Michael: „Die Wiederinbetriebnahme von Eisenbahnstrecken“. VerwArch 1993, S. 537; Kühlwetter, Hans-Jürgen: „Der Begriff der Anlage unter besonderer Berücksichtigung des Eisenbahnrechts“. In: Blümel, Willi; Kühlwetter, Hans-Jürgen (Herausgeber):

- „Aktuelle Probleme des Eisenbahnrechts III“. Forschungsinstitut für öffentliche Verwaltung, Speyer (1998), S. 27; Bender, Bernd: „Die Kompetenz zur rechtsverbindlichen Planung von Güterverkehrszentren“. VerArch 1992, S. 576, 581.
- [84] Korth Pereira Ferraz, Lucia: „Die Widmung und Entwidmung im Eisenbahnrecht“. In: Blümel, Willi: Kühlwetter, Hans-Jürgen (Herausgeber): „Aktuelle Probleme des Eisenbahnrechts II“. Forschungsinstitut für öffentliche Verwaltung, Speyer (1997), S. 189; Kramer, Urs: „Das Recht der Eisenbahninfrastruktur“. Stuttgart München u.a. (2002), S. 300; Steenhoff, Holger: „Die eisenbahnrechtliche Widmung“. UPR 1998, S. 182, 183.
- [85] Danwitz, Thomas von, in: Schmidt-Aßmann, Eberhard (Herausgeber): „Besonderes Verwaltungsrecht“. 12. Auflage, De Gruyter, Berlin (2003), 8. Kap. Rn. 30.
- [86] Heintz, Detlef, in: Gädtke, Horst; Temme, Heinz-Georg; Heintz, Detlef: „Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen“. 10. Auflage, Werner, Düsseldorf (2003), § 1 Rn. 43.
- [87] Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung v. 8. 5. 1967, BGBl. II S. 1563, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Zweiten Gesetzes zur Änderung eisenbahnrechtlicher Vorschriften vom 21. Juni 2002, BGBl. I S. 2191, 2197.
- [88] Siehe § 4 Abs. 1 EBO.
- [89] Bundes-Immissionsschutzgesetz i.d.F. der Bekanntmachung vom 26.9.2002, BGBl. I S. 3830.
- [90] Jarass, Hans D.: „Bundes-Immissionsschutzgesetz“. 5. Auflage, Beck, München (2002), § 41 Rn. 14.
- [91] Hansmann, Klaus, in: Landmann, Robert von; Rohmer, Gustav (Begründer): „Umweltrecht“. Band I, Beck, München 2004, Loseblatt, Stand: 42. Liefer., April 2004, BImSchG § 50 Rn. 29; Jarass, Hans D.: a.a.O., siehe Endnote 41, § 50 Rn. 6.

-
- [92] Danwitz, Thomas von; Wilhelm, Marco: a.a.O., siehe Endnote 31, S. 45.
- [93] Jarass, Hans D.: a.a.O., siehe Endnote 41, § 50 Rn. 16.
- [94] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) v. 12.6.1990, BGBl. I S. 1036.
- [95] Hansmann, Klaus, a.a.O., siehe Endnote 42, BImSchG § 41 Rn. 17; Jarass, a.a.O., siehe Endnote 41, § 41 Rn. 32; Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas, a.a.O., siehe Endnote 15, § 10 Rn. 288.
- [96] Jarass, a.a.O., siehe Endnote 41, § 41 Rn. 9.
- [97] Wasserhaushaltsgesetz i.d.F. der Bekanntmachung v. 19.8.2002, BGBl. I S. 3245.
- [98] So auch Ergebnis für die Stückgut-Transportanlage durch das Ruhrgebiet bei Danwitz, Thomas von; Wilhelm, Marco: a.a.O., siehe Endnote 31, S. 41.
- [99] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 8 Rn. 118.
- [100] Czychowski, Manfred; Reinhardt, Michael: „Wasserhaushaltsgesetz“. 8. Auflage, Beck, München (2003), § 3 Rn. 66.
- [101] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 8 Rn. 105.
- [102] Bundes-Bodenschutzgesetz v. 17.3.1998, BGBl. I S. 502.
- [103] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung v. 12.7.1999, BGBl. I S. 1554.
- [104] Dombert, in: Landmann, Robert von; Rohmer, Gustav (Begründer), a.a.O., siehe Endnote 42, BBodSchG § 2 Rn. 16; Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 9 Rn. 7; Versteyl,

-
- Ludger-Anselm, in: ders.; Sondermann, Wolf Dieter: „Bundes-Bodenschutzgesetz“. Beck, München (2002), § 2 Rn. 41.
- [105] Siehe dazu schon oben zum WHG unter 3.5.2.
- [106] Bundesnaturschutzgesetz v. 25.3.2002, BGBl. I S. 1193.
- [107] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 6 Rn. 85.
- [108] §§ 3 BremNatSchG, 3 NdsNatSchG, 2 HambNatSchG, 4 Abs. 4 LG NRW.
- [109] Eine entsprechende Definition findet sich in §§ 11 BremNatSchG, 7 NdsNatSchG, 9 HambNatSchG, 4 Abs. 1 LG NRW.
- [110] Gellermann, Martin, in: Landmann, Robert von; Rohmer, Gustav (Begründer), a.a.O., siehe Endnote 42, § 18 Rn. 14.
- [111] Sparwasser, Reinhard; Engel, Rüdiger; Voßkuhle, Andreas: a.a.O., siehe Endnote 15, § 6 Rn. 141.
- [112] Gassner, Erich, in: ders.; Bendomir-Kahlo, Gabriele; Schmidt-Räntsch, Annette: „Bundesnaturschutzgesetz“. 2. Auflage, Beck, München (2003), § 19 Rn. 20.
- [113] Appold, Wolfgang, in: Hoppe, Werner (Herausgeber): „UVPG, Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung“. 2. Auflage, Heymanns, Köln Berlin u.a. (2002), § 2 Rn. 67; Kretz, Claus: Anlagenstandort-Bestimmung und Standortverantwortlichkeit in der abfallrechtlichen Planfeststellung“. UPR 1992, S. 129, 133.
- [114] Siehe oben 3.1.1.
- [115] Hier könnte sich bei der Einordnung der Verlegung der Anlage unter stillgelegten Eisenbahnstrecken als Änderung einer Betriebsanlage eine andere Bewertung ergeben. Gem. § 3 e UVPG ist bei wesentlichen Änderungen eine UVP nur durchzuführen, wenn eine Vorprüfung des

Einzelfalles gem. § 3 c UVPG die Möglichkeit erheblicher nachteiliger Umweltauswirkungen des Änderungsvorhabens ergibt.

- [116] Bundesfernstraßengesetz i.d.F. der Bekanntmachung v. 20.2.2003, BGBl. I S. 286.
- [117] Die Straßengesetze stimmen in ihrer Formulierung weitgehend überein. Allein in Hamburg fehlt eine dem § 23 StrWG NRW entsprechende Vorschrift, so dass im Rahmen der Geltung des HWG stets eine Sondernutzungserlaubnis erforderlich ist.
- [118] Vgl. §§ 7 Abs. 1 FStrG, 14 Abs. 1 Satz 1 StrWG NRW, 14 Abs. 1 Satz 1 NdsStrWG, 15 Abs. 1 BremLStrG, 16 HambWG; Grote, in: Kodal, Kurt; Krämer, Helmut u.a.: „Straßenrecht“. 6. Auflage, Beck, München (1999), S. 572; Steiner, Udo, in: ders. (Herausgeber): „Besonderes Verwaltungsrecht“. 7. Auflage, Müller, Heidelberg (2003), S. 666; Danwitz, Thomas von, in: Schmidt-Aßmann (Herausgeber): a.a.O., siehe Endnote 37, 8. Kap. V. 1. a) Rn. 54; Krüger, Andreas; Gintzel, Vera, in: Danner, Wolfgang (Herausgeber): „Energierrecht“. Band II, Beck, München (2004), Loseblatt, Stand: 46. Lieferung, Januar 2004, Kap. X WegeR, B1 Rn. 8.
- [119] Ausführlich zur straßenrechtlichen Einordnung siehe Danwitz, Thomas von; Wilhelm, Marco: a.a.O., siehe Endnote 31, S. 60, sowie Burgi, Martin; Makri, Angeliki: „Transport von Stückgut in Rorhleitungen, Teilprojekt: Juristische Aspekte, Abschlussbericht 2001“. Bochum (2001), S. 45.
- [120] Marschall, Ernst A. (Begründer); Schroeter, H.W.; Kastner, Fritz: a.a.O., siehe Endnote 4, § 8 Rn. 45; Steiner, Udo, a.a.O., siehe Endnote 69, Kap. V E Rn. 119. Dies gilt mit Ausnahme von Hamburg, dessen HWG eine entsprechende Vorschrift nicht kennt.
- [121] BGH, NVwZ 1983, S. 499; BayOLG, BayVBl. 1984, S. 635.
- [122] Siehe dazu RGZ 59, 116, 119; 123, 181, 182; BGH NJW 1981, S. 573, 574; Säcker, Franz Jürgen, in: Rebmann, Kurt; Säcker, Franz Jürgen; Rixecker, Roland (Herausgeber): „Münchener Kommentar zum Bürgerlichen

Gesetzbuch“. Band 6, §§ 854-1296, 4. Auflage, Beck, München 2004, § 905 Rn. 8.

- [123] Heß, Burkhard: „Dienstbarkeit und Reallast im System dinglicher Nutzungs- und Verwertungsrechte“. AcP 1997, S. 489, 490; Morell, Klaus-Dieter: „Handbuch der Leitungs- und Wegerechte“. Band I, Schmidt-Verlag, Berlin (2002), Loseblatt, Stand: 4. Lieferung, Dezember 2002, Kennz. 0120, S. 36.
- [124] Siehe zu dieser Voraussetzung BVerwGE 102, 269, 271; Delbanco, Heike: „Der Zugang zum Netz der Eisenbahnen des Bundes“. In: Blümel, Willi; Kühlwetter, Hans-Jürgen; Schweinsberg, Ralf (Herausgeber): „Aktuelle Probleme des Eisenbahnrechts IV“. Forschungsinstitut für öffentliche Verwaltung, Speyer (2000), S. 203; Brauner, Roman; Kühlwetter, Hans-Jürgen: „Diskriminierung ja oder nein?“. Internationales Verkehrswesen 2002, S. 492-493.

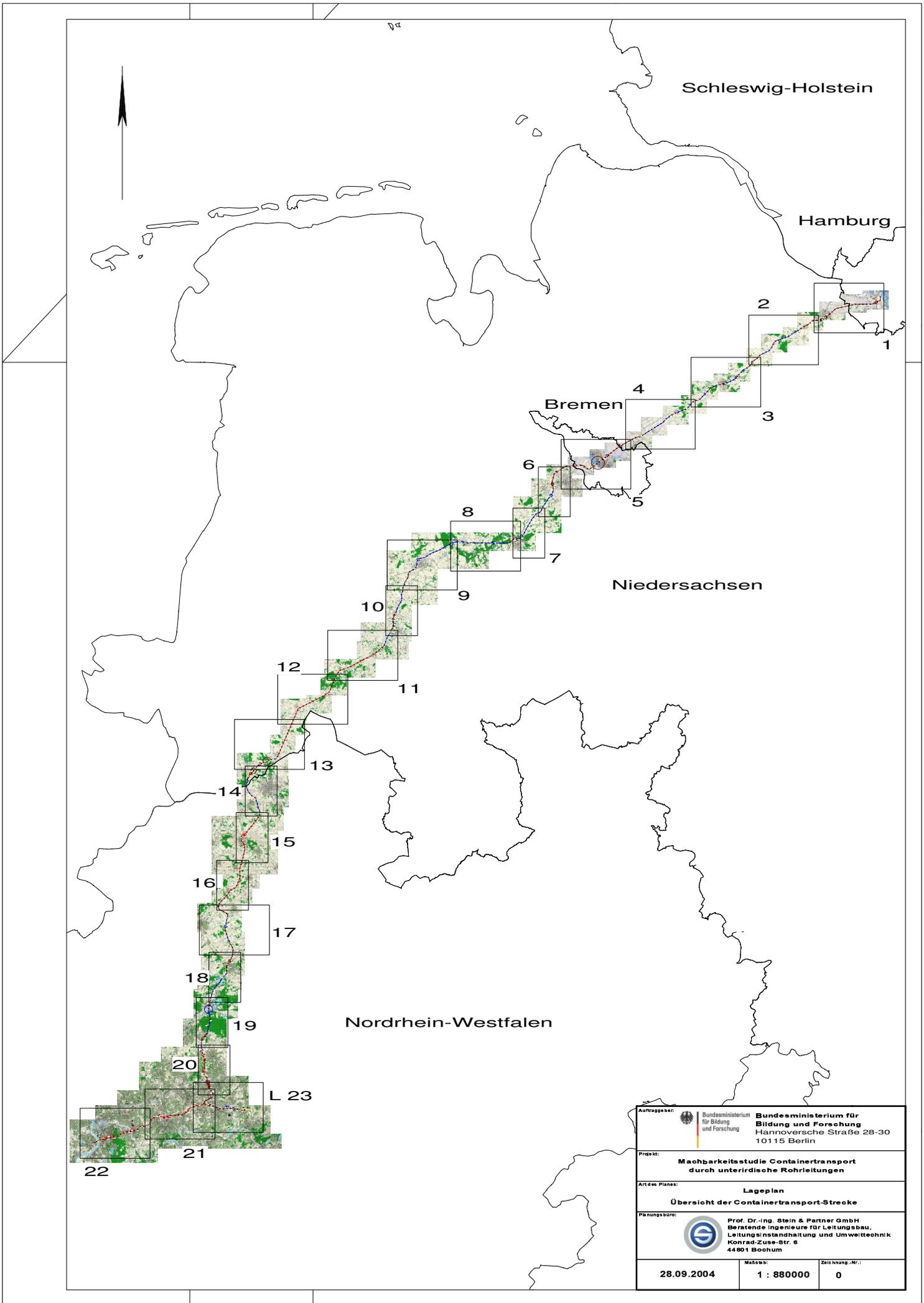
Anhang

Streckenführung



CargoCapContainer

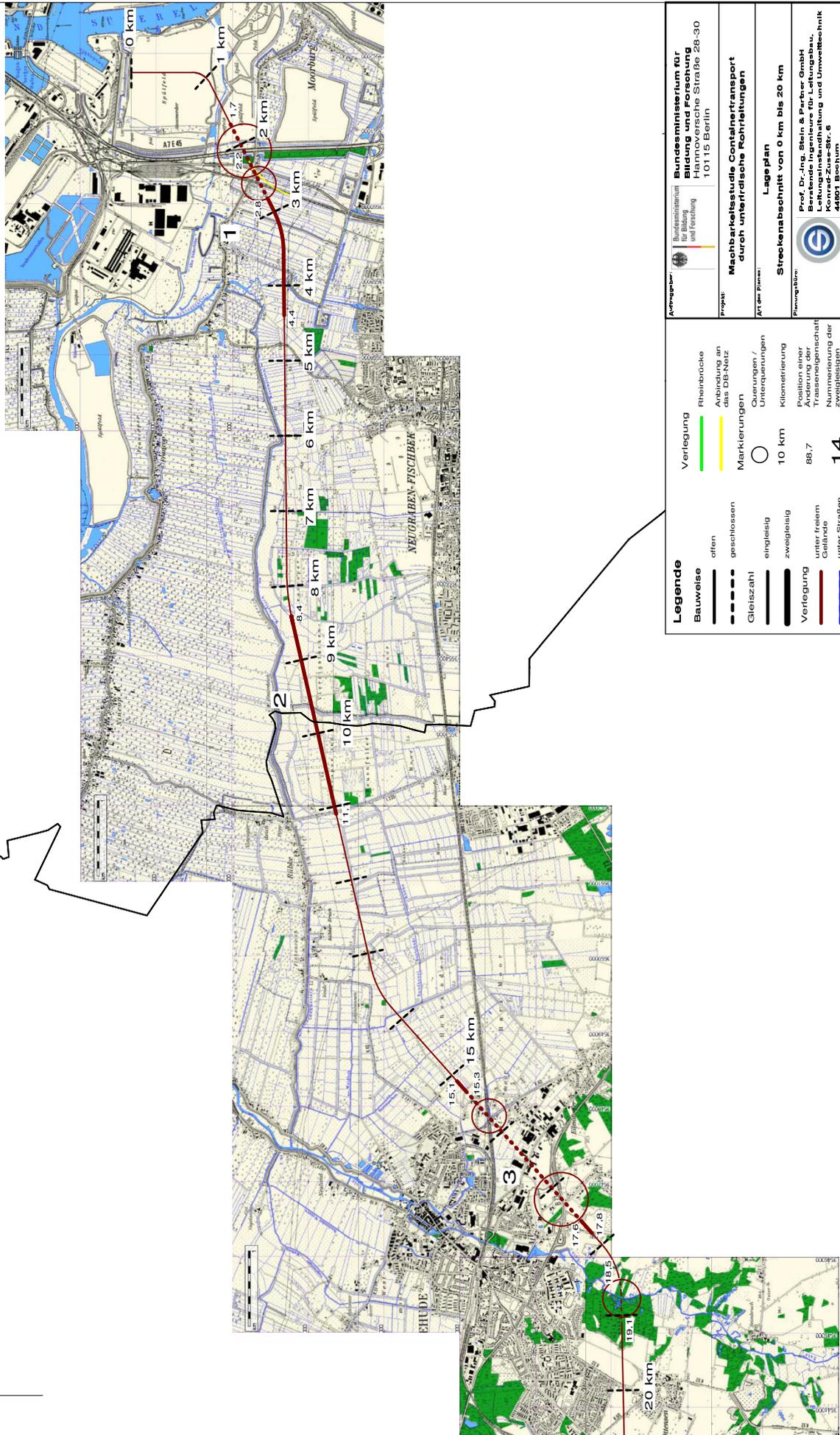
Trassenpläne



Auftraggeber:	 Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
Artes Planes:	 Lageplan Übersicht der Containertransport-Strecke
Planungsbüro:	 Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsstandhaltung und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
Datum:	28.09.2004
Maßstab:	1 : 880000
Zeichnung-Nr.:	0

Hamburg

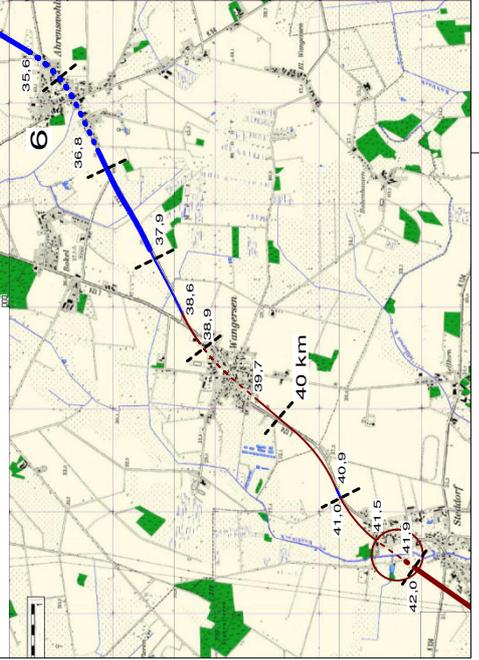
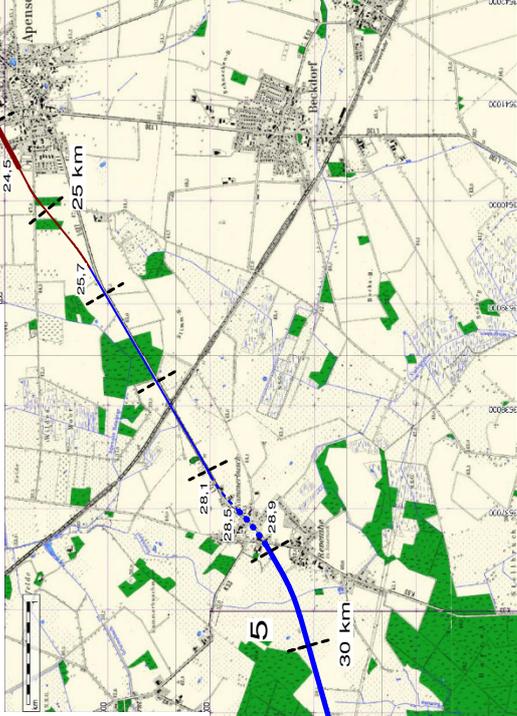
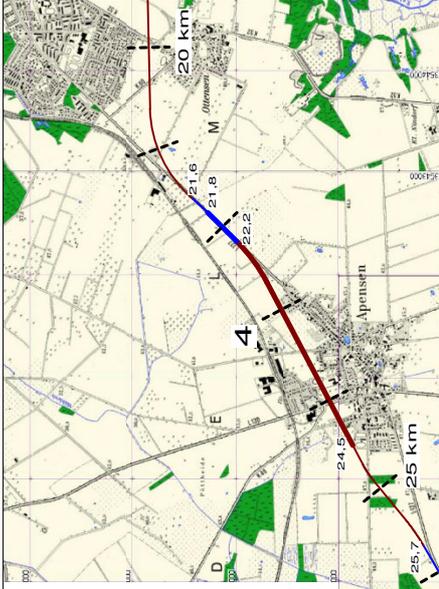
Hamburg-Umland-Süd



Legende	Verlegung	Verlegung
Bauweise	offen	Rheinbrücke
-----	geschlossen	Abzweigen an das DB-Netz
-----	eingleisig	Markierungen
-----	zweigleisig	Überquerungen / Unterquerungen
-----	unter freiem Gelände	10 km
-----	unter Straßen	88,7
-----	unter siltbedekten Eisenbahndecken Oldenburg	14
		Streckenabschnitte
		Raumordnungsverfahren

Auftraggeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Röhrlösungen
AT des Planes:	Lageplan
Planungsziele:	Streckenabschnitt von 0 km bis 20 km
	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Lehrstuhl für Stadt- und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44301 Bochum
28.09.2004	1 : 50000
28.09.2004	1

Hamburg-Umland-Süd

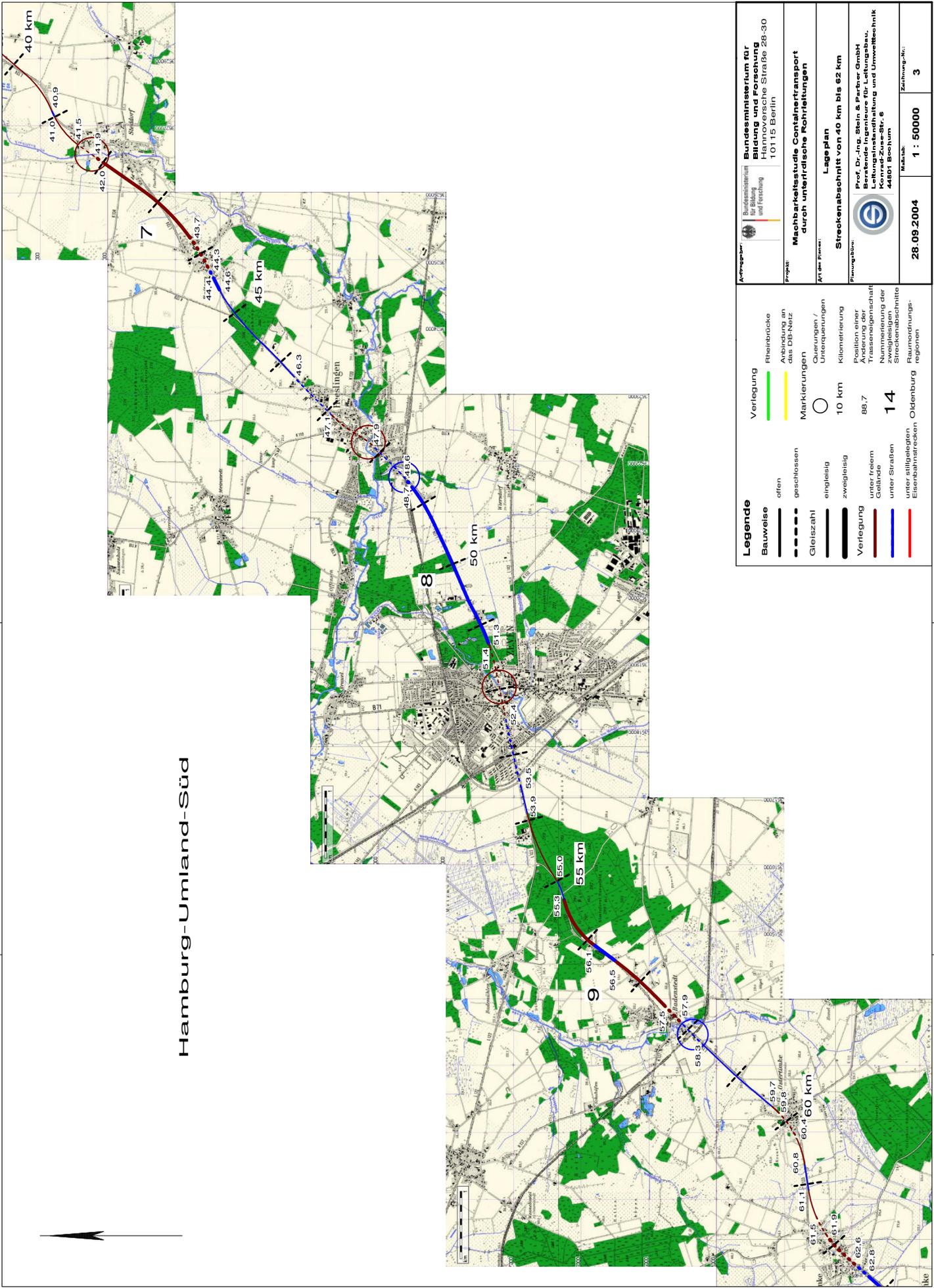


Verlegung	Rheinbrücke	Verlegung	10 km
offen	Abzweig an das DB-Netz	Markierungen	88.7
geschlossen	Querungen / Unterquerungen		14
einleitig	Kilometrierung		
zweigliedrig	Rechtliche oder Änderung der Trassenbezeichnung		
unter freiem Gelände	Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte		
unter Straßen	Raumordnungs-		
unter stillgelegten Eisenbahntrassen	Oldenburg		

Legende	Bauweise	Verlegung
offen	geschlossen	unter freiem Gelände
einleitig	zweigliedrig	unter Straßen
unter freiem Gelände	unter Straßen	unter stillgelegten Eisenbahntrassen

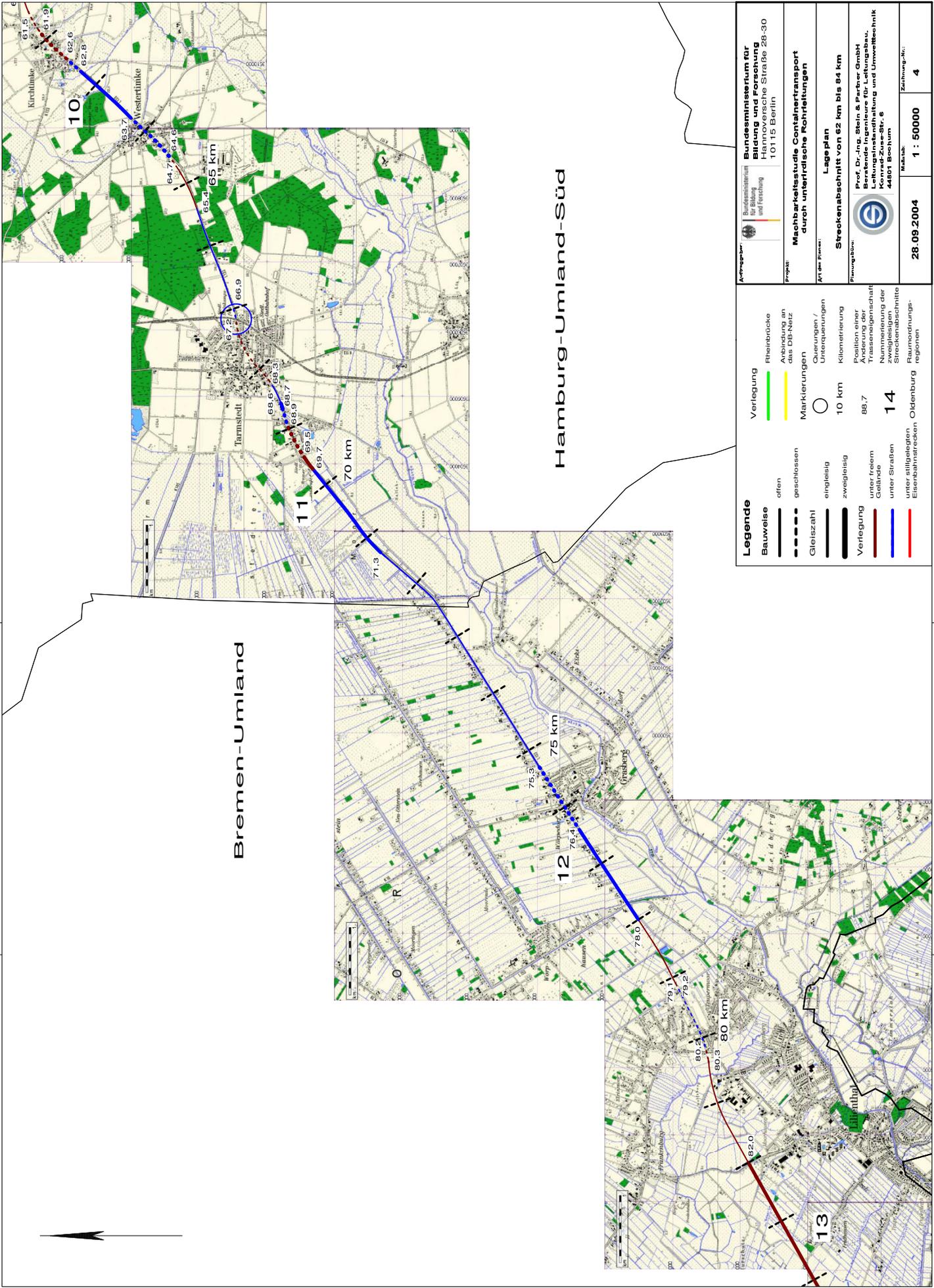
Arbeitsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Röhrlösungen
AT der Pläne:	Lageplan
Planungsphase:	Streckenabschnitt von 10 km bis 42 km
Planungsbüro:	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Lehrstuhl für Stadt- und Verkehrsplanung Konrad-Zuse-Str. 6 44301 Bochum
Maßstab:	1 : 50000
Zeichnungs-Nr.:	28.09.2004
Zeichnung-Nr.:	2

Hamburg-Umland-Süd



	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Röhrlösungen
AT des Planes	Lageplan
Planungsfläche	Streckenabschnitt von 40 km bis 62 km
	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Lehrstuhl für Stadt- und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
28.09.2004	1 : 50000
Mak.Nr.	Zählung.Nr.:
	3

Legende	
Bauweise	Verlegung
offen	Rheinbrücke
geschlossen	Abzweig an das DB-Netz
einseitig	Markierungen
zweigleisig	Überungen / Unterquerungen
unter freiem Gelände	10 km
unter Straßen	88,7
unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	14
	Nummerierung der Streckenabschnitte
	Raumordnungsgebiet

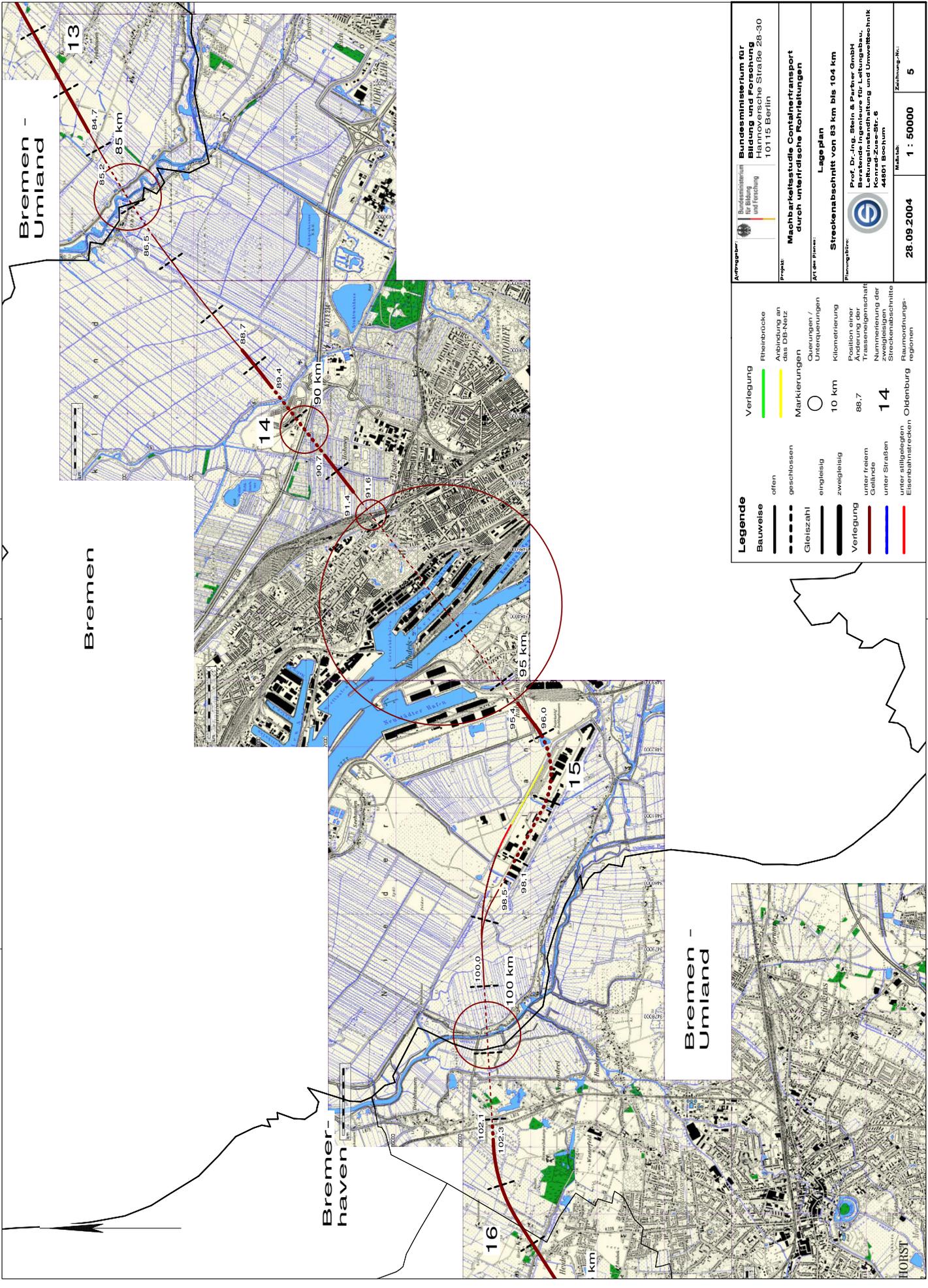


Bremen-Umland

Hamburg-Umland-Süd

	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
	Projekt Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Röhrlösungen
AT des Planes Lageplan	Streckenabschnitt von 62 km bis 84 km
Planungsbüro 	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Lehrstuhl für Stadt- und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
28.09.2004	1 : 50000
Mak.Nr.	Zählung.Nr.:
4	4

Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
— geschlossen	— Abschnitt an das DB-Netz
— eingiebig	○ Markierungen
— zweigiebig	○ Querungen / Unterquerungen
— unter freiem Gelände	— 10 km
— unter Straßen	— 88,7
— unter stillgelegten Eisenbahntrassen Oldenburg	— 14
	— Nummernierung der Streckenabschnitte
	— Raumordnungs-reguliert



Bremen - Umland

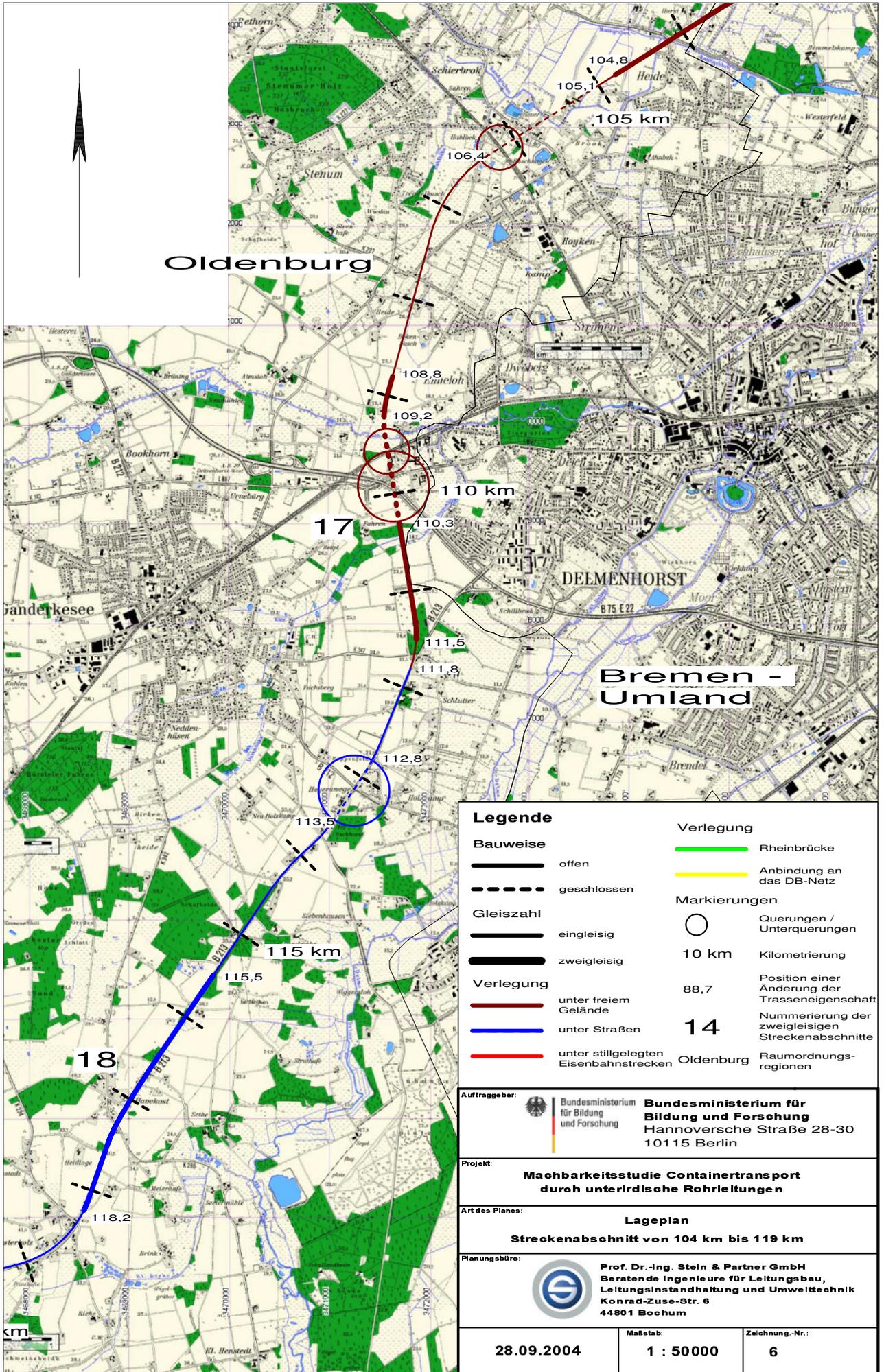
Bremen

Bremerhaven

Bremen - Umland

	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
	Projekt Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Röhrlösungen
AT des Planes Planungsfläche	Lageplan Streckenabschnitt von 83 km bis 104 km
	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Lehrstuhl für Stadt- und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44101 Bochum
28.09.2004	1 : 50000
Mak.Stab	Zeichnung-Nr.: 5

- Legende**
- | | | | | |
|---------------------------------------|--|------------------|-----------------------------|---|
| Bauweise | | Verlegung | | Rheinbrücke |
| offen | | | Arbeitskreis an das DB-Nutz | |
| geschlossen | | | Markierungen | Querungen / Unterquerungen |
| Gleiszahl | | | | Kilometrierung |
| eingleisig | | | 10 km | Position einer Änderung der Trassenbegrenzung |
| zweigleisig | | | 88,7 | Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte |
| Verlegung | | | 14 | Raumordnungsregionen |
| unter freiem Gelände | | | | |
| unter Straßen | | | | |
| unter stillgelegten Eisenbahnstrecken | | | | |



Oldenburg

Bremen - Umland

Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	Oldenburger Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	

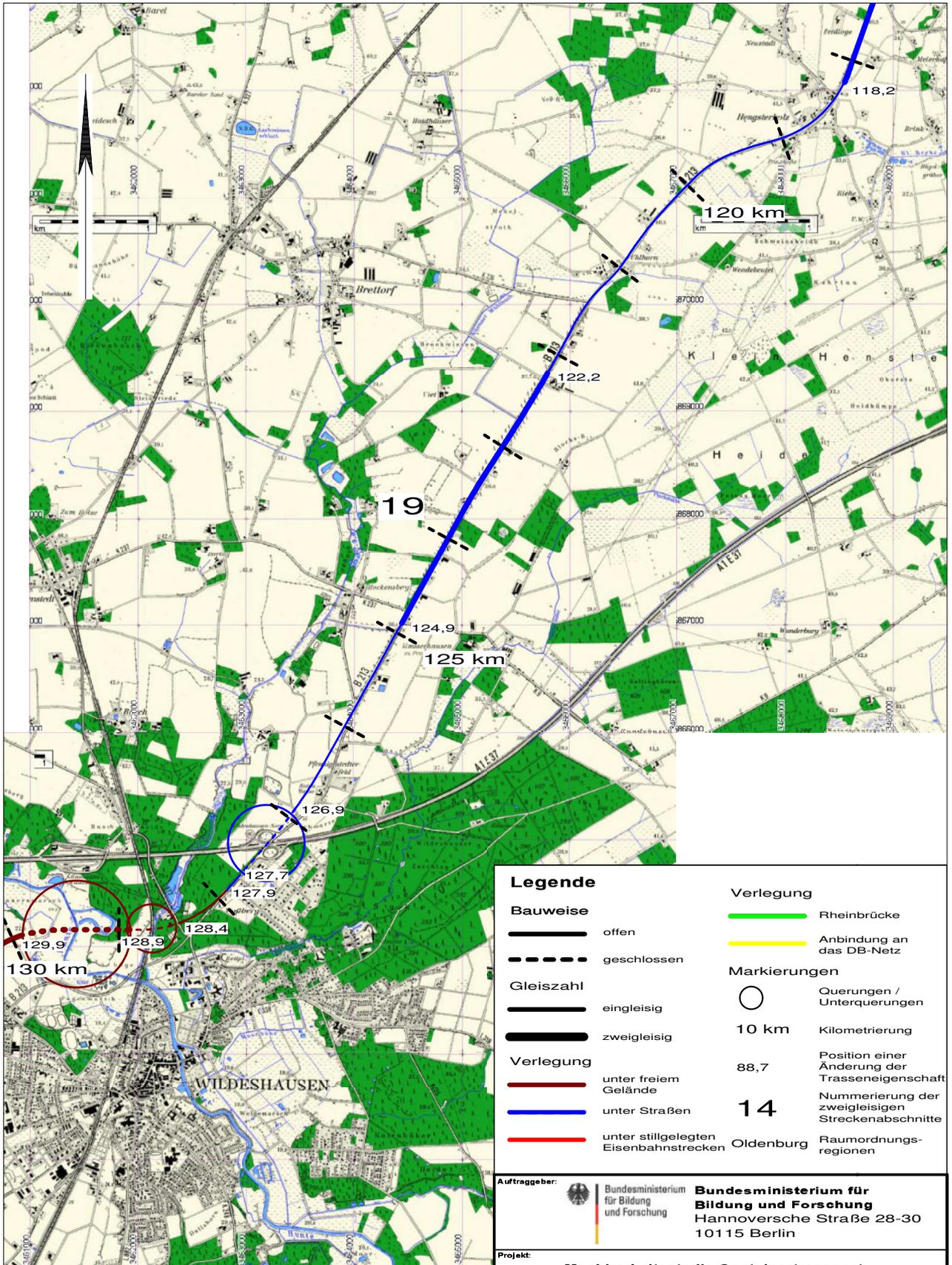
Auftraggeber: **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
 Hannoversche Straße 28-30
 10115 Berlin

Projekt: **Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen**

Art des Planes: **Lageplan**
Streckenabschnitt von 104 km bis 119 km

Planungsbüro: **Prof. Dr.-Ing. Stejn & Partner GmbH**
 Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik
 Konrad-Zuse-Str. 6
 44801 Bochum

28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000	Zeichnung-Nr.: 6
-------------------	---------------------------	-------------------------

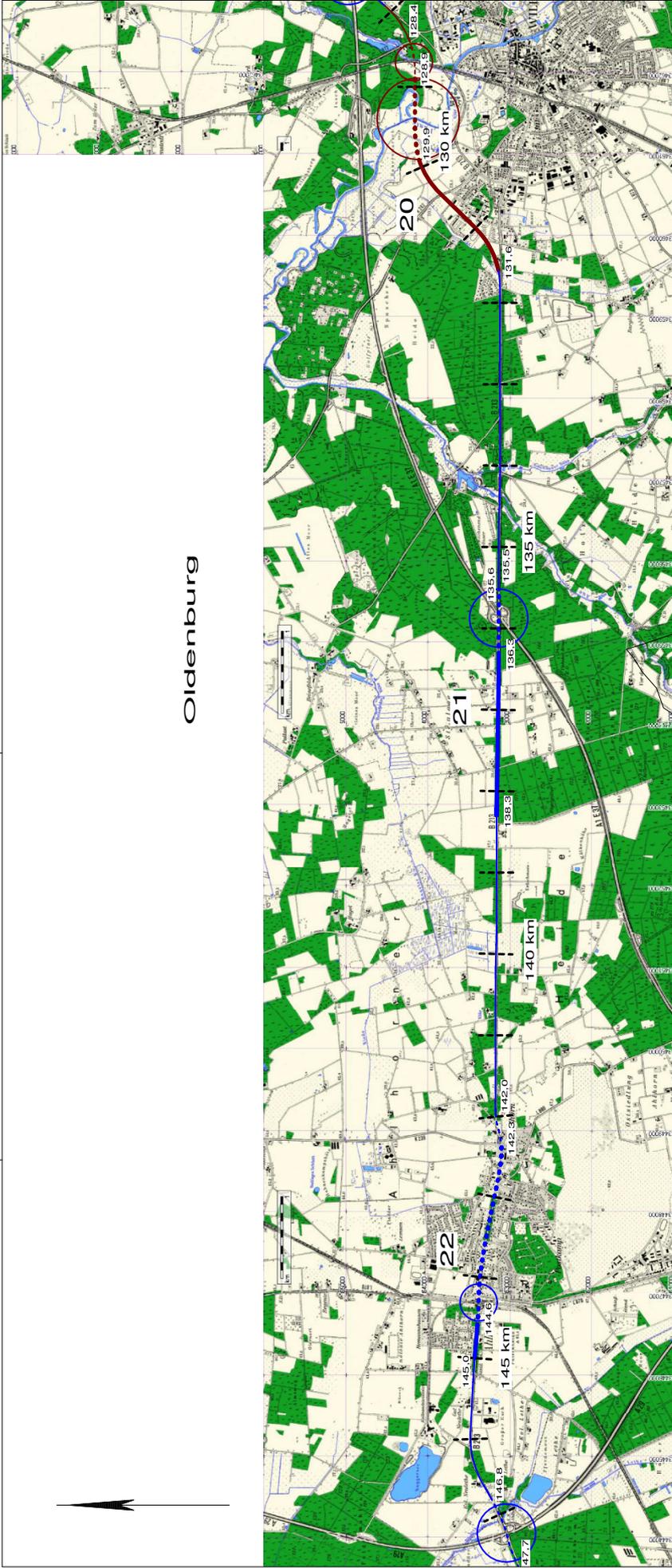


Oldenburg

Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaften
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	Oldenburg Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	
Auftraggeber:	 Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
Art des Planes:	Lageplan Streckenabschnitt von 118 km bis 130 km
Planungsbüro:	 Prof. Dr.-Ing. Stejn & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000
	Zeichnung-Nr.: 7

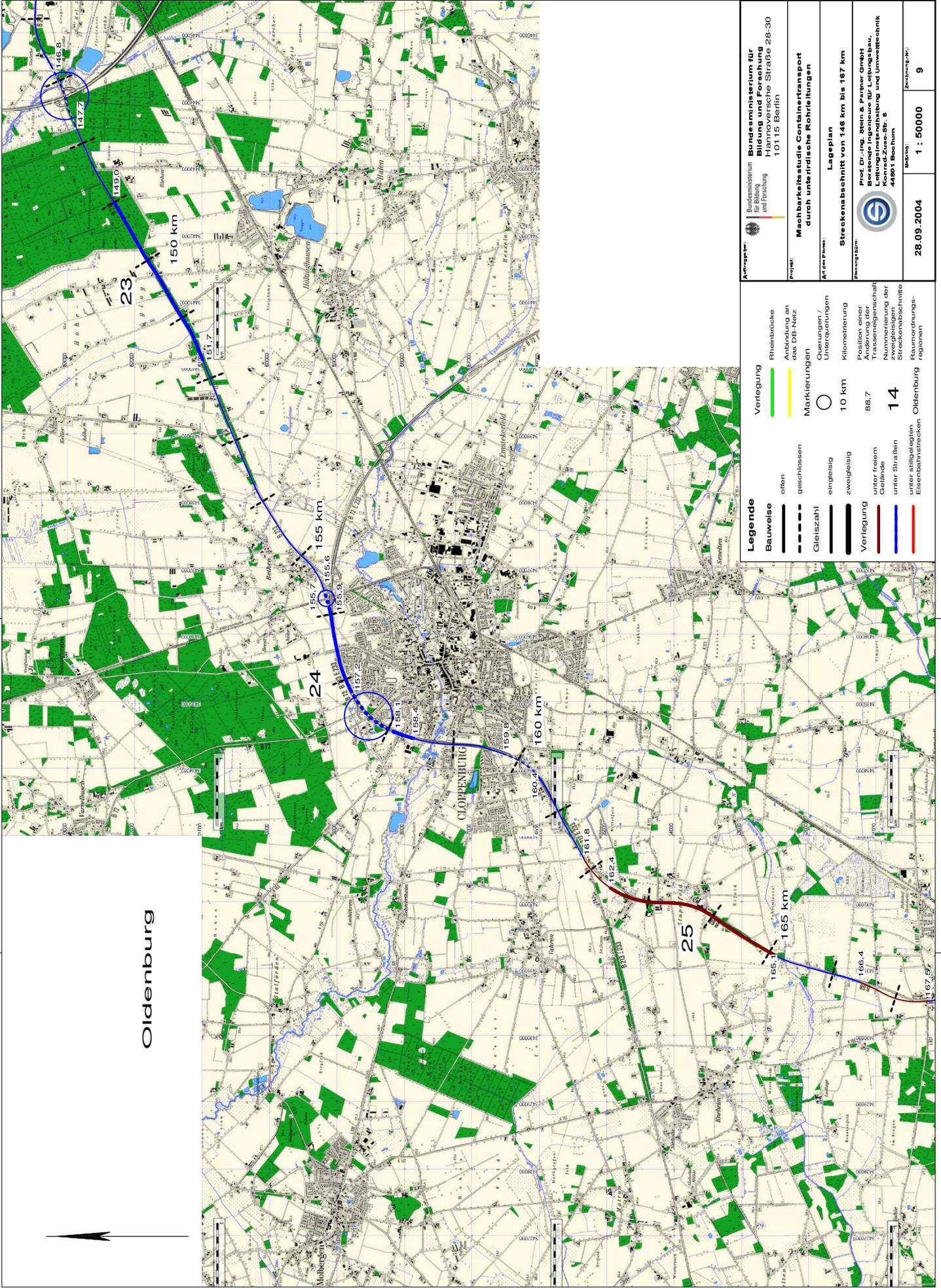
Oldenburg

Osnabrück



Antraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoverische Straße 28-30 10115 Berlin	
Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen	
Arbeitsphase: Lageplan	
Planungsziele: Streckenabschnitt von 128 km bis 147 km	
Planungsinhalt: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Geotechnik, Baugrunduntersuchung und Umweltgeotechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum	
Verlegung Rheinbrücke Anbindung an das DB-Netz Markierungen Querungen / Unterquerungen 10 km Position einer Trassenanlegestelle 88,7 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte Raumordnungsregionen	Legende Bauweise - offen - geschlossen Gleiszahl - eingleisig - zweigleisig Verlegung - unter freiem Gelände - unter Straßen - unter stillgelegten Eisenbahnstrecken Oldenburg Osnabrück
Verlegung Rheinbrücke Anbindung an das DB-Netz Markierungen Querungen / Unterquerungen 10 km Position einer Trassenanlegestelle 88,7 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte Raumordnungsregionen	Legende Bauweise - offen - geschlossen Gleiszahl - eingleisig - zweigleisig Verlegung - unter freiem Gelände - unter Straßen - unter stillgelegten Eisenbahnstrecken Oldenburg Osnabrück

28.09.2004 Blatt Nr.:	1 : 50000 Zeichnung Nr.:
8	8



Oldenburg

Antraggeber:  Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Art der Planung: Lageplan

Planungsphase: Streckenabschnitt von 148 km bis 167 km

Planungsbüro:  Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Anlagenplanung, Baugewerbe, Geotechnik, Umwelttechnik
Kornel-Zoostr. 6
44801 Bochum

Stand: 28.09.2004

Blatt: 1 : 50000

Zeichnungs-Nr.: 9

Verlegung

- Rheinbrücke
- Anbindung an das DB-Netz

Legende

Bauweise

- offen
- geschlossen

Gleiszahl

- einleisig
- zweigleisig

Verlegung

- unter freiem Gelände
- unter Straßen
- unter altgelegenen Eisenbahnstrecken

Markierungen

- Quertungen / Unterquerungen
- 10 km

Position einer Trassenbegrenzung

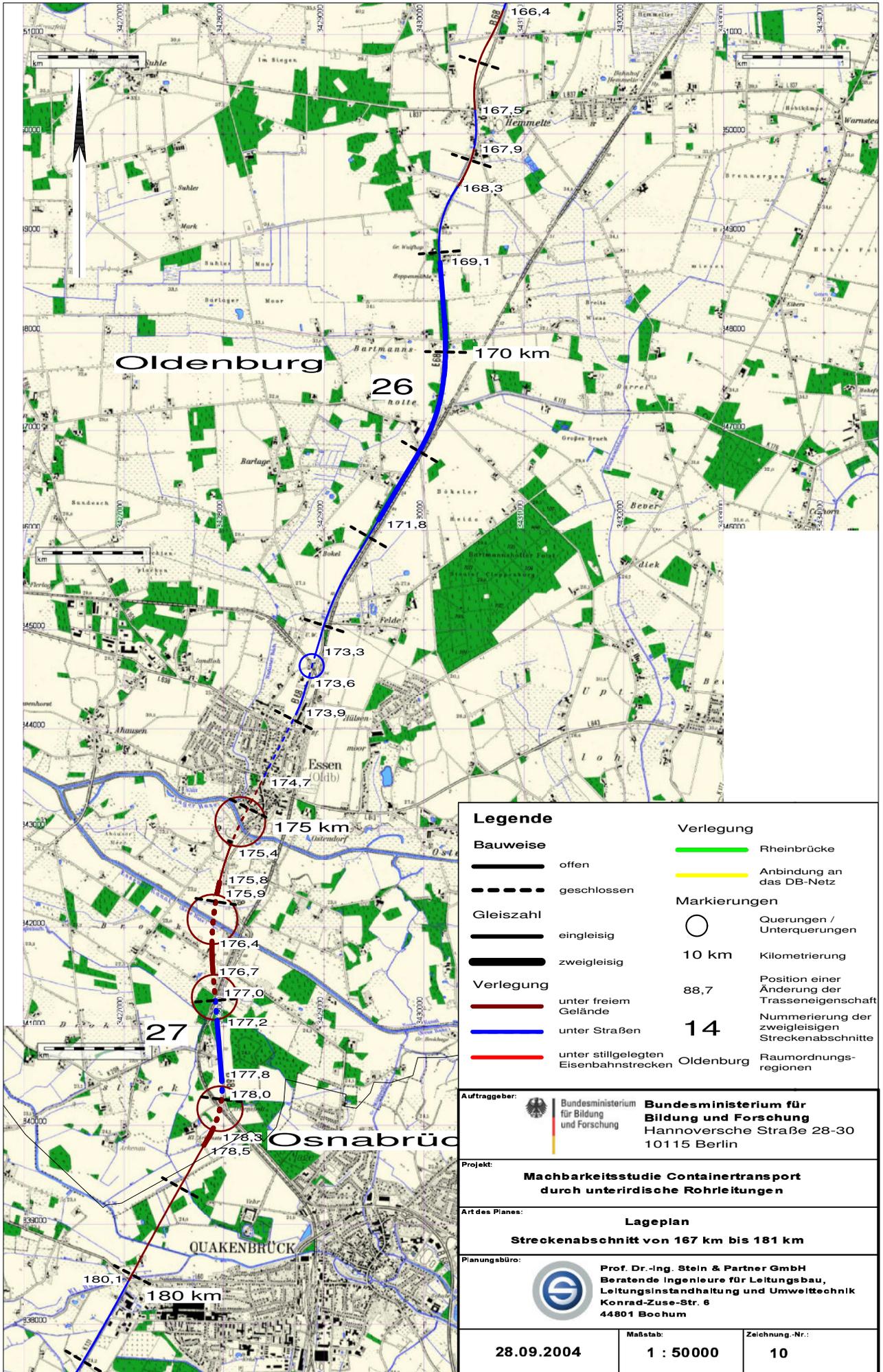
88,7

Nummerierung der Streckenabschnitte

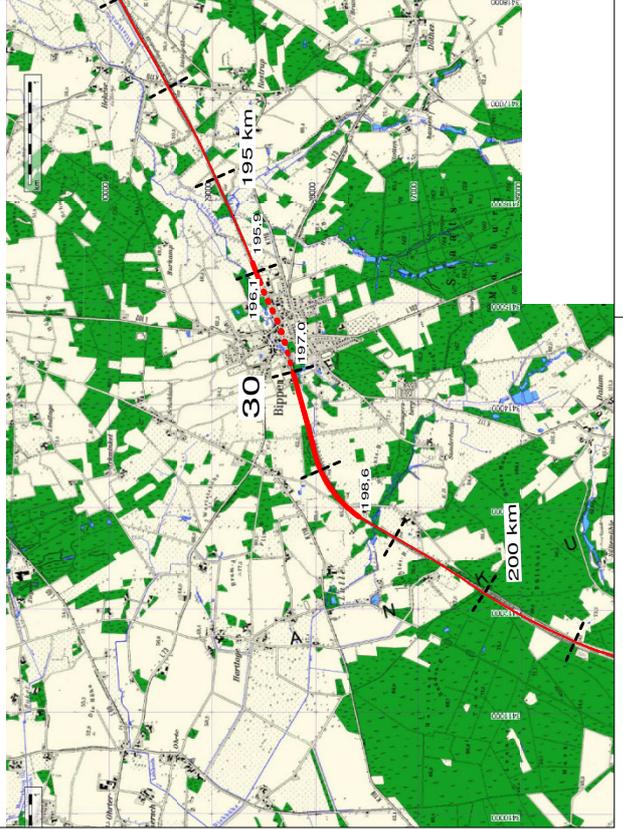
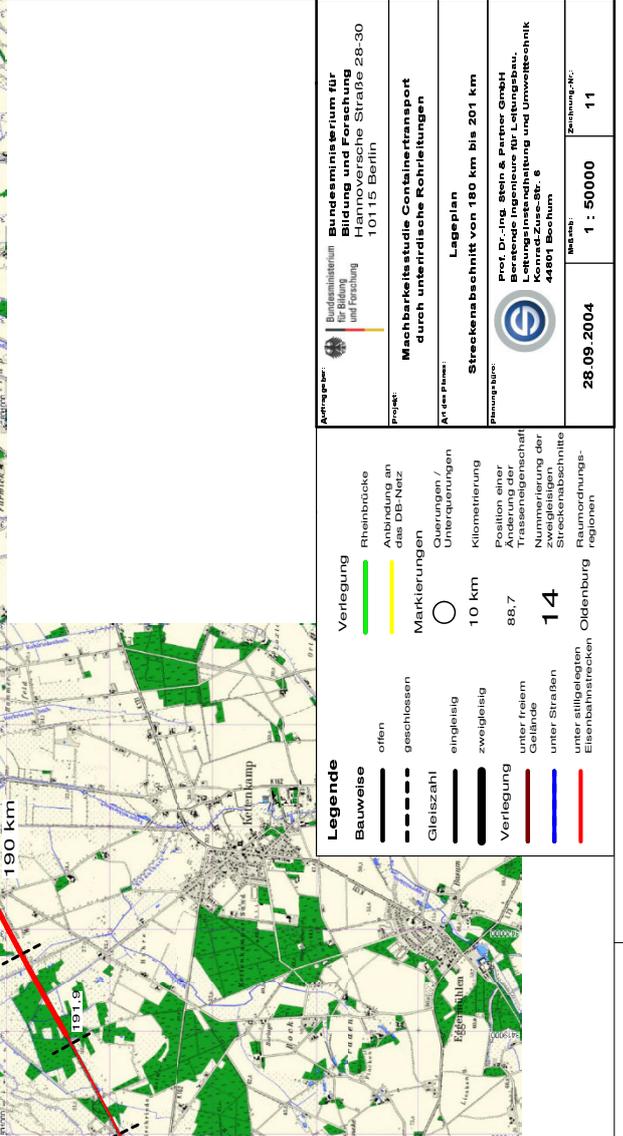
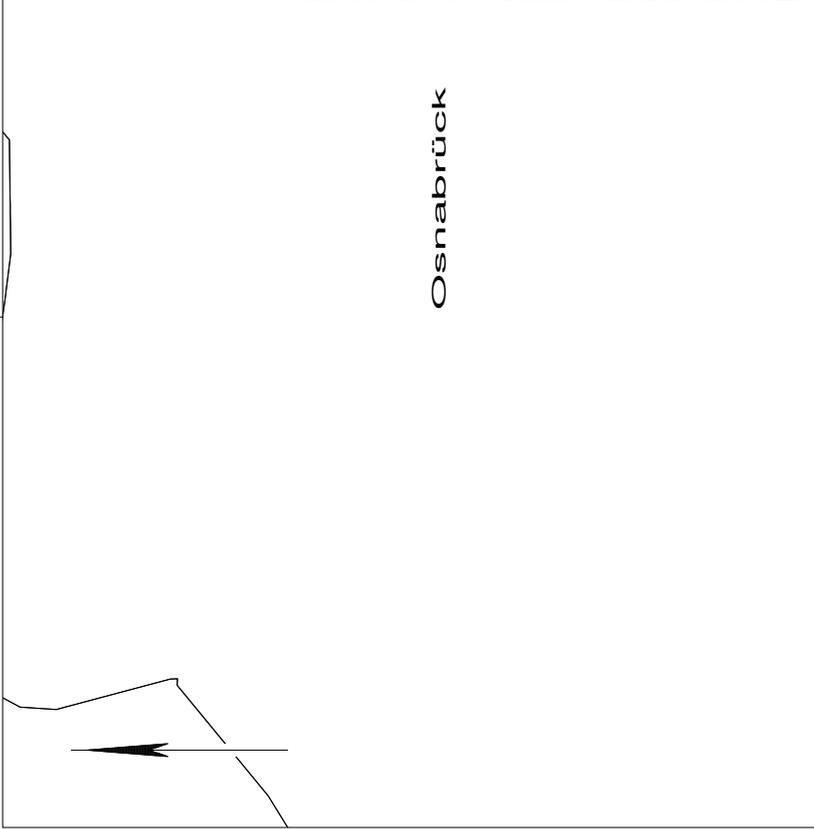
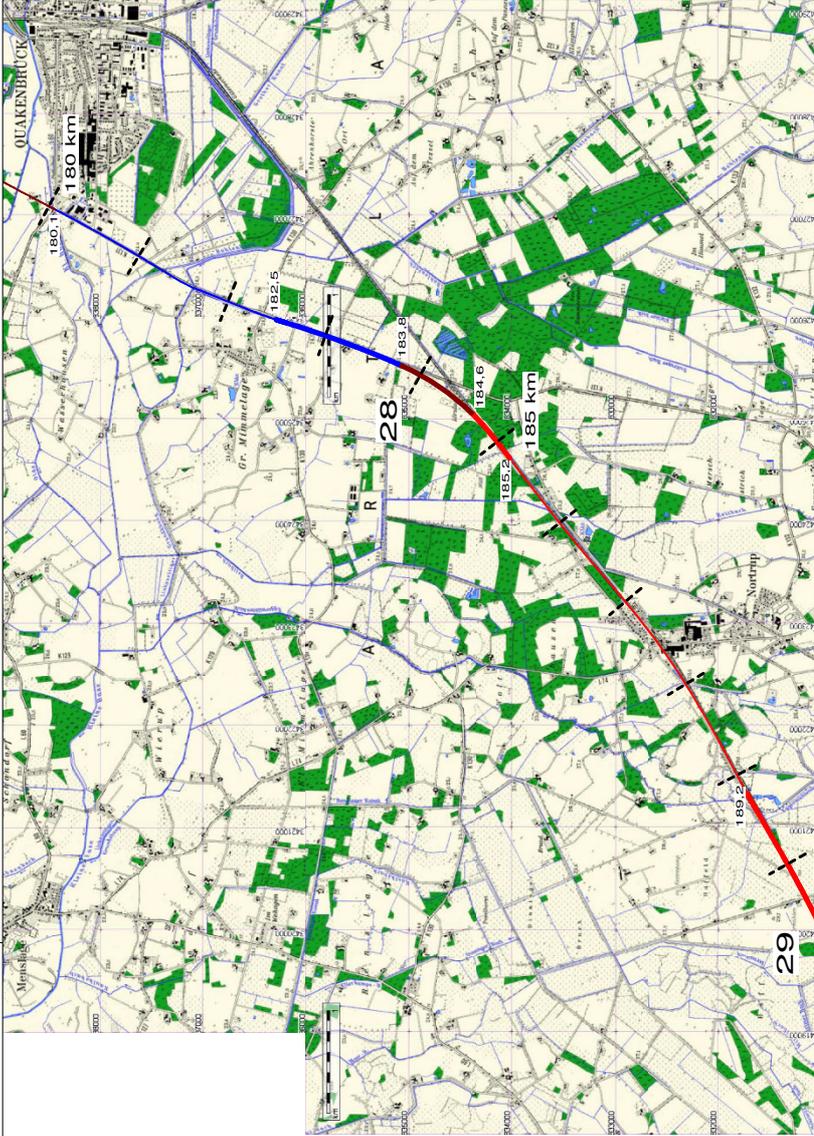
14

Raumordnungsregionen

Oldenburg



Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	Osnabrück Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	
Auftraggeber:	 Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
Art des Planes:	Lageplan Streckenabschnitt von 167 km bis 181 km
Planungsbüro:	 Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000
	Zeichnung-Nr.: 10



Osnabrück

Verlegung

- Rheinbrücke
- Anbindung an das DB-Netz
- Querungen / Unterquerungen
- Kilometerierung
- Position einer Triasengrenzfahle
- Nummerierung der Streckenabschnitte

Legende

Bauweise

- offen
- geschlossen
- einleisig
- zweigleisig
- unter freiem Gelände
- unter Straßen
- unter stillgelegten Eisenbahnstrecken

Markierungen

- 10 km
- 88,7
- 14

Verlegung

- unter freiem Gelände
- unter Straßen
- unter stillgelegten Eisenbahnstrecken

Streckenabschnitt von 180 km bis 201 km

Legenplan

Streckenabschnitt von 180 km bis 201 km

Planungsbüro: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Leitungs- und Anlagenbau
Kornel-Zoo-Bach 8
44801 Bochum

Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Antraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Datum: 28.09.2004

Skala: 1 : 50000

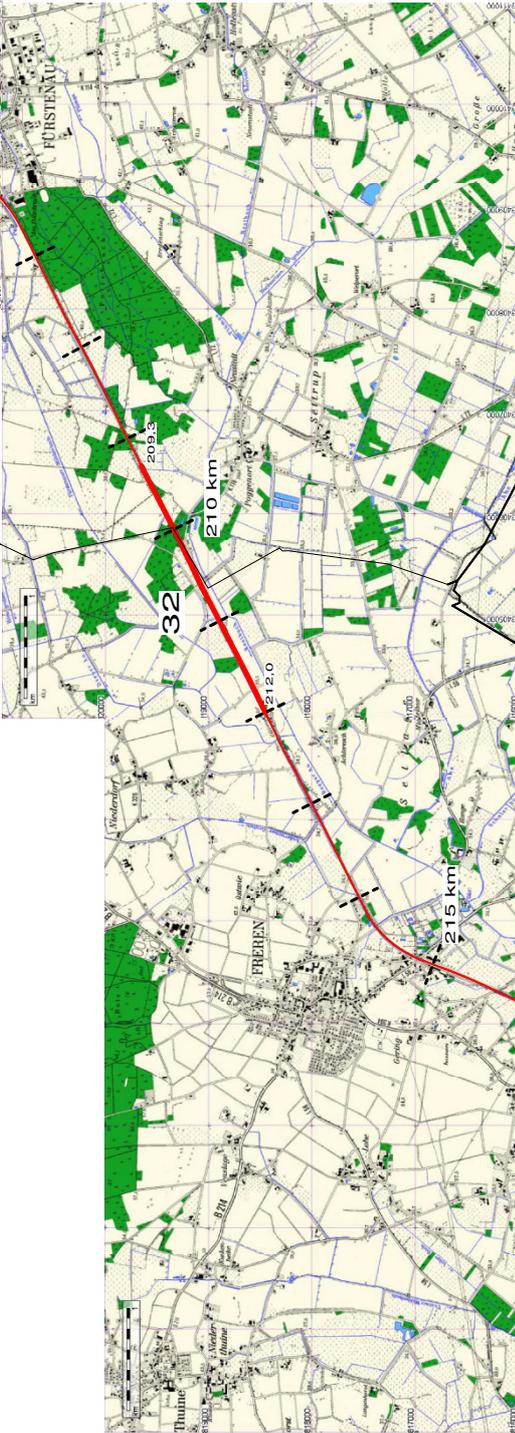
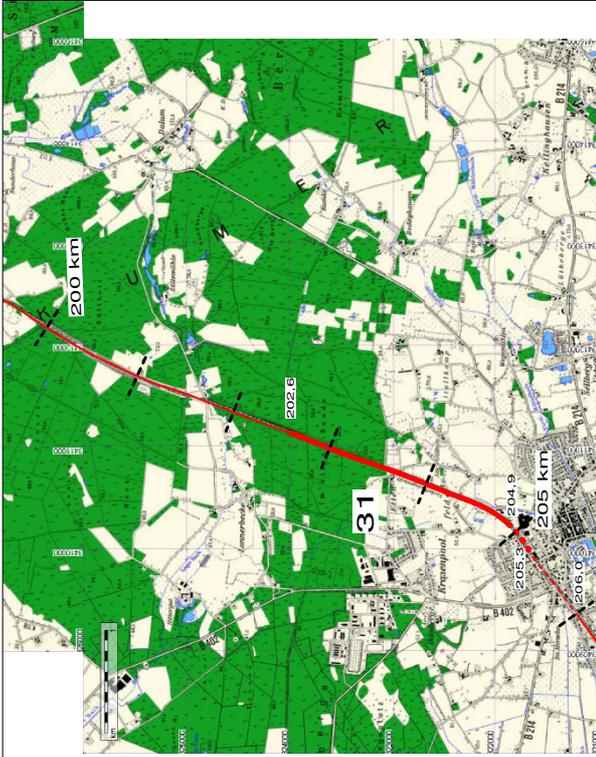
Blatt: 11



Emsland

Osnabrück

Münster



Legende

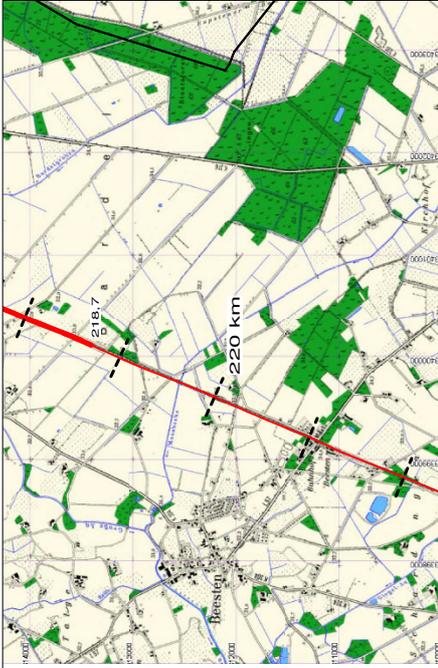
Bauweise	offen	geschlossen	
Gleiszahl	einleisig	zweigleisig	
Verlegung	unter freiem Gelände	unter Straßen	unter stillgelegten Eisenbahnstrecken

Verlegung	Rheinbrücke
	Anbindung an das DB-Netz
Markierungen	Querungen / Unterquerungen
	10 km
	88,7
	14
	Oldenburg

Antraggeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
Art der Planung:	Lageplan
Planungsfläche:	Streckenabschnitt von 200 km bis 219 km
Planungsbüro:	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Geotechnik, Planung und Umwelttechnik Konrad-Zuseckstr. 6 44801 Bochum
Datum:	28.09.2004
Skala:	1 : 50000
Blattgröße:	12



Emsland



Legende

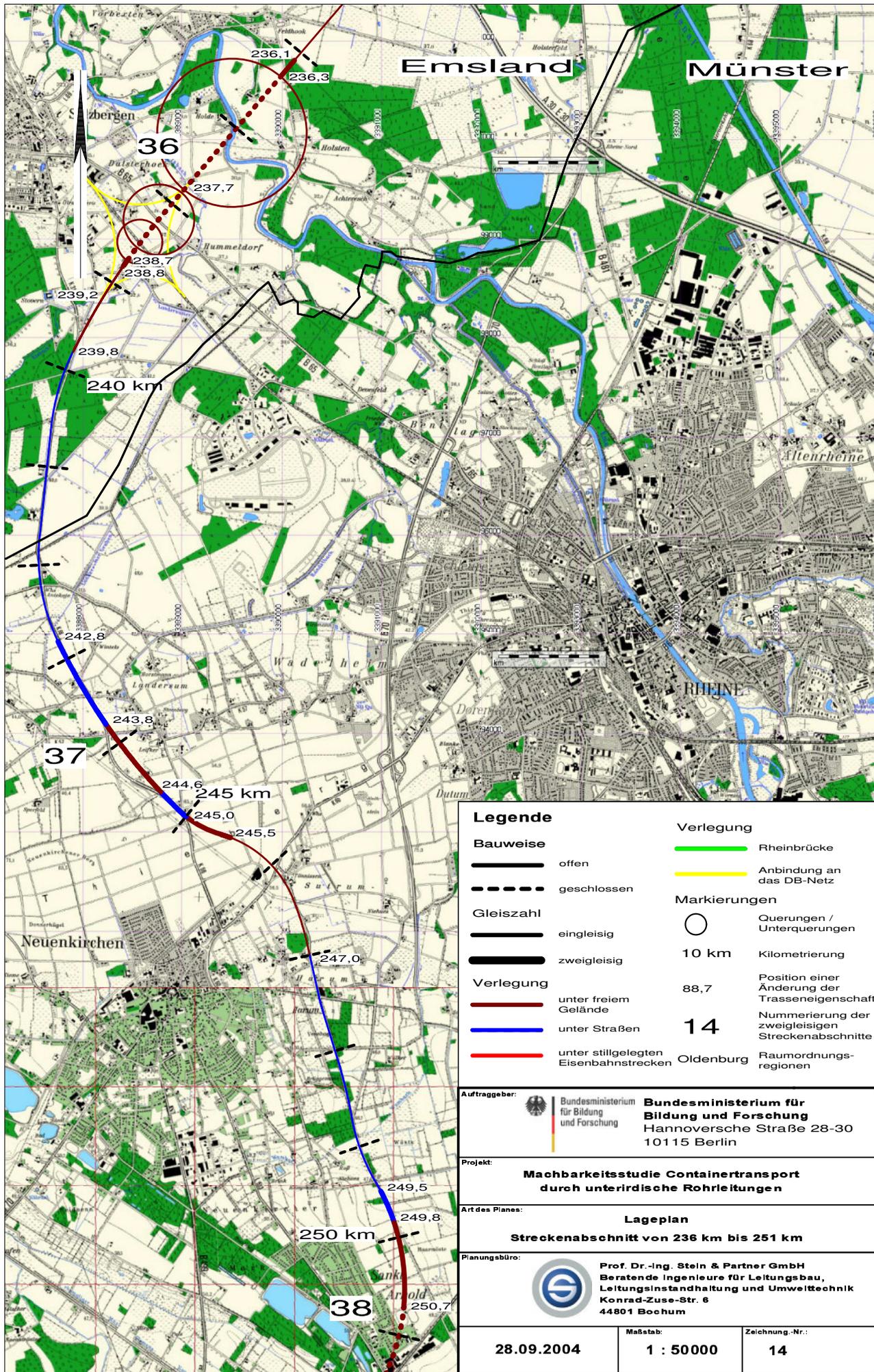
Bauweise	Verlegung Rheinbrücke
offen	Anbindung an das DE-Netz
geschlossenen	Markierungen
einzellig	Querungen / Unterquerungen
zweigleisig	10 km
unter freiem Gelände	86,7
unter siltgelegten unter Straßen	14
Eisenbahnstrecken	Eisenbahnstrecken Oldenburg

Verlegung

- Position einer Trassenbegrenzung
- Änderung der Trassenbegrenzung
- Nummerierung der Streckenabschnitte
- Raumordnungsregionen

Antraggeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
AK der Phase:	Lageplan
Planungsbüro:	Streckenabschnitt von 218 km bis 288 km
	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Sanitär- und Umwelttechnik Kornackerstraße 6 44801 Bochum
Datum:	28.09.2004
Blattzahl:	1 : 50000
Blattgröße:	13





Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	Oldenburg Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	

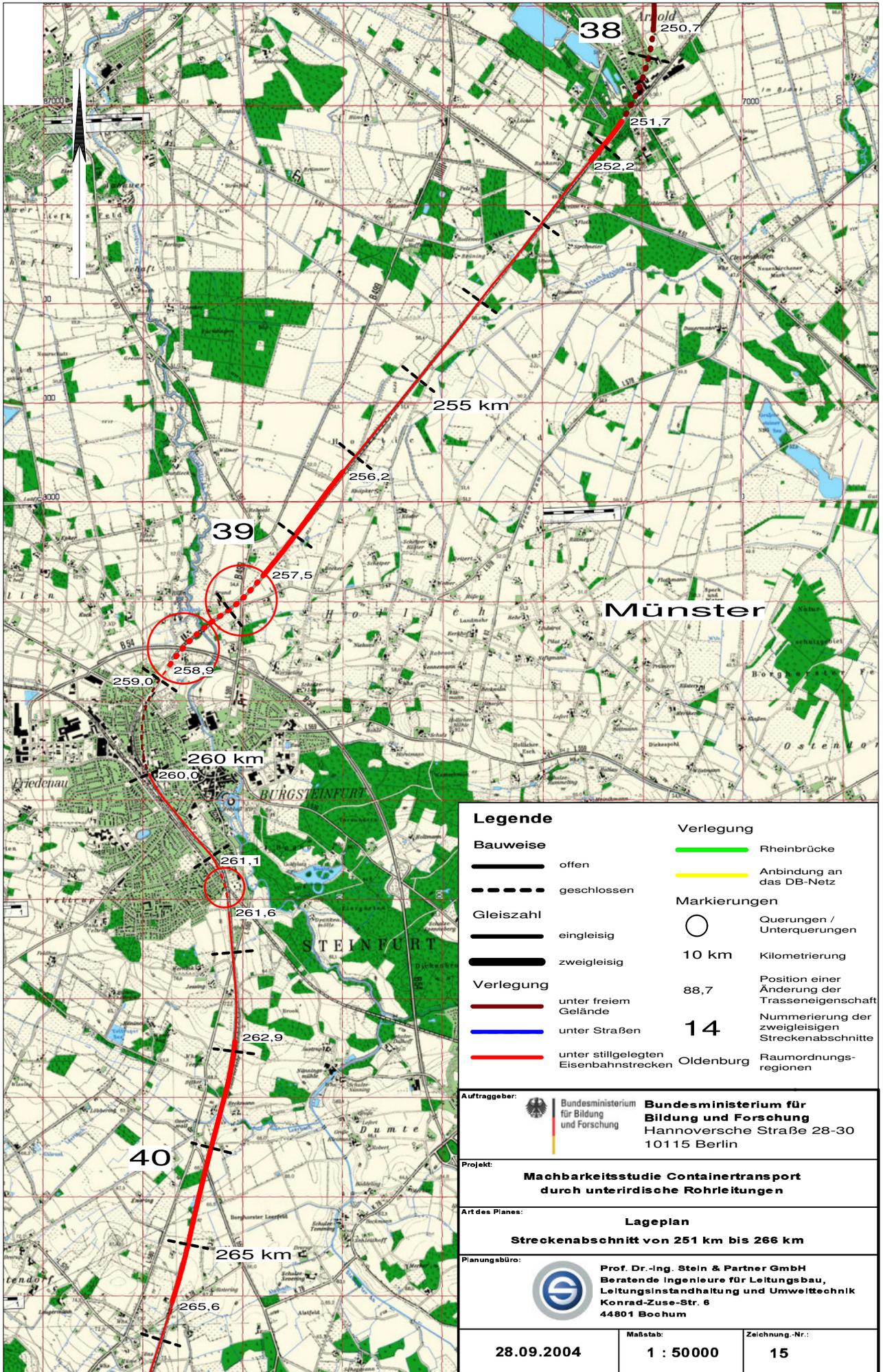
Auftraggeber:  **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
 Hannoversche Straße 28-30
 10115 Berlin

Projekt: **Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen**

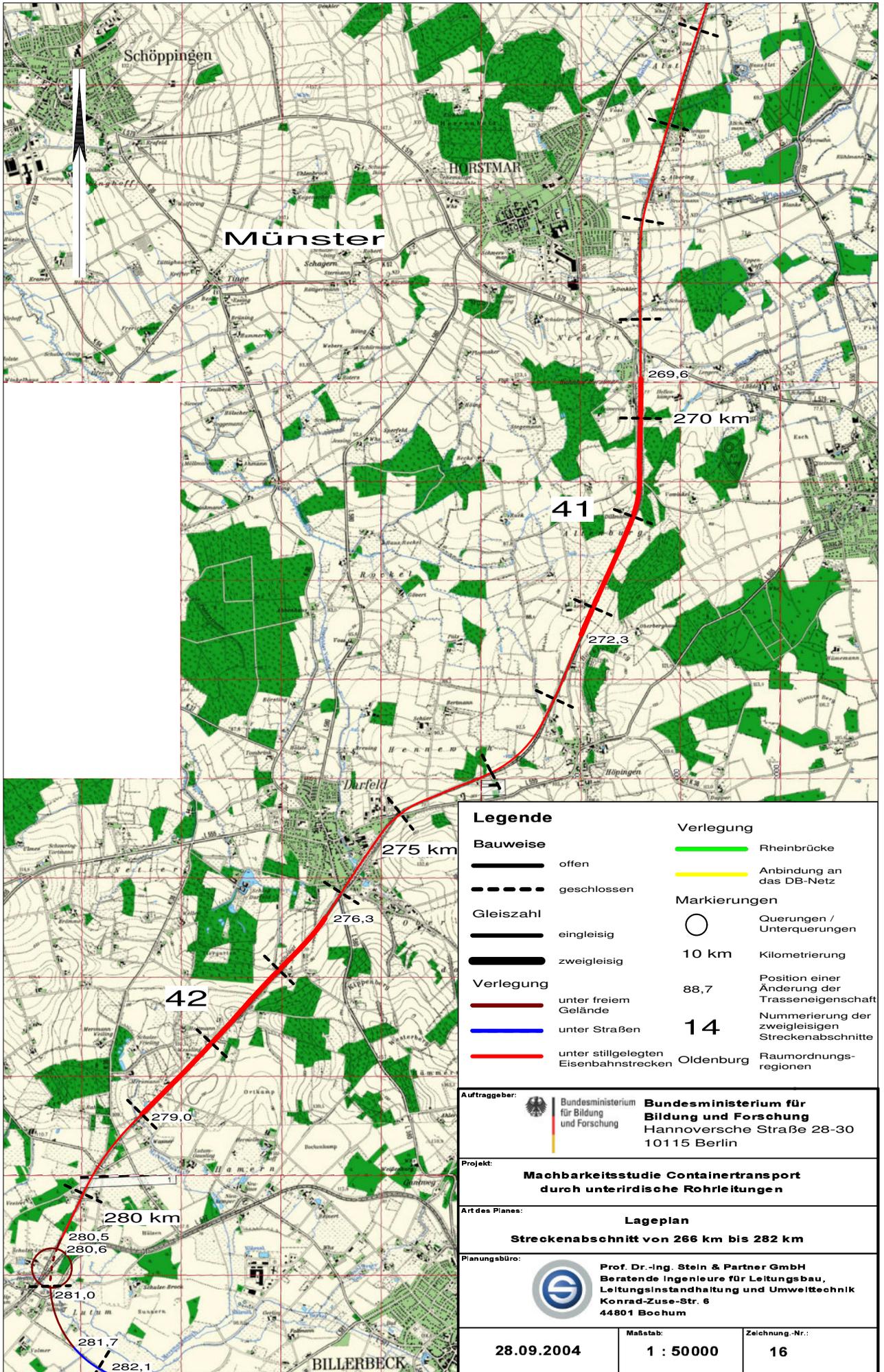
Art des Planes: **Lageplan**
Streckenabschnitt von 236 km bis 251 km

Planungsbüro:  **Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH**
 Beratende Ingenieure für Leitungsbau,
 Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik
 Konrad-Zuse-Str. 6
 44801 Bochum

28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000	Zeichnung-Nr.: 14
-------------------	------------------------------	-----------------------------



Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	14 Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	Oidenburg
Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin	
Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen	
Art des Planes: Lageplan Streckenabschnitt von 251 km bis 266 km	
Planungsbüro: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum	
28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000
	Zeichnung-Nr.: 15



Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	14 Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	Oidenburg

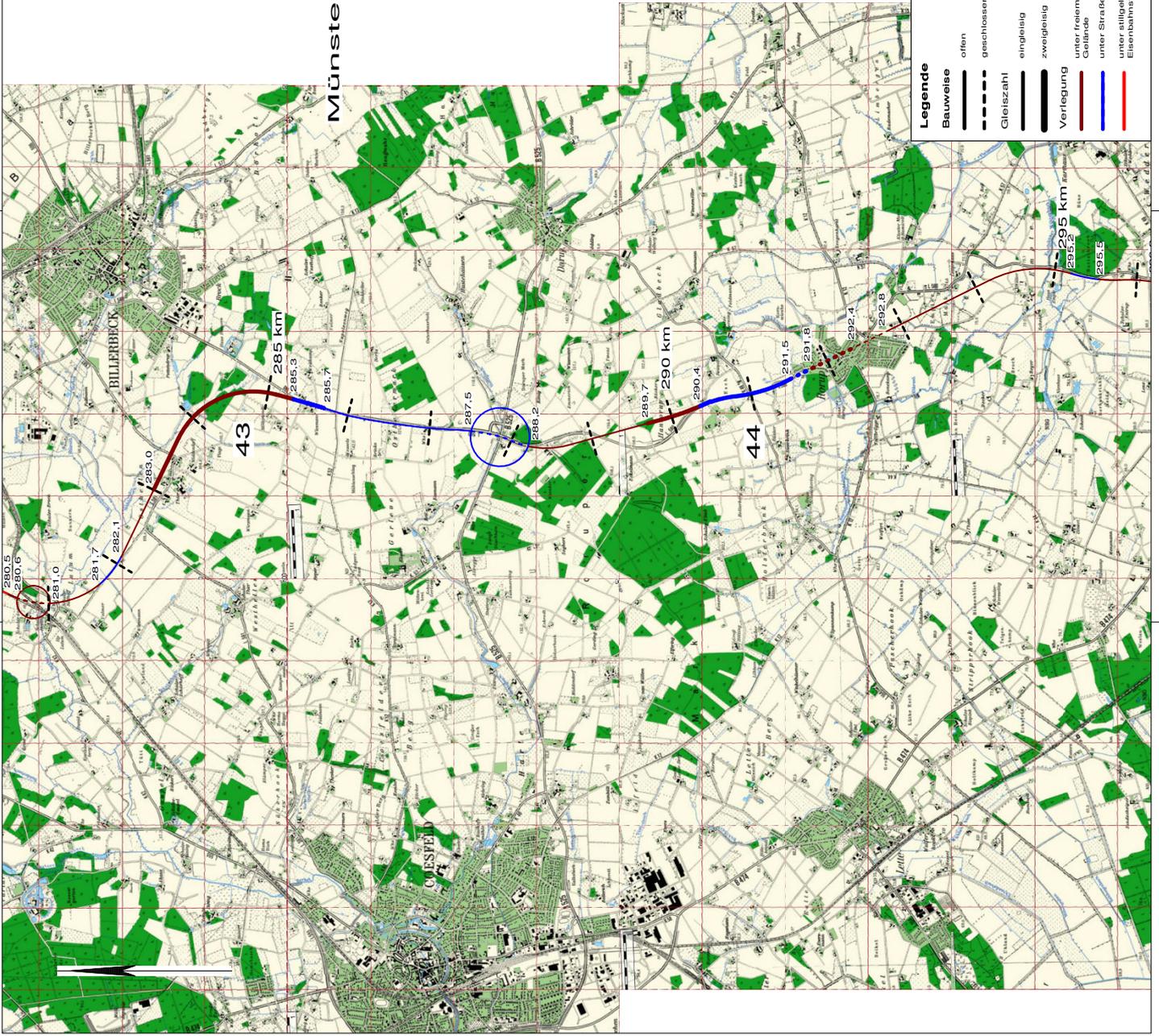
Auftraggeber:  **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Projekt: **Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen**

Art des Planes: **Lageplan**
Streckenabschnitt von 266 km bis 282 km

Planungsbüro:  **Prof. Dr.-Ing. Stejn & Partner GmbH**
Beratende Ingenieure für Leitungsbau,
Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik
Konrad-Zuse-Str. 6
44801 Bochum

28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000	Zeichnung-Nr.: 16
-------------------	------------------------------	-----------------------------

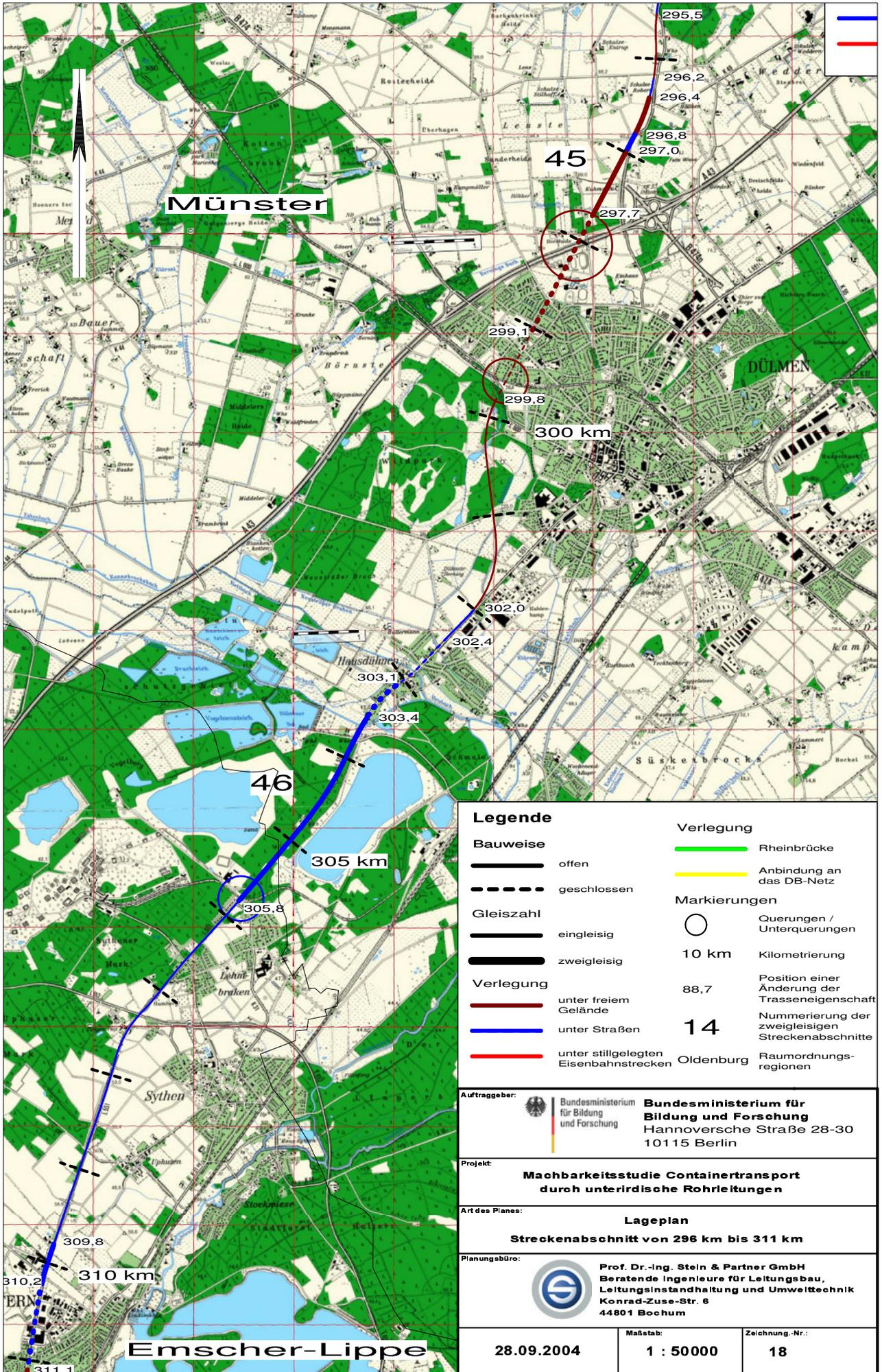


Legende

- Bauweise**
- offen
 - geschlossen
- Gleiszahl**
- einleilig
 - zweigleisig
- Verlegung**
- unter freiem Gelände
 - unter Straßen
 - unter stützgeleiteten Eisenbahnstrecken

- Verlegung**
- Rheinbrücke
 - Anbindung an das DB-Netz
- Markierungen**
- Querungen / Unterquerungen
 - 10 km
- Position einer Trassenvariante**
- 88,7
- 14**
- Raumordnungsregionen

	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
	Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen
Art der Planung: Lageplan	Streckenabschnitt von 281 km bis 298 km
Planungsbüro: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Ingenieurbüro für Leitungsbau, Leitungsbau, Leitungsbau und Umwelttechnik Konrad-Zuseckstr. 6 44801 Bochum	Stand: 28.09.2004
Vermaßstab: 1 : 50000	Zeichnungs-Nr.: 17



Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	14 Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	Oidenburg

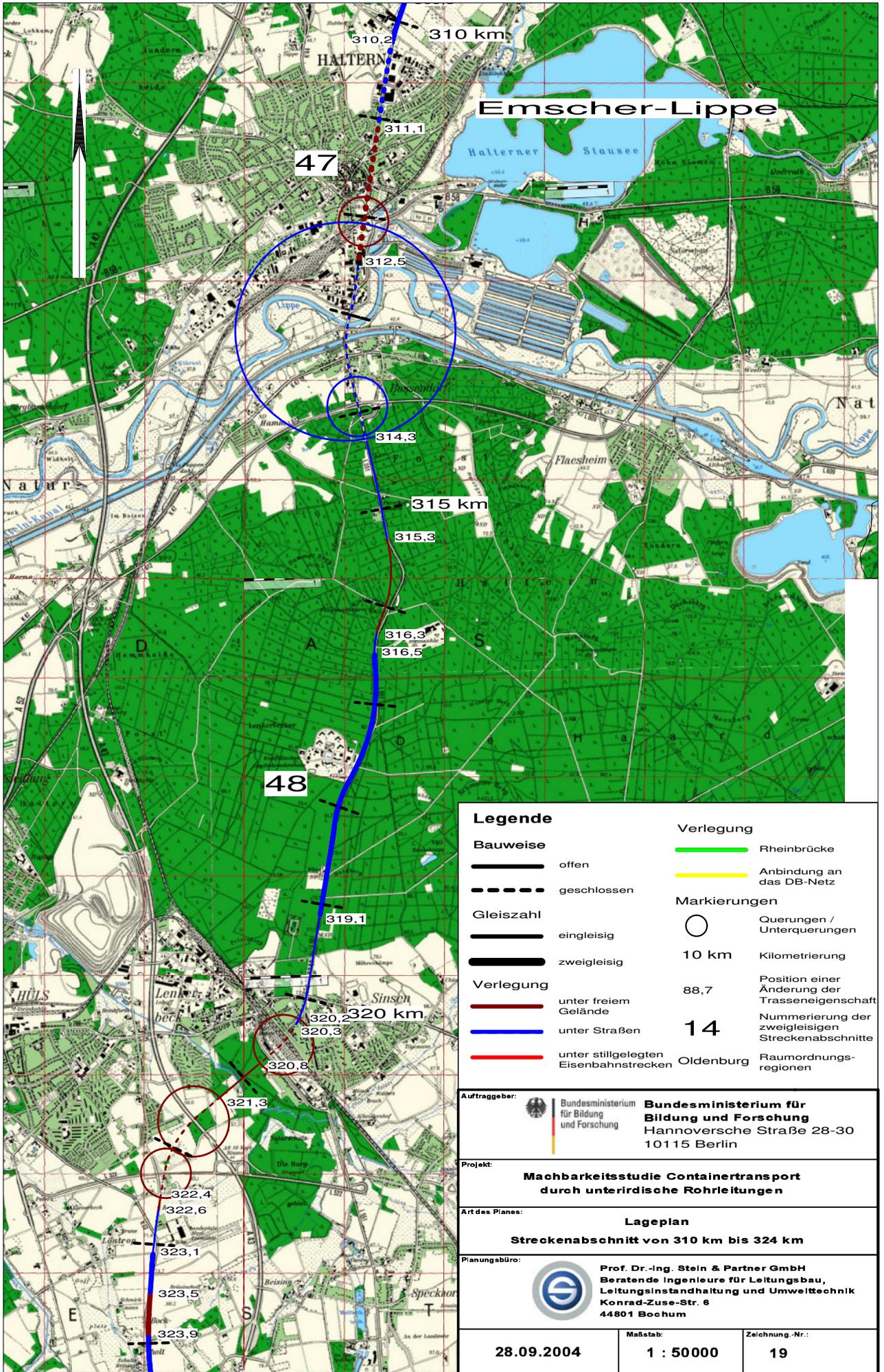
Auftraggeber:  **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
Bundesministerium für Bildung und Forschung
 Hannoversche Straße 28-30
 10115 Berlin

Projekt: **Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen**

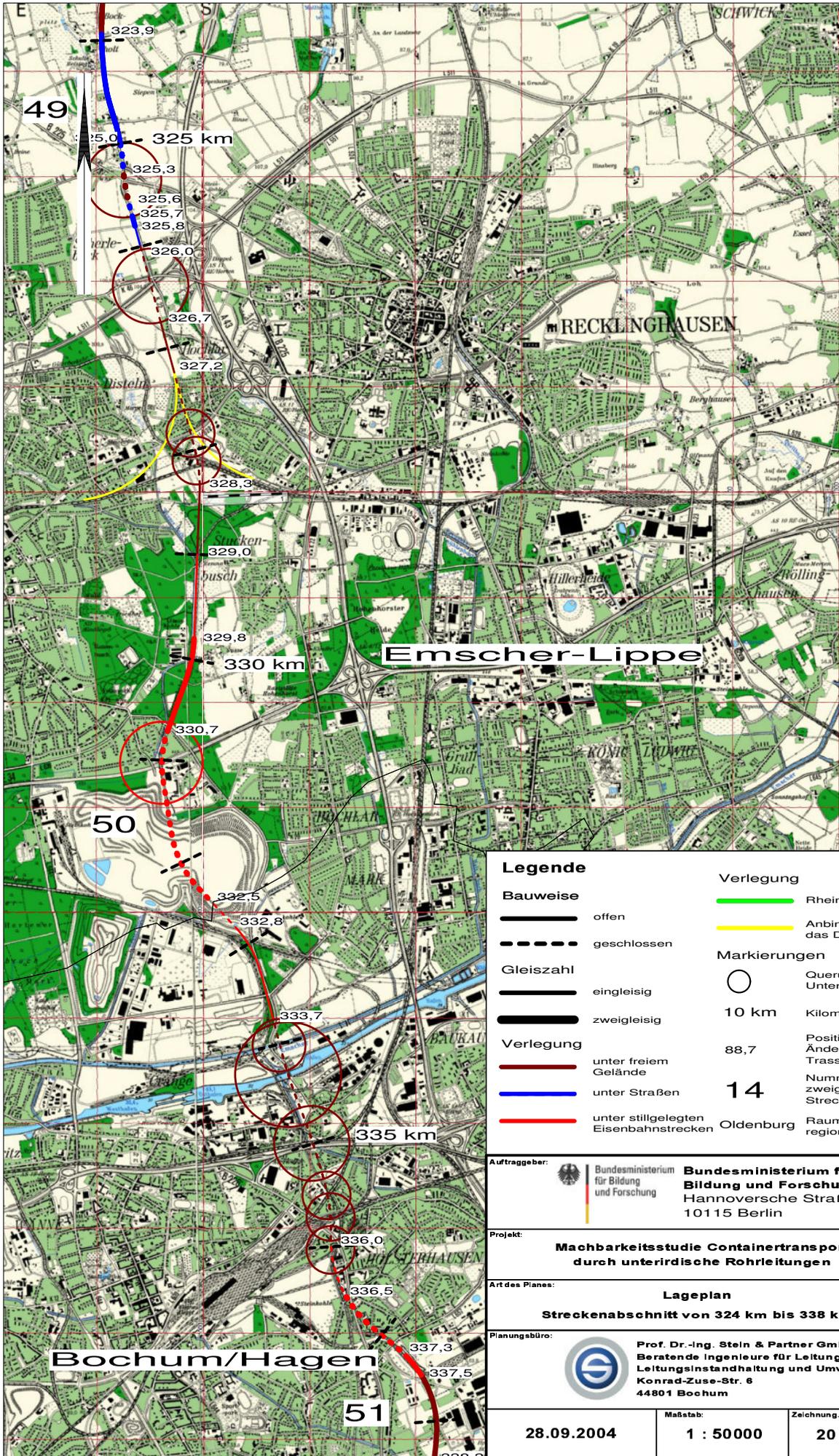
Art des Planes: **Lageplan**
Streckenabschnitt von 296 km bis 311 km

Planungsbüro:  **Prof. Dr.-Ing. Stejn & Partner GmbH**
 Beratende Ingenieure für Leitungsbau,
 Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik
 Konrad-Zuse-Str. 6
 44801 Bochum

28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000	Zeichnung-Nr.: 18
-------------------	------------------------------	-----------------------------



Legende	
Bauweise	Verlegung
— offen	— Rheinbrücke
- - - geschlossen	— Anbindung an das DB-Netz
Gleiszahl	Markierungen
— eingleisig	○ Querungen / Unterquerungen
— zweigleisig	10 km Kilometrierung
Verlegung	88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
— unter freiem Gelände	14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
— unter Straßen	Oldenburg Raumordnungsregionen
— unter stillgelegten Eisenbahnstrecken	
Auftraggeber:	
	Bundesministerium für Bildung und Forschung Hannoversche Straße 28-30 10115 Berlin
Projekt:	
Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen	
Art des Planes:	
Lageplan Streckenabschnitt von 310 km bis 324 km	
Planungsbüro:	
	Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik Konrad-Zuse-Str. 6 44801 Bochum
28.09.2004	Maßstab: 1 : 50000
	Zeichnung-Nr.: 19



49

325,0 - 325 km

325,3

325,6

325,7

325,8

326,0

326,7

327,2

328,3

329,0

329,8

330,7

332,5

332,8

333,7

336,0

336,5

337,3

337,5

338,3

50

Emscher-Lippe

Bochum/Hagen

51

Legende

Bauweise

- offen
- - - geschlossen

Gleiszahl

- eingleisig
- zweigleisig

Verlegung

- unter freiem Gelände
- unter Straßen
- unter stillgelegten Eisenbahnstrecken

Verlegung

- Rheinbrücke
- Anbindung an das DB-Netz

Markierungen

- Querungen / Unterquerungen
- 10 km Kilometrierung
- 88,7 Position einer Änderung der Trasseigenschaft
- 14 Nummerierung der zweigleisigen Streckenabschnitte
- Oidenburg Raumordnungsregionen

Auftraggeber:



Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Projekt:

Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Art des Planes:

Lageplan
Streckenabschnitt von 324 km bis 338 km

Planungsbüro:

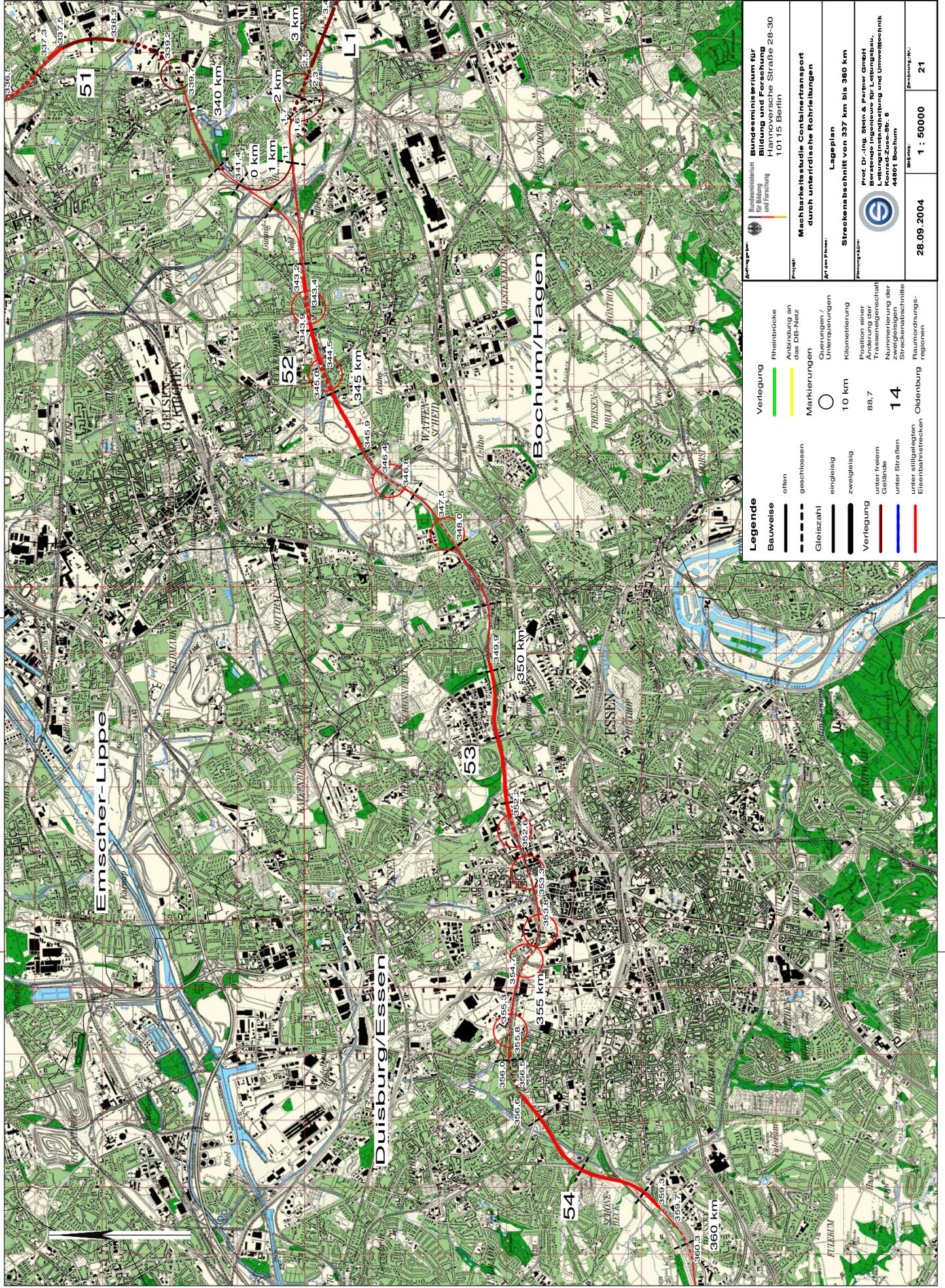


Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik
Konrad-Zuse-Str. 6
44801 Bochum

28.09.2004

Maßstab: 1 : 50000

Zeichnung-Nr.: 20



Verlegung

- Rheinbrücke
- Anbindung an das DB-Netz
- Querungen / Unterquerungen
- Markierungen
- 10 km

Bauweise

- offen
- geschlossen
- eingleisig
- zweigleisig
- unter freiem Gelände
- unter Straßen

Verlegung

- unter allfälligen Eisenbahnstrecken
- Oldenburg
- Raumordnungsregionen

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Art der Planung: Lageplan

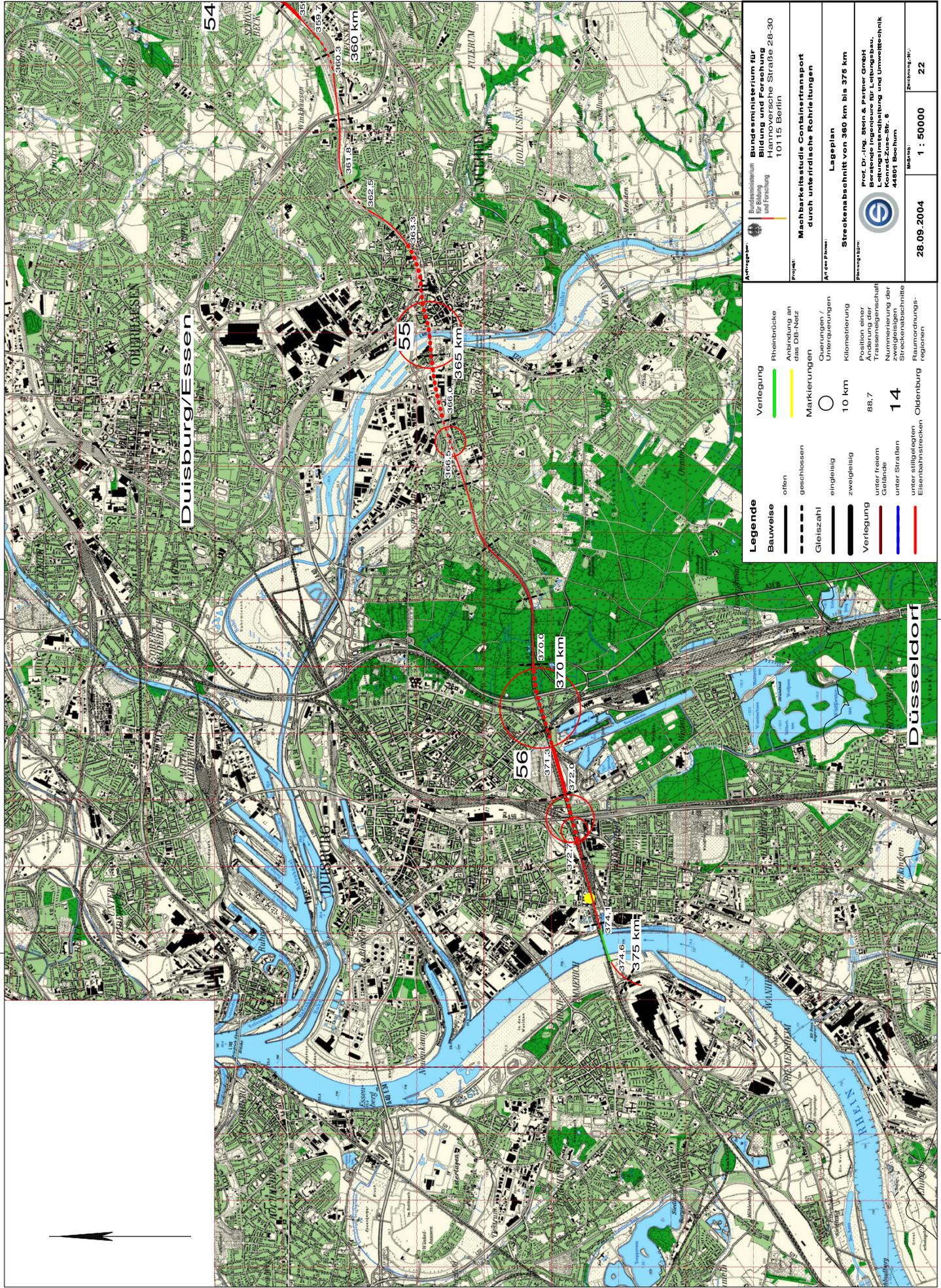
Streckenabschnitt von 337 km bis 360 km

Planungsbüro: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Geotechnik, Tunnelbau, Planung und Umwelttechnik
Königsplatz 8
44801 Bochum

Datum: 28.09.2004

Maßstab: 1 : 50000

Zeichnungs-Nr.: 21



Antraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Arbeitsplan: Streckenabschnitt von 360 km bis 375 km

Planungsbüro: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
 Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Geotechnik, Baugrunduntersuchung und Umweltgeotechnik
 Konrad-Zuse-Str. 6
 44801 Bochum

Stand: 28.09.2004
Blatt: 1 : 50000
Zeichnungs-Nr.: 22

Legende

Bauweise:
 - offen
 - geschlossen

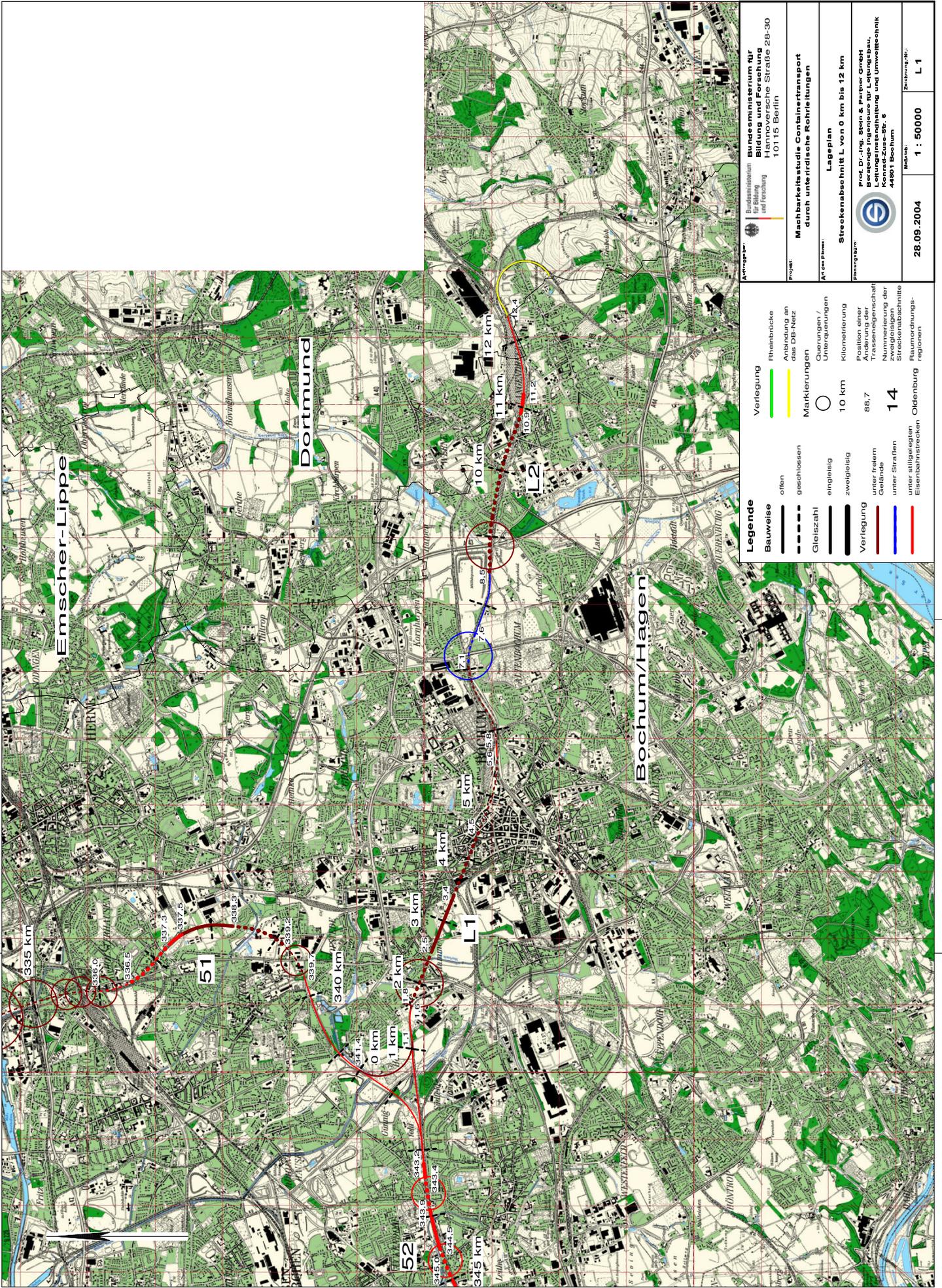
Gleiszahl:
 - eingleisig
 - zweigleisig

Verlegung:
 - unter freiem Gelände
 - unter Straßen
 - unterirdisch
 - Eisenbahnstrecken

Verlegung:
 - Rheinbrücke
 - Anbindung an das DB-Netz

Markierungen:
 - Querungen / Unterquerungen
 - 10 km
 - 88,7
 - 14

Position einer Trassenanordnung zweigleisigen Streckenabschnitte
 - Oldenburg
 - Raumordnungsregionen



Antraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin

Projekt: Machbarkeitsstudie Containertransport durch unterirdische Rohrleitungen

Art der Planung: Lageplan

Planungsphase: Streckenabschnitt L von 0 km bis 12 km

Planungsinstitut: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Leitungsbau,
Landschaftsplanung, Bauplanung und Umwelttechnik
Kornel-Zeischke 8
44801 Bochum

Stand: 28.09.2004

Skala: 1 : 50000

Zeichnung-Nr.: L 1

Legende

Bauweise

- offen
- geschlossen
- einleisig
- zweigeleisig

Gleiszahl

- unter freiem Gelände
- unter Straßen
- unter allfälligen Eisenbahnstrecken

Verlegung

- Rheinbrücke
- Anbindung an das DB-Netz
- Querungen / Unterquerungen
- Markierungen
- Kilometerung
- Position einer Trassenbegrenzung
- Nummerierung der Streckenabschnitte
- Raumordnungsregionen

Verlegung

- 10 km
- 88,7
- 14
- Oldenburg