

Band 5

**Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren
Aufkommens im Einzelwagenverkehr und
Optimierung der Produktionsstruktur**

DISSERTATION
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieur

**Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Dirk Bruckmann**

**Eingereicht beim Fachbereich Bauwissenschaften
der Universität Duisburg-Essen
Essen 2006**

Dirk Bruckmann
Geburtsort: Oberhausen

Datum der mündlichen Prüfung: 25.08.2006

- 1. Gutachter: Herr Univ.-Prof. Dr. techn. Jörg Schönharting**
- 2. Gutachter: Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Siegmann**

Bruckmann, Dirk (Hrsg.):

Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und Optimierung der Produktionsstruktur

Verkehrswesen und Verkehrsbau, Universität Duisburg-Essen, Bd. 5

ISBN 3-922602-27-4

Künstlerische Gestaltung: Bettina Zachow

Der Text ist auch als PDF-Datei unter www.traffic.uni-essen.de verfügbar.

Copyright Universität Duisburg-Essen, 2007.

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-922602-27-4

Universität Duisburg-Essen, Campus Essen,
FG Verkehrswesen und Verkehrsbau,
Universitätsstraße 15, 45141 Essen, Telefon: 0201/183-2698
Internet: www.traffic.uni-essen.de

**Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des
containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und
Optimierung der Produktionsstruktur**

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)**

**vorgelegt an der Universität Duisburg-Essen
Fachbereich Bauwissenschaften**

**eingereicht von
Dipl.-Ing. Dirk Bruckmann,
geboren am 16.11.1971 in Oberhausen**

Vorwort

„Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und Optimierung der Produktionsstruktur“

Der Güterverkehr in Deutschland boomt vor dem Hintergrund eines weltweiten Warenaustausches. Der Einkauf von Gütern für die industrielle Produktion ist heute ein globalisiertes Unterfangen, bei dem Kosten-, Qualitäts- und Zeitvorteile die maßgebliche Rolle spielen. In zahlreichen Fällen werden Produktionsstandorte aus dem Inland in das preisgünstigere Ausland verlegt. Investitionsschwerpunkte sind dabei einmal die neuen Beitrittsländer der EU, aber auch die Tigerstaaten in Asien und neuerdings auch Südamerika. Selbst Nordafrika gerät wieder in den Fokus deutscher und europäischer Investoren.

Mit diesen dramatischen und in äußerst kurzer Zeit ablaufenden Veränderungen der Einkaufs- und Produktionsstruktur im Inland sind völlig neue Warenströme verbunden. Von diesen Entwicklungen profitieren alle Verkehrsträger, vor allem aber die deutschen Häfen, die ein anhaltend hohes Wachstum im Seecontainerverkehr verzeichnen. Entsprechend ist auch der containerisierte Hinterlandverkehr in einem starken Wachstum begriffen, ein Markt, der gerade für den schienengebundenen Verkehr von hohem Interesse ist. Die Zukunft des Schienengüterverkehrs wird somit auch von der Frage tangiert, welche Rolle die Bahn im Containerverkehr zukünftig spielen wird und inwieweit eine Containerisierung bisheriger alternativer Beförderungssysteme möglich sein wird. Insbesondere stellt sich diese Frage für den Einzelwagenverkehr, der gegenwärtig das Sorgenkind des Schienengüterverkehrs darstellt.

Der Einzelwagenverkehr ist logistisch dadurch charakterisiert, dass der einzelne Wagen nur Ladung mit gleichem Ziel enthalten kann. Er stellt somit die kleinste geschlossene Einheit im Schienengüterverkehr dar. In gewissem Sinne kann man den Einzelwagen mit dem Lkw vergleichen, mit dem Unterschied, dass der Einzelwagen für die Fahrt zwischen Knoten-

bahnhöfen zu zielreinen Zügen gebündelt werden muss. Dies reduziert die zeitliche Flexibilität des Einzelwagens erheblich. Zugleich werden oft mehrere Rangiervorgänge notwendig, bis der Einzelwagen sein Ziel erreicht hat. Diese Prozesse sind zeit- und kostenintensiv und reduzieren die Wettbewerbsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs erheblich. Es kommt ein weiterer Aspekt innerhalb der Quell- und Zielbereiche hinzu: Während der Wettbewerber Lkw auf einem Betriebsgelände flexibel rangieren kann und eine Verlagerung von Lieferbereichen innerhalb des betrieblichen Geländes unproblematisch ist, erfordert dies im Schienenverkehr in der Regel auch infrastrukturelle Anpassungen, betriebliche Investitionen somit, die von den beteiligten Unternehmen möglichst vermieden werden.

Der Einzelwagenverkehr ist umso wirtschaftlicher, je mehr Wagen pro Betrieb im Zugverband befördert werden können. Am problematischsten ist der eine Wagen, der einmal pro Woche beigestellt bzw. abgeholt werden muss. Demgegenüber steht der Ganzzugverkehr, der die eigentliche Domäne des schienengebundenen Güterverkehrs darstellt. Zwischen dem einzelnen Wagen und dem Ganzzugverkehr liegen die Wagengruppen, die zwei oder mehr Wagen umfassen und deren Wirtschaftlichkeit u. a. von der Wagenanzahl innerhalb der Gruppe abhängt.

Eine Strategie für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im schienengebundenen Güterverkehr wäre die Aufgabe von Teilen des Einzelwagenverkehrs. Dies ist seitens der Deutsche Bahn AG mit dem MORA-C-Programm bereits eingeleitet worden. Eine andere Option besteht in der Umstellung des Einzelwagenverkehrs auf containerisierten Verkehr. Der Vorteil einer Containerisierung liegt in der Vermeidung von zeit- und kostenaufwändigen Rangiervorgängen, wenngleich auch hier Umschlagvorgänge mit anderer Technik für Container sowie Zugbildungsvorgänge erforderlich werden. Hinzu kommt, dass die Trennmöglichkeit von Container und Tragwagen zwar die Flexibilität der Be- / Entladung verbessert, andererseits aber zusätzlichen Aufwand für die Investition in Containerlager und deren Verwaltung erfordert.

Vor diesem Hintergrund sind verschiedene Fragestellungen relevant. Eine besteht in der Frage, welche Waren, die im bisherigen Einzelwagenverkehr befördert werden, für eine Containerbeförderung in Betracht kommen. Diese Frage wird in der vorliegenden Dissertation von Dipl.-Ing. Bruckmann näher beleuchtet. Bruckmann wählt hierzu den Ansatz einer Entscheidungskaskade mit Übergangswahrscheinlichkeiten, wobei nach Gutarten

und Wagenarten unterschieden wird und die Containerisierbarkeit anhand technischer, logistischer und wirtschaftlicher Indikatoren beurteilt wird. In einem zweiten Teil der Arbeit werden die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Containerisierung behandelt. Für die letztere Fragestellung hat der Industriepartner Railion ein Simulationsprogramm sowie Unternehmensdaten zur Verfügung gestellt. Die Dissertation ist in engem Kontakt zum Industriepartner entstanden. Teilweise mussten in diesen Kapiteln vertrauliche Daten des Unternehmens benutzt werden, deren Weitergabe per Vertrag untersagt war. Herr Bruckmann hat es aber verstanden, seine Ausführungen in der Weise zu generalisieren, dass die Dissertation – mit wenigen Änderungen – auch aus Sicht des kooperierenden Unternehmens veröffentlicht werden konnte.

Wie angedeutet, wird mit der Containerisierbarkeit ein erster Teil der Fragestellung behandelt. Weitere Fragen wie z.B. Zeit- und Qualitätsgewinne durch die Containerisierung, Einbezug des Lkw in den Zubringerverkehr zu den Containerhubs, Organisation der Containerdepots oder wirtschaftliche Vorteile beim Kunden sind bisher noch nicht behandelt. Insoweit wäre zu hoffen, dass diese Fragestellungen aufgegriffen werden mit dem Ziel, den modernen Schienengüterverkehr auf eine neue, wettbewerbsfähige Grundlage zu stellen.

Februar 2007

Univ.-Prof. Dr. techn. Jörg Schönharting

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	25
2	Die Situation des Einzelwagenverkehrs	27
2.1	Die Historische Entwicklung des Schienengüterverkehrs	27
2.2	Die Aktuelle Situation des Eisenbahngüterverkehrs	29
2.3	Die Produktgruppen im Schienengüterverkehr	30
2.3.1	Ganzzugverkehr	31
2.3.2	Einzelwagenverkehr	31
2.3.3	Stückgutverkehr	32
2.3.4	Kombinierter Ladungsverkehr	32
2.4	Die Produktionsverfahren im Schienengüterverkehr	33
2.4.1	Knotenpunktsystem	34
2.4.2	Flexibles Knotenpunktsystem	36
2.4.3	Direktzüge	38
2.4.4	Shuttle-Züge	38
2.4.5	Train-Coupling-and-Sharing (TCS)	39
2.4.6	Hub and Spoke-System (HSS)	40
2.4.7	Linienzüge	42
2.4.8	Drehscheibensystem	44
2.5	Definition von Qualitätskriterien und Beurteilung der Qualität des Einzelwagenverkehrs	45
2.5.1	Die Transportzeiten als Qualitätskriterium	47
2.5.2	Die Zuverlässigkeit als Qualitätskriterium	53
2.5.3	Die Räumliche Verfügbarkeit als Qualitätskriterium	54
2.5.4	Die Transportkosten als Qualitätskriterium	55
2.5.5	Schlussfolgerungen zur Marktsituation und zum Verbesserungsbedarf des Einzelwagenverkehrs	56
2.6	Die Containerisierung der Transporte als neuer Lösungsansatz	56
2.6.1	Bewertung der bisherigen Ansätze und Schlussfolgerungen für weitere Innovationen	56
2.6.2	Die Containerisierung der Transporte als neuer Lösungsansatz	57
2.6.3	Bisherige Untersuchungen zur Containerisierung des Schienengüterverkehrs	58

2.6.4	Beschreibung des neuen Lösungsansatzes	60
2.6.5	Offene Fragestellungen zum neuen Lösungsansatz	62
3	Containerbauarten und Umschlagtechniken als Grundlage eines containerisierten Einzelwagenverkehrs	65
3.1	Definition des Begriffs Container und Abgrenzung von Containertypen	65
3.1.1	ISO-Container	66
3.1.2	Binnen-Container	69
3.1.3	Wechselbehälter	69
3.2	Bauarten von Containern und ihre Einsatzbereiche	70
3.2.1	Stückgut-Behälter (mit und ohne Belüftung),	71
3.2.2	Schüttgut-Behälter (nicht druckbeständig und druckbeständig),	72
3.2.3	Thermalcontainer (gekühlt und/oder beheizt),	72
3.2.4	Oben offene Container	73
3.2.5	Plattformcontainer	73
3.2.6	Tankcontainer	73
3.2.7	Sonstige Container (nach dem Frachtgut benannt)	73
3.3	Umschlagtechniken für Container	74
3.3.1	Einsatzbereiche von Horizontal- und Vertikalumschlagssystemen	74
3.3.2	Systemübersicht der Umschlagsysteme	75
3.3.3	Umschlagpunkte des containerisierten Einzelwagenverkehrs	80
3.3.4	Gestaltung der Megahubs des containerisierten Einzelwagenverkehrs	81
3.3.5	Ermittlung der Umschlagkosten in einem Megahub	84
4	Modellansätze zur Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens	89
4.1	Datengrundlagen und Datenaggregation für die Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens	89
4.1.1	Datengrundlagen für das Gesamtaufkommen	89
4.1.2	Aggregation der Gutarten	89
4.1.3	Analyse der Kombinationen Wagengattungen / Gutarten	90
4.2	Modellansätze der Entscheidungstheorie	91
4.2.1	Differenzierung nach der Anzahl der Zielsetzungen	92
4.2.2	Differenzierung nach dem Informationsstand des Entscheidungsträgers	92

4.2.3	Differenzierung nach dem Umfeld der Entscheidungssituation	92
4.2.4	Differenzierung nach Präferenzen und Art der Entscheidungsträgers	93
4.2.5	Differenzierung hinsichtlich der Interdependenz der Entscheidungen in statische und dynamische Entscheidungen	93
4.3	Charakterisierung des Entscheidungsprozesses hinsichtlich einer Containerisierung von Transporten	93
4.4	Verfahren zur Entscheidungsfindung	94
4.4.1	Subjektive Wahrscheinlichkeiten	94
4.4.2	Entscheidungsbaumverfahren	95
4.5	Ermittlung des containerisierbaren Anteils am Transportaufkommen mit Hilfe subjektiver Wahrscheinlichkeiten	96
4.5.1	Subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Containerisierbarkeit anhand der Gutart	96
4.5.2	Subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Containerisierbarkeit anhand der Wagengattung	98
4.5.3	Schlussfolgerungen aus der Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten	100
4.6	Entscheidungsbaum zur Ermittlung des containerisierbaren Anteils am Verkehrsaufkommen	101
4.6.1	Die Zustände und Aktionen im Entscheidungsbaum	101
4.6.2	Die Kanten des Entscheidungsbaumes	102
4.6.3	Definition des Markoffschen Entscheidungsbaums und des Entscheidungsnetzwerks	103
4.6.4	Entwicklung des Entscheidungsbaums - Grobkonzept	105
4.6.5	Entwicklung des Entscheidungsbaums - Feinkonzept	106
4.7	Ermittlung der Kriterien für die Containerisierbarkeit als Grundlage für die Übergangswahrscheinlichkeiten	107
4.7.1	Kriterien für die technische Containerisierbarkeit	107
4.7.2	Kriterien für die logistische Containerisierbarkeit	110
4.7.3	Kriterien für die wirtschaftliche Containerisierbarkeit	110
5	Ermittlung der Auswirkungen einer Containerisierung auf das Transportaufkommen mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes	111
5.1	Datenerhebung zur Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeiten	111

5.1.1	Auswertung des Wagenaufkommens in einem Güterbahnhof	111
5.1.2	Befragung von Verladern	112
5.1.3	Gespräche mit den Marktbereichen von Stinnes	118
5.2	Ableitung der Übergangswahrscheinlichkeiten für den Entscheidungsbaum	127
5.2.1	Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit	127
5.2.2	Übergangswahrscheinlichkeiten für die logistische Containerisierbarkeit	129
5.2.3	Übergangswahrscheinlichkeiten für die wirtschaftliche Containerisierbarkeit	130
5.2.4	Ermittlung einer Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für die Containerisierbarkeit	131
5.2.5	Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens	131
5.3	Möglichkeiten zum Umgang mit Auslandsverkehren	132
5.3.1	Ausgehende Auslandsverkehre	132
5.3.2	Eingehende Auslandsverkehre	133
5.3.3	Transitverkehre	133
5.3.4	Auswirkungen der Containerisierung auf das Aufkommen der Auslandsverkehre	134
5.4	Berücksichtigung von Leerwagentransporten bei der Modellbildung	134
5.5	Umgang mit nicht containerisierbarem Aufkommen	135
6	Auswirkungen der Containerisierung auf die Produktion eines Eisenbahnverkehrsunternehmens	136
6.1	Untersuchungsgegenstand und Datengrundlagen für die Simulation	136
6.1.1	Darstellung des Untersuchungsgegenstandes	136
6.1.2	Verwendetes Netzmodell	136
6.1.3	Erzeugen der Verkehrsstrommatrix	137
6.2	Umladeprobleme und Verfahren zur Optimierung	140
6.2.1	Arten von Umladeproblemen	141
6.2.2	Verfahren zur Netzoptimierung des Schienengüterverkehrs nach MARIN und SALERON	143
6.2.3	Verfahren der Liniennetzoptimierung des öffentlichen Verkehrs	150

6.3 Das Programmsystem SIMTEG zur Optimierung des Einzelwagenverkehrs	151
6.3.1 Modellbildung und Infrastrukturdarstellung in SIMTEG	152
6.3.2 Kostenmodell in SIMTEG	155
6.3.3 Optimierungsalgorithmus von SIMTEG	156
6.3.4 Möglichkeiten zur Netzgestaltung in SIMTEG	156
6.3.5 Datenhaltung in SIMTEG	159
6.3.6 Ausgabeoptionen für das Simulationsergebnis	160
6.3.7 Ablauf der Optimierung in SIMTEG	161
6.4 Bewertung des Algorithmus in SIMTEG	162
6.4.1 Fehlen von nicht nachgefragten Relationen im Netzmodell	163
6.4.2 Löschen von Strecken im Rahmen des Optimierungsverlaufes	165
6.4.3 Zu hohe Kosten für schwach nachgefragte Relationen	167
6.4.4 Bewertung der Ergebnisse aus SIMTEG	168
6.5 Die Modellierung des containerisierten Einzelwagenverkehrs in SIMTEG	170
6.5.1 Eignung der Algorithmen und Programmstrukturen von SIMTEG für den containerisierten Einzelwagenverkehr	170
6.5.2 Randbedingungen für die Produktion	171
6.5.3 Weitere Kosten und andere Parameter für die Simulation	173
6.6 Definition und Untersuchung von Szenarien für die Netzgestaltung des containerisierten Einzelwagenverkehr	178
6.6.1 Gemeinsame Simulationsparameter für alle Szenarien	179
6.6.2 Szenario 1: Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs	180
6.6.3 Szenario 2: Netz mit einem zentralen Megahub	184
6.6.4 Szenario 3: Netz mit ca. 150 dezentralen Hubs	186
6.6.5 Szenario 4: Netz mit 50 dezentralen Hubs	189
6.6.6 Szenario 5: Netz mit 3 bis 10 zentralen Megahubs	191
6.7 Vergleich der Simulationsergebnisse der untersuchten Szenarien	196
6.7.1 Transportkosten	196
6.7.2 Transportzeiten	197
6.7.3 Anzahl der bedienten Relationen und mittlere Auslastung der Züge	199
6.7.4 Umstellungshäufigkeit der beförderten TEU	201
6.7.5 Bedienungshäufigkeit	202
6.7.6 Auswahl eines Netzmodells	202
6.8 Wettbewerbsfähigkeit des containerisierten Einzelwagenverkehrs	203

6.8.1	Transportzeiten	203
6.8.2	Räumliche Verfügbarkeit	205
6.8.3	Zuverlässigkeit	205
6.8.4	Transportkosten	206
6.8.5	Schlussfolgerungen zur Wettbewerbsfähigkeit	207
7	Migrationsbetrachtungen	208
8	Zusammenfassung und Ausblick	213
	Literatur	215
	Anhang 1 Ergebnisse der Wagenerhebung im Rangierbahnhof Hagen-Vorhalle am 13.07.2005:	224
	Anhang 2 Gesprächsleitfaden für die Unternehmensbefragung	225
	Anhang 3 Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit der Wagengattungen	230
	Anhang 4 Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit der Gutarten	231
	Anhang 5 Übergangswahrscheinlichkeiten für die logistische Containerisierbarkeit der Produktbereiche	232

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Verfahren bei der Produktion von Schienenverkehrsleistungen	34
Abbildung 2	Prinzipskizze des Knotenpunktsystems	35
Abbildung 3	Prinzipskizze des flexiblen Knotenpunktsystems	36
Abbildung 4	Train-Coupling and -Sharing	40
Abbildung 5	Vergleich des Direktzugsystems mit dem Hub-and-Spoke-System	41
Abbildung 6	Prinzipskizze für ein Netz eines Linienzugsystems	43
Abbildung 7	Drehscheibensystem mit ein oder zwei Umstellungen	44
Abbildung 8	Anforderungen der Verloader an die Transportdauer	48
Abbildung 9	Vergleich des Transportzeitbedarfs zwischen dem Einzelwagenverkehr (Quality-Produkt), dem kombinierten Verkehr und dem Lkw-Verkehr bei einer Transportentfernung von 600 km.	49
Abbildung 10	Vergleich der mittleren jährlichen Fahrleistung zwischen einem durchschnittlichen Eisenbahnwagen, einem Lastzug und einer Sattelzugmaschine im Jahr 2004.	49
Abbildung 11	Vergleich der Reisezeiten im Einzelwagenverkehr, im Kombinierten Ladungsverkehr und per Lkw am Beispiel der in Norddeutschland ansässigen Empfänger eines in Bad Neuenahr ansässigen Unternehmens	51
Abbildung 12	Zur Disposition verbleibende Zeit	52
Abbildung 13	Anteil der Gewerbeflächen im Ruhrgebiet mit Gleisanschluss	55
Abbildung 14	Vergleich der Transportkosten im kombinierten Verkehr (KLV) und des Straßendirekttransports von Sattelaufliegern	61
Abbildung 15	Transportablauf und Systemkonzept eines containerisierten Einzelwagenverkehrs	62
Abbildung 16	Bezeichnung der wesentlichen Elemente eines Containers	69
Abbildung 17	Systemskizze für ein bimodales Umschlagsystem	76
Abbildung 18	Abrollcontainersystem	76
Abbildung 19	System mit Krabbelbalken (Beispiel Mobiler)	77
Abbildung 20	Noell Megahub Lehrte (Projektskizze der Firma Noell Crane Systems)	80

Abbildung 21	Megahub für den containerisierten Einzelwagenverkehr (Systemskizze)	83
Abbildung 22	Umschlagkosten im Megahub in Abhängigkeit der Anzahl der Umschlagvorgänge pro Tag	88
Abbildung 23	Summenhäufigkeitsverteilung des Transportaufkommens (Wagen/Jahr), differenziert nach Gutarten.	90
Abbildung 24	Häufigste Kombinationen Wagengattung / Güterkategorie (mehr als 20000 Wagen / Jahr) im Einzelwagenverkehr.	91
Abbildung 25	Anteil der hinsichtlich der Gutart nicht containerisierbaren, teilweise containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.	97
Abbildung 26	Anteil der hinsichtlich der Gutart nicht containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.	98
Abbildung 27	Anteil der hinsichtlich der verwendeten Wagengattung nicht containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.	100
Abbildung 28	Zustände und Aktionen in einem Entscheidungsbaum	102
Abbildung 29	Übergangswahrscheinlichkeiten und Stufenergebnisse eines Entscheidungsbaumes	103
Abbildung 30	Ablaufschema für die Ermittlung des containerisierbaren Anteils des Transportaufkommens	106
Abbildung 31	Wagenaufkommen eines Güterbahnhofs an einem Vormittag, eingeteilt in containerisierbare, möglicherweise containerisierbare und nicht containerisierbare Wagen	112
Abbildung 32	Relative Verteilung des Wagenaufkommens auf die Gütergruppen in ganz Deutschland und in den ausgewählten Bedienungsbereichen	113
Abbildung 33	Rücklauf aus der Unternehmensbefragung	114
Abbildung 34	Aufteilung der Rückläufe aus der Unternehmensbefragung auf Branchen	115
Abbildung 35	In den Gleisanschlüssen vorhandene Rangiergeräte	116
Abbildung 36	Entlademöglichkeiten in den Gleisanschlüssen	116
Abbildung 37	Zeitlicher Vorlauf für die Transportplanung	117
Abbildung 38	Dauer des Verbleibs der Güterwagen in den Gleisanschlüssen	117

Abbildung 39	Grenzen der zulässigen außermittigen Beladung bei Eisenbahnwagen	123
Abbildung 40	Ergebnis des Entscheidungsbaumverfahrens: containerisierbare Anteile der Verkehrsmenge, des Wagenaufkommens und des Verkehrsaufkommens.	132
Abbildung 41	Iteratives Vorgehen zur Berücksichtigung auslastungsabhängiger Kostenveränderungen in den Knotenpunkten.	154
Abbildung 42	Beispiele für in SIMTEG zulässige und unzulässige Reihenfolgen von Bahnhofskategorien (rot dargestellt sind nicht zulässige Reihenfolgen von Bahnhofskategorien)	158
Abbildung 43	Beispiel für die Optimierung in SIMTEG und die Darstellung in der Iterations- und Umstellungsmatrix (SIMTEG-Handbuch)	160
Abbildung 44	Schematische Darstellung des Simulationsablaufs in SIMTEG	162
Abbildung 45	Netzbeispiel für das Nichtauffinden einer optimalen Lösung wegen fehlender Kanten im SIMTEG-Netzmodell	164
Abbildung 46	Ablauf der Optimierung bei SIMTEG und mögliche optimale Lösung bei einem einfachen Netzmodell (rot dargestellte Kanten werden bei SIMTEG im Rahmen der Optimierung gelöscht)	166
Abbildung 47	Maximale Anzahl der TEU je Zug abhängig von der verwendeten Wagengattung	172
Abbildung 48	Anzahl der Zugfahrten und bedienten Verbindungen in Abhängigkeit vom Umwegfaktor	178
Abbildung 49	Kosten pro beförderten Wagen in Abhängigkeit vom Umwegfaktor	178
Abbildung 50	Szenario 1: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz des heutigen EWV (rote Quadrate = Megahubs)	181
Abbildung 51	Szenario 1: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten	182
Abbildung 52	Szenario 2: Belastungen des zentralen Megahubs	185
Abbildung 53	Szenario 2: mittlere Kosten je TEU für verschiedene Standorte des zentralen Megahubs	186

Abbildung 54	Szenario 3: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei ca. 150 dezentralen Hubs (rote Quadrate = Hubs)	187
Abbildung 55	Szenario 3: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten	188
Abbildung 56	Szenario 4: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten	190
Abbildung 57	Szenario 4: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei 50 dezentralen Hubs (rote Quadrate = Hubs)	191
Abbildung 58	Szenario 5: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei 5 zentralen Megahubs (rote Quadrate = Megahubs)	194
Abbildung 59	Umschlagaufkommen in den Megahubs – Szenario 5 mit den Megahubs Gremberg, Großkorbetha, Mannheim Rbf, Nürnberg Rbf und Seelze.	195
Abbildung 60	Vergleich der mittleren Kosten je beförderter TEU für die untersuchten Szenarien	197
Abbildung 61	Verteilung der Transportzeiten für die untersuchten Szenarien	198
Abbildung 62	Summenhäufigkeitsverteilung der Transportzeiten für die untersuchten Szenarien	198
Abbildung 63	Anzahl der bedienten Relationen und Züge pro Tag für die untersuchten Szenarien	199
Abbildung 64	Mittlere Auslastung der Züge (TEU/Zug) für die untersuchten Szenarien	200
Abbildung 65	Anteil der Wagen/TEU ohne Umstellung, mit Einfach-, Zweifach-, Dreifach- und Vierfachumstellung für die untersuchten Szenarien	201
Abbildung 66	Durchschnittliche Anzahl der Fern-Umstellungen je Wagen für die untersuchten Szenarien	201
Abbildung 67	Durchschnittliche Anzahl der Zugfahrten pro Tag für die untersuchten Szenarien	202
Abbildung 68	Transportzeitenverhältnis zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr und herkömmlichen Einzelwagenverkehr	204

Abbildung 69	Transportzeitveränderung zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr und herkömmlichen Einzelwagenverkehr	205
Abbildung 70	Kostenvergleich (cent/tkm) zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr, herkömmlichen Einzelwagenverkehr und Lkw für die untersuchten Szenarien	206

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Nennlängen der ISO-Container	67
Tabelle 2	Nennmaße der ISO-Container	68
Tabelle 3	Kosten für das Anmieten der Gleisanlagen im Megahub	87
Tabelle 4	Anteil containerisierbarer Transporte unterschiedlicher Güterarten (Beispiele)	98
Tabelle 5	Anteil containerisierbarer Transporte für unterschiedliche Wagengattungen	99
Tabelle 6	Wagengattungen, beförderte Gutarten und Hindernisse bei der Containerisierung	109
Tabelle 7	Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen für den Transport schwerer Güter	139
Tabelle 8	Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen für den Transport voluminöser Güter	140
Tabelle 9	Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen mit Sonderbauart	140
Tabelle 10	Vergleich der Rechenzeiten und Ergebnisse der unterschiedlichen Optimierungsverfahren für Eisenbahngüterverkehrsnetze. (Das für ein bestimmtes Netz jeweils beste Verfahren ist grün markiert)	149
Tabelle 11	Produktionskostenkomponenten im SIMTEG-Modell	155
Tabelle 12	Bahnhofskategorien und ihre Aufgaben im SIMTEG-Modell	157
Tabelle 13	Szenario 1: Wagenaufkommen zwischen den Megahubs	183
Tabelle 14	Szenario 1: Zugzahlen zwischen den Megahubs	184
Tabelle 15	Szenario 5: Wagenaufkommen zwischen den Megahubs	195
Tabelle 16	Szenario 5: Zugzahlen zwischen den Megahubs	196
Tabelle 17	Ermittlung der Gesamtinvestitionskosten für die Einführung eines containerisierten Einzelwagenverkehr	209

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft	Lkw	Lastkraftwagen
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie	m	Meter
BRD	Bundesrepublik Deutschland	min	Minuten
DB	Deutsche Bahn	Mio.	Millionen
DIN	Deutsches Institut für Normung, Deutsche Industrienorm	mm	Millimeter
DM	Deutsche Mark	MORA C	Marktorientiertes Angebotskonzept Cargo
DSS	Drehscheibensystem	Mrd.	Milliarden
EDV	Elektronische Datenverarbeitung	MWB	Mittelweserbahn
EU	Europäische Union	NRW	Nordrhein-Westfalen
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen	ONE	Organisation Netzwerk Eisenbahn Logistik
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft	Pkw	Personenkraftwagen
EZW	Einzelwagen	Rbf	Rangierbahnhof
ft	Fuß	RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
GA	Gleisanschluss	Sat	Satellit
GDA	General Decomposition Algorithm	SBB	Schweizer Bundesbahnen
GVS	Güterverkehrsstelle	SETG	Salzburger Eisenbahn-Transport-Logistik
GVZ	Güterverkehrszentrum	SIMTEG	Simulationsprogramm zur Strategischen Netzsimulation
h	Stunden	StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungsordnung
Hrsg.	Herausgeber	t	Tonne(n)
HSS	Hub-and-Spoke-System	Tarif-km	Tarifkilometer
in	inch (Zoll)	TCS	Train-Coupling-and-Sharing
ISO	Internationale Standardisierungsorganisation	TEU	Twenty foot equivalent unit (20 Fuß äquivalente Einheit)
Kbf	Knotenpunktbahnhof	TFG	Transfracht
KEP	Kurier, Express, Post	tkm	Tonnenkilometer
KLV	Kombinierter Ladungsverkehr	ULS	Umschlaggerät Lässig-Schwanhäuser
km	Kilometer	vgl.	vergleiche
kWh	Kilowattstunde		

1 Einleitung

Das Güterverkehrsaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland ist in den vergangenen Jahren stark angewachsen. Von 1992 bis 2001 hat sich die Verkehrsleistung im binnenländischen Güterverkehr um 28 % von 396 Mrd. tkm auf 508 Mrd. tkm vergrößert.¹ Bis zum Jahre 2015 wird eine weitere Zunahme der Güterverkehrsleistung auf 608 Mrd. tkm prognostiziert.

Der Schienengüterverkehr konnte bislang nicht ausreichend am Wachstum des gesamten Güterverkehrsmarktes partizipieren. Der Anteil des Schienengüterverkehrs am gesamten Güterverkehr ist tendenziell rückläufig. Die Ursachen für die Aufkommensentwicklung sind vielfältig und sind wesentlich durch externe Entwicklungen verursacht worden. In den vergangenen Jahren haben sich dramatische Veränderungen bei der Güterstruktur, der Marktregulierung im Straßen- und Schienenverkehr, der logistischen Abläufe und der Produktionsstrukturen bei den Verladern sowie der Marktsituation im Wettbewerb mit dem Straßenverkehr ergeben.²

Besonders problematisch ist die Situation bereits heute im Einzelwagenverkehr. Während die Angebotssegmente des Kombinierten Ladungsverkehrs und die Ganzzugverkehre zur Zeit eigenwirtschaftlich betrieben werden können, ist der Kostendeckungsgrad bei den Einzelwagenverkehren, die immerhin noch ca. 40 % des Transportaufkommens ausmachen, mit durchschnittlich ca. 80 % nur unzureichend.³ Ursache für den geringen Kostendeckungsgrad des Einzelwagenverkehrs sind die veralteten, sehr aufwendigen Produktionsmethoden.⁴ Erste Ansätze, wie die Umsetzung des Konzeptes MORA C, haben die Situation des Einzelwagenverkehrs bereits verbessert. Dennoch genügt der Einzelwagenverkehr bislang immer noch nicht den wirtschaftlichen Kriterien der Deutschen

¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2003)

² Berndt, Thomas (2001), Seite 72ff.

³ Schwarz, A. (2000)

⁴ Siegmänn, Jürgen (2002)

Bahn AG, so dass mittelfristig auch eine Einstellung des Einzelwagenverkehrs nicht ausgeschlossen ist.⁵

Um den Einzelwagenverkehr wirtschaftlich zu gestalten sind weiter gehende Änderungen in der Produktionsstruktur erforderlich. Eine Möglichkeit hierzu kann die vollständige Containerisierung der Transporte darstellen. Im Rahmen dieser Arbeit soll daher geprüft werden, welche Auswirkungen die Containerisierung der Transporte auf das Transportaufkommen des Einzelwagenverkehrs besitzt und wie nach der Containerisierung der Transporte die Produktionsstruktur des neuartigen Systems optimiert werden kann.

⁵ Nach *Handelsblatt* (2006) beabsichtigt die Deutsche Bahn, den Einzelwagenverkehr nur dann über das Jahr 2008 hinaus weiter zu betreiben, wenn er wirtschaftlichen Kriterien genügt.

2 Die Situation des Einzelwagenverkehrs

2.1 Die Historische Entwicklung des Schienengüterverkehrs

Anfänge des Schienenverkehrs

Gemeinhin wird der 27. September 1825 als Stunde Null der Eisenbahn betrachtet. Dieses ist allerdings eine eher willkürliche Festlegung, denn an diesem Tag wurde nur die erste öffentliche Eisenbahn für den Personenverkehr in Betrieb genommen.⁶ Das Prinzip der Fortbewegung von Fahrzeugen in bewusst angelegten Spuren war zu diesem Zeitpunkt schon einige Jahrtausende bekannt.⁷ Ägypter, Griechen und Römer sollen die Erleichterung von Spurrillen für den Lastentransport genutzt haben.

Im Mittelalter erfolgte erstmals die Herstellung spezieller Gleise, zunächst aus Baumstämmen und später aus Schiffsbohlen. Damit konnten Gleise verlegt werden, die nicht mehr dem Verlauf der allgemeinen Landstraßen folgen mussten. Entwickelt wurde diese Technik vermutlich in Bergwerken, um den Rollwiderstand der Förderwagen zu vermindern.

Der Schritt zur Eisenbahn erfolgte im Jahre 1767 als erstmals metallene (eiserne) Schienen statt der bisher üblichen hölzernen Schienen verwendet wurden, die durch die hohen Belastungen schnell beschädigt oder zerstört wurden.

Bis 1801 diente die Eisenbahn ausschließlich dem Güterverkehr. Erst zu diesem Zeitpunkt wurde die erste Schienenbahn für den Personenverkehr bei London eröffnet. Der Personenverkehr soll allerdings im Weiteren nicht näher betrachtet werden.

Der Beginn des Eisenbahnzeitalters

Der Beginn des modernen Eisenbahnzeitalters war der 13. Februar 1804. An diesem Tag fuhr der erste mit Dampfkraft bewegte Eisenbahnzug der Welt. Das System war erfolgreich, dennoch wurde die dabei verwendete Lokomotive zerlegt und als stationäre Dampfmaschine weiter verwendet.⁸ Der Durchbruch der

⁶ Wolf, Winfried (1986)

⁷ Rossberg, Ralf Roman (1984)

⁸ Rossberg, Ralf Roman (1984)

Eisenbahn gelang am 27. September 1825 mit der Inbetriebnahme der Strecke von Stockton nach Darlington in England. Im Gegensatz zu ihren Vorgängern ermöglichte diese Bahnlinie erstmals den Personentransport. Obwohl der Güterverkehr die wirtschaftliche Grundlage des Schienenverkehrs bildete und noch heute oftmals bildet, gelangte dieser erst durch die Möglichkeit des Mitreisens in das Bewusstsein der Menschen. Damit wird der 27. September 1825 im Allgemeinen als Beginn des Eisenbahnzeitalters empfunden.

Die erste deutsche Eisenbahn

In Deutschland begann das Dampfeisenbahnzeitalter erst am 7. Dezember 1835 mit der Eröffnung der „kgl. privilegierten Ludwigsbahn“ zwischen Nürnberg und Fürth. Diese Linie diente nahezu ausschließlich dem Personenverkehr. Angesichts der kurzen Strecke von 7 km war das zweimalige Umladen der Frachtgüter an den Endpunkten der Strecke von bzw. auf Fuhrwerke unwirtschaftlich. Damit haben schon bei der ersten deutschen Eisenbahn die Kosten für das Umladen und den Vor- und Nachlauf dazu geführt, dass der Güterverkehr nicht wirtschaftlich war. Der erste offizielle Gütertransport fand am 11. Juli 1836 auf dieser Strecke statt. Die Brauerei Lederer transportierte 2 Fässchen Bier. Wenn man Bierfässer den später in dieser Arbeit noch beschriebenen Tankcontainern zurechnet, ist damit im weitesten Sinne der Containertransport in Deutschland eingeführt worden.

Konkurrenz durch den Lkw

In den folgenden Jahren entstand in Deutschland und europaweit ein dichtes Schienennetz, das die Eisenbahn zum dominierenden Landverkehrsmittel machte.⁹ Trotz eines gut ausgebauten Straßennetzes stellte der Straßenverkehr noch keine Konkurrenz für die Eisenbahn dar, da der Dampfantrieb zu schwer war, um wirtschaftlich in Straßenfahrzeugen eingesetzt zu werden.

Erst mit der Erfindung von Verbrennungsmotoren sowie durch die Einführung moderner Straßenbautechniken erlangte der Straßengüterverkehr neue Impulse. Der Lkw ermöglichte, im Gegensatz zur Eisenbahn, den direkten, schnellen Haus-zu-Haus-Transport von Gütern. Die Eisenbahn verlor mit ihren veralteten Produktionstechniken immer mehr an Wettbewerbsfähigkeit. Während der Aus-

⁹ *Technische Universität Wien, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen (Hrsg.) (2006)*

bau der Schieneninfrastruktur mit Beginn der zwanziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts weitgehend abgeschlossen war, wurde von diesem Zeitpunkt an der Fernstraßenbau mit öffentlichen Mitteln energisch vorangetrieben. Der Lkw entwickelte sich vom Nahverkehrsmittel für die Feinverteilung zum Langstrecken-Transportmittel.

Die Bahnen versuchten dieser Entwicklung mit einem eigenen Lkw-Fuhrpark und mit der Entwicklung von Behältersystemen entgegenzusteuern. Trotz staatlicher Regulierung und Beschränkungen des Lkw-Verkehrs, ließ sich die Entwicklung weg von der Eisenbahn hin zum Lkw-Transport nicht aufhalten. Den endgültigen Durchbruch für den Lkw-Verkehr brachte dann der europaweite Ausbau des Autobahnnetzes.

2.2 Die Aktuelle Situation des Eisenbahngüterverkehrs

In Anbetracht dieser Entwicklung versuchte man seitens der Europäischen Union durch eine Liberalisierung des Eisenbahnmarktes dem Schienengüterverkehr neue Impulse zu geben. Wesentlicher Bestandteil der Neuerungen war der freie Zugang zum Netz gegen Zahlung eines variablen Entgelts an den Infrastruktureigentümer. Diese Vorstellung wurde im Jahr 1991 in entsprechende Richtlinien¹⁰ umgesetzt.

In Deutschland erfolgte die Umsetzung der Bahnreform im Jahre 1994. Die operativen Bestandteile der ehemaligen Deutschen Bundesbahn wurden in eine Aktiengesellschaft privaten Rechts umgewandelt. Gleichzeitig wurden neue Tochtergesellschaften für den Betrieb der Infrastruktur und die Produktion der Verkehrsleistungen gegründet. Der Netzzugang für private Eisenbahnverkehrsunternehmen wurde dadurch wesentlich erleichtert. Am 17.02.2005 waren im Netz der Deutschen Bahn AG 306 Eisenbahnverkehrsunternehmen zugelassen.¹¹

Der überwiegende Anteil der privaten Eisenbahnverkehrsunternehmen ist im Güterverkehr tätig. Allerdings werden zumeist nur Ganzzüge bzw. Züge des Kombinierten Verkehrs gefahren. Ein Teil der kleineren Eisenbahnverkehrsun-

¹⁰ *Richtlinie 91/440/EWG und Verordnung EWG Nr. 1893/91*

¹¹ *Eisenbahnbundesamt (2005), Datei: Eisenbahnverkehrsunternehmen der BRD, Stand 17.02.2005.*

ternehmen ist auch in der Nahbereichsbedienung von DB Cargo aktiv. Ein eigenes Einzelwagennetz haben nur wenige Eisenbahnverkehrsunternehmen wie zum Beispiel die „Organisation Netzwerk Eisenbahnlogistik in NRW“ aufgebaut.¹²

Trotz des zunehmenden Wettbewerbs im Schienengüterverkehr und den damit einhergehenden Kostensenkungen ist es bislang jedoch noch nicht zu den prognostizierten Verkehrssteigerungen gekommen. Der Schienengüterverkehrsmarkt stagniert weiterhin bei ca. 80 Milliarden tkm jährlich, ein wesentlicher Verlagerungseffekt von der Straße ist nicht zu erkennen.¹³ Die Transportmengenentwicklung ist dabei nicht für alle Produkte einheitlich. Während der Ganzzugverkehr und der Kombinierte Verkehr Zuwächse zu verzeichnen haben, sind die Transportmengen im Einzelwagenverkehr eher rückläufig. Der Stückgutverkehr ist aus wirtschaftlichen Gründen bereits 1997 eingestellt worden.¹⁴

2.3 Die Produktgruppen im Schienengüterverkehr

Für eine Betrachtung der Situation des Einzelwagenverkehrs ist es zunächst erforderlich, diesen zu definieren und gegenüber den anderen Produktgruppen des Schienengüterverkehrs abzugrenzen.

Die Produkte der Bahnen im Schienengüterverkehr sind nach BERNDT¹⁵ definierte Dienstleistungen, die dem Kunden das Leistungsangebot transparent machen sollen. Alle Produkte im Schienengüterverkehr bestehen aus Basisleistungen, die durch qualitative Abstufungen bzw. ergänzende Leistungen variiert werden können. Die Basisleistungen werden dabei in folgenden Produktgruppen differenziert:

- Ganzzugverkehr
- Einzelwagenverkehr
- Verkehr von Einzelsendungen
- Kombiniertes Ladungsverkehr (KLV).

¹² *Organisation Netzwerk Eisenbahnlogistik NRW (2005)*

¹³ *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (2003)*

¹⁴ *Berndt, Thomas (2001)*

¹⁵ *Berndt, Thomas (2001), Seite 18ff*

Die Leistungsmerkmale der einzelnen Produktgruppen werden nachfolgend kurz beschrieben, um den Untersuchungsgegenstand Einzelwagenverkehr von den anderen Produkten des Schienengüterverkehrs abgrenzen zu können.

2.3.1 Ganzzugverkehr

Die Produktionsform Ganzzugverkehr ist ein Teil des Wagenladungsverkehrs. Die Bahn definiert den Ganzzugverkehr als den Transport von Gütern in ganzzugfähigen Transportlosgrößen ohne Nutzung der Rangierbahnhöfe im Lastlauf.¹⁶ Im Ganzzugverkehr werden große Gütermengen in kompletten Zügen ohne Unterwegsbehandlung vom Versender zum Empfänger transportiert.¹⁷ Transportiert werden im Allgemeinen transportpreiselmpfindliche Massengüter, an deren Transport keine besonderen zeitlichen und wagentechnischen Anforderungen gestellt werden.

Eine besondere Form von Ganzzügen stellen Logistikzüge dar, bei denen das Lieferkonzept zwischen Bahn und dem Kunden genau abgestimmt ist. Sie sind Bestandteile des Produktionsprozesses des Kunden und werden in die logistischen Abläufe des Unternehmens integriert. Sie gehören damit nicht zu den preissensiblen Produkten, sondern es wird vorrangig Wert auf eine qualitativ hochwertige Leistungserbringung gelegt.

2.3.2 Einzelwagenverkehr

Der Einzelwagenverkehr ist ebenso wie der Ganzzugverkehr Bestandteil des Wagenladungsverkehrs. Beim Einzelwagenverkehr werden einzelne Wagen oder Wagengruppen ohne Umladevorgänge von Gleisanschluss zu Gleisanschluss transportiert.¹⁸ Die Be- und Entladung und vielfach auch das Rangieren der Wagen innerhalb der Gleisanschlüsse ist Aufgabe der Kunden. Um einen effektiven Transport sicherstellen zu können, werden Wagen mehrerer Kunden gesammelt und in die gleiche Richtung zu befördernde Wagen werden zu Zügen zusammengestellt. Dabei wird im Nahbereich für die Sammlung ein hierarchisches System von Zugbildungsbahnhöfen verwendet.

¹⁶ *Siegmann, Jürgen (1998), Seite 344*

¹⁷ *Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001), Seite 538.*

¹⁸ *Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001), Seite 539*

Der Anteil der im Einzelwagenverkehr beförderten Gütermengen am gesamten Schienengüterverkehr beträgt ca. 30 %, es werden jedoch 50 % der Gesamterlöse erwirtschaftet.¹⁹ Er ist damit, gemessen an den Umsätzen, immer noch das wichtigste Standbein der meisten europäischen Bahnen im Güterverkehr.²⁰ Allerdings sind bedingt durch Umstrukturierungen in der Wirtschaft die sporadischen Gleisanschlussverkehre in der Fläche stark zurückgegangen, während die Kunden mit starkem und regelmäßigem Verkehr bevorzugt bedient werden.²¹ Das lässt den Schluss zu, dass der Einzelwagenverkehr sich inzwischen von einem flächendeckenden System hin zu einem Logistiksystem für Großkunden entwickelt hat.

2.3.3 Stückgutverkehr

Der Bereich Stückgutverkehr umfasst alle Sendungen, die kleiner sind als eine ganze Güterwagenladung. Dieser Bereich wurde bei der Eisenbahn traditionell durch den Stückgut- und Expressgutverkehr abgedeckt. Allerdings wurde der Bereich in der Vergangenheit stark konsolidiert. Im Jahre 1997 wurde er komplett aus der Deutschen Bahn AG ausgegliedert und an eine Spedition abgegeben. Stückgüter werden nur noch dann auf der Bahn befördert, wenn sich die Einzelsendungen auf Teilstrecken zu Komplettladungen zusammenfassen lassen und für den Spediteur diese Komplettladungen wirtschaftlicher auf der Schiene als auf der Straße zu transportieren sind. Die Komplettladungen werden dann im System des Einzelwagenverkehrs oder des Kombinierten Ladungsverkehrs befördert.

2.3.4 Kombiniertes Ladungsverkehr

Der Kombinierte Ladungsverkehr umfasst die Kooperation verschiedener Verkehrsträger im Verlauf der Transportkette, wobei das Transportgefäß beibehalten wird und zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern umgeladen wird.²² Für den Schienenverkehr wichtig ist vor allem der Kombinierte Verkehr mit dem Straßenverkehr. Dabei wird das Sammeln und Verteilen der Behälter durch den

¹⁹ Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001), Seite 539

²⁰ Siegmann, Jürgen (1998), Seite 346

²¹ Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001), Seite 540

²² Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001), Seite 540f

Lkw durchgeführt. Der Langlauf erfolgt als gebündelter Transport auf der Schiene.

Es wird dabei zwischen begleitetem Kombinierten Verkehr und unbegleitetem Kombinierten Verkehr unterschieden. Beim begleiteten Kombinierten Verkehr erfolgt die Verladung kompletter Lkw mit Zugmaschine; der Fahrer wird im Zug mitbefördert. Der unbegleitete Verkehr umfasst den Transport von Containern, Wechselbrücken und Sattelaufliegern. Das Zugfahrzeug und der Fahrer verbleiben am jeweiligen Be- bzw. Entladeort.

2.4 Die Produktionsverfahren im Schienengüterverkehr

Als Produktionsverfahren werden nach BERNDT die „grundlegenden betrieblichen Abläufe bezeichnet, die zur Erbringung der als Produkte definierten Dienstleistungen erforderlich sind.“²³ Hier sollen daher zunächst alle wesentlichen Produktionsverfahren des Schienengüterverkehrs vorgestellt und mit ihren grundlegenden Eigenschaften beschrieben werden.

²³ *Berndt, Thomas (2001), Seite 42*

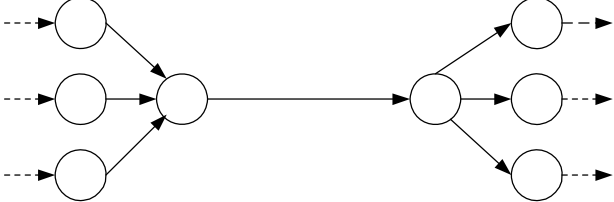
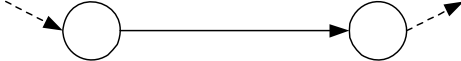
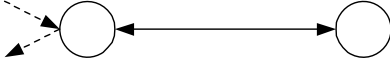
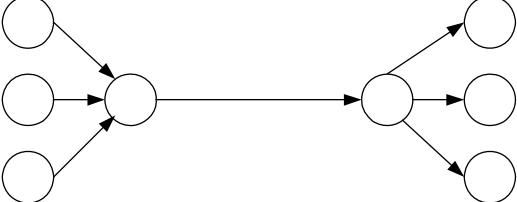
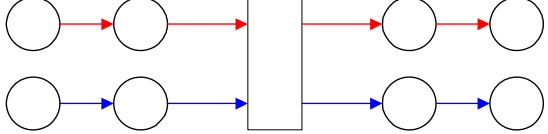
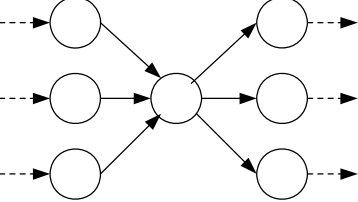
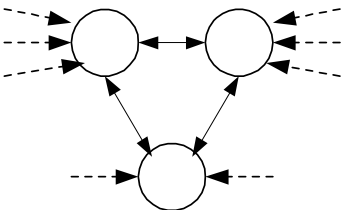
Bezeichnung des Produktionsverfahrens	Darstellung (Systemskizze)	Rangieraufwand
(Flexibles) Knotenpunktsystem		hoch bis sehr hoch
Direktzüge		sehr gering
Shuttle-Zug		sehr gering
Train-Coupling and -Sharing		mäßig
Linienzüge		sehr gering
Hub-and-Spoke-Systeme		gering bis hoch
Drehscheibensysteme		gering bis hoch

Abbildung 1 Verfahren bei der Produktion von Schienenverkehrsleistungen²⁴

2.4.1 Knotenpunktsystem

Das Knotenpunktsystem wurde im Jahre 1975 als Produktionsform für den Einzelwagenverkehr bei der damaligen Deutschen Bundesbahn eingeführt.

²⁴ Eigene Darstellung nach *Berndt, Thomas (2001), Seite 48.*

Das Knotenpunktsystem unterteilt die Netzknoten im Eisenbahnnetz in vier Hierarchieebenen: Gleisanschluss (GA), Güterverkehrsstelle (GVS), Satellit (Sat), Knotenpunktbahnhof (Kbf) und Rangierbahnhof (Rbf). Die Güterverkehrsstellen stellen mit den zugeordneten Gleisanschlüssen die Quellen bzw. die Ziele der Verkehre dar. Die Wagen aus den einzelnen Güterverkehrsstellen werden im zugehörigen Satelliten gesammelt, zu einer „Bedienungsfahrt im Knotenpunktbereich“²⁵ zusammengestellt und zum zugehörigen Knotenpunktbahnhof gefahren. Dort werden die Bedienungsfahrten aus den Satelliten zu RegionalCargo-Zügen zusammengefasst und zum Rangierbahnhof gefahren. Im Rangierbahnhof werden die zulaufenden Wagen nach ihren Zielen geordnet und zu Zügen für den jeweiligen Empfangs-Rangierbahnhof zusammengefasst. In der Zielregion erfolgt die Verteilung der Wagen vom Empfangs-Rangierbahnhof zu den Gleisanschlüssen in umgekehrter Reihenfolge wie bei der Sammlung. Sofern eine Rangierbahnhof-Rangierbahnhof-Relation nicht ausreichend Verkehrsaufkommen besitzt, können die Wagen auch über einen dritten Rangierbahnhof geleitet werden.

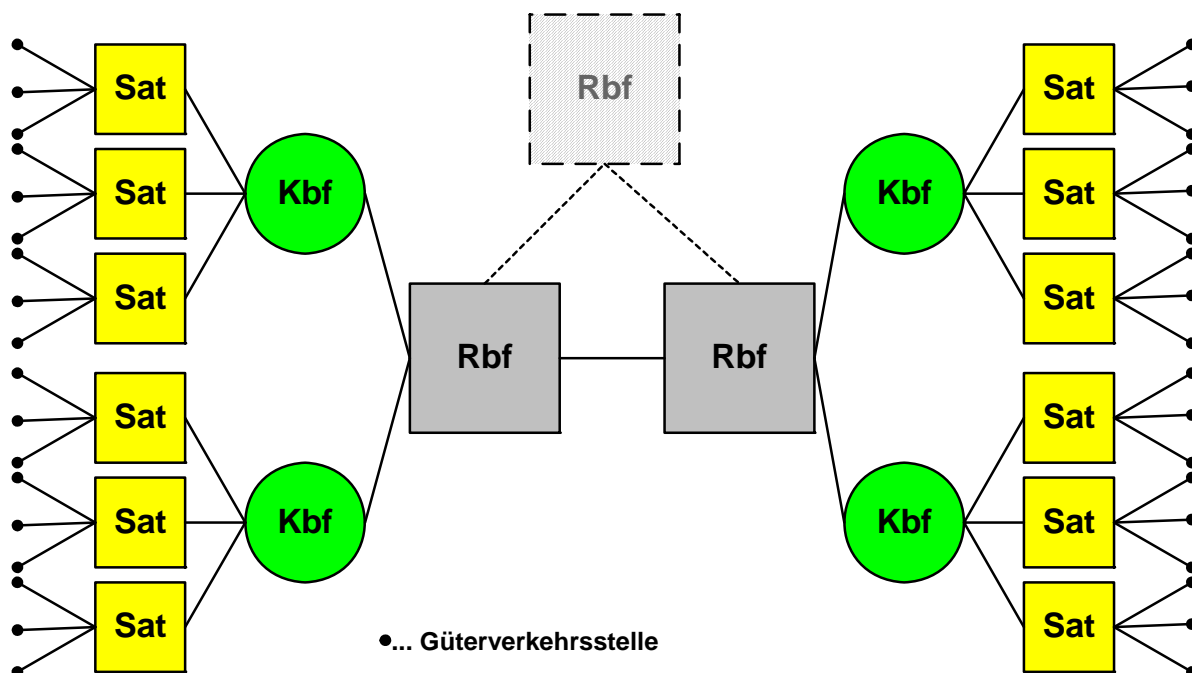


Abbildung 2 Prinzipskizze des Knotenpunktsystems

²⁵ Zuggattung gemäß *DB Netz AG (Hrsg.) (2004)*, Modul 402.208, Anhang 1

2.4.2 Flexibles Knotenpunktsystem

Im Zuge der Weiterentwicklung der Produktionsmethoden des Einzelwagenverkehrs wurde das Knotenpunktsystem nach seiner Einführung zunehmend flexibilisiert. Das so geschaffene Flexible Knotenpunktsystem ist das heute vorherrschende Produktionssystem für den Einzelwagenverkehr bei der Deutschen Bahn.²⁶

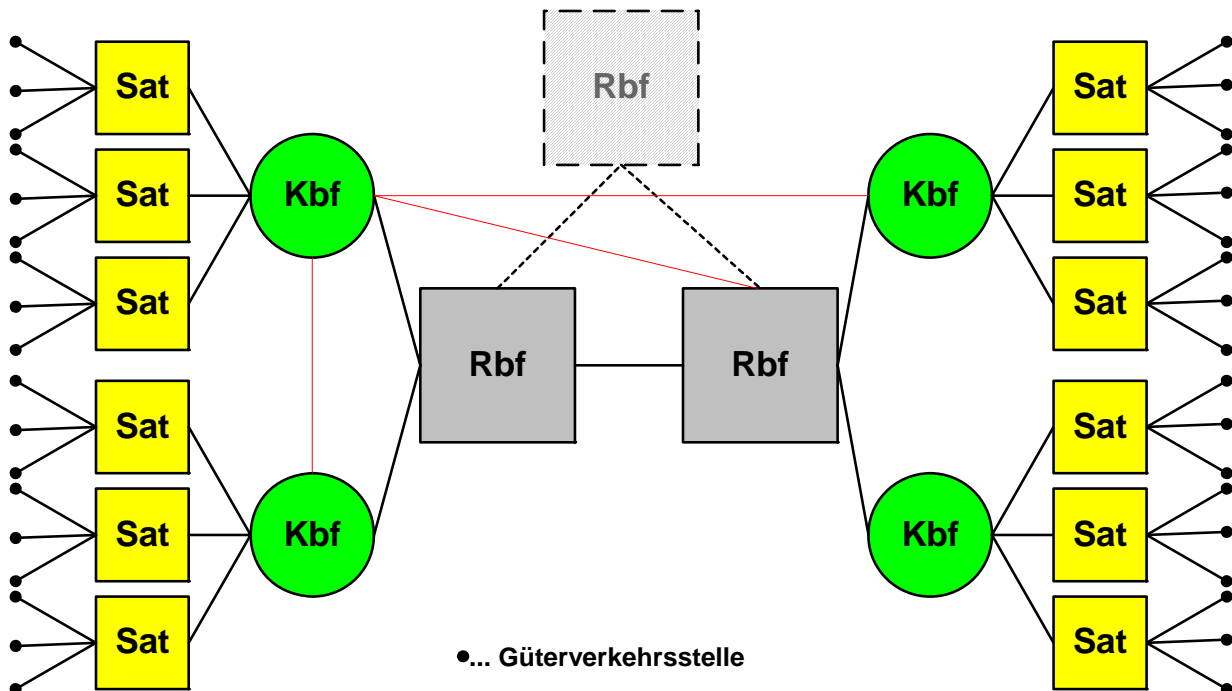


Abbildung 3 Prinzipskizze des flexiblen Knotenpunktsystems

In Abwandlung des klassischen Knotenpunktsystems ermöglicht das flexible Knotenpunktsystem eine Anpassung der Anzahl der im Verlaufe eines Transportes berührten Knotenpunktbahnhöfe und Rangierbahnhöfe in Abhängigkeit vom jeweils aktuell vorhandenen Transportaufkommen auf einer Relation und im Gesamtnetz:

- Aufkommensschwache Verbindungen zwischen zwei Rangierbahnhöfen werden nicht bedient, sondern werden in stärker ausgelasteten Zügen mitbefördert und über einen dritten Rangierbahnhof geleitet (gestrichelte Linien). Dort werden die Wagen zwischen zwei Zügen umgestellt.

²⁶ Beisler, Lothar; Ketter, Jürgen und Peter Molle (1995), Seite 225ff.

- Aufkommensstarke Relationen zwischen zwei Knotenpunktbahnhöfen oder zwischen einem Knotenpunktbahnhof und einem Rangierbahnhof (rote Linien) können im Direktverkehr mit einem durchlaufenden Zug bedient werden.

Hieraus resultieren mehr Freiheiten bei der Zugbildung und Routenwahl. Unter Nutzung von EDV-Systemen erfolgt eine bessere Anpassung der Zugleistungen an die tagesaktuelle Nachfrage.²⁷

Die Systemkosten des einfachen Knotenpunktsystems entstehen vor allem durch die hohen Kosten für das Vorhalten und den Betrieb der Rangieranlagen. Die Deutsche Bahn AG verfolgt daher das Ziel, den Personalbedarf durch erhöhten Einsatz moderner Technik zu verringern. Dazu ist eine möglichst gleichmäßige Beschickung der Rangieranlagen erforderlich. Die größere Variabilität bei der Auswahl von Direktverbindungen erleichtert es beim flexiblen Knotenpunktsystem, eine gleichmäßige Auslastung der Rangieranlagen zu erzielen.

Dennoch lassen sich auch durch das flexible Knotenpunktsystem wesentliche Probleme des Schienengüterverkehrs nicht vermeiden: Aufgrund der immer noch erforderlichen mehrfachen Umstellung der Wagen entsteht ein hoher Kosten- und Zeitaufwand für die Zugbildung. Der Aufwand für das Rangieren und die Zugbildung beträgt, bedingt durch die personalintensiven Abläufe bei der Zugbildung (Kuppeln, Schlauchen der Bremsleitungen, Füllen der Bremsanlage, Zugprüfung, Bremsprobe etc.) ca. 30 % des Gesamtaufwandes für die Erbringung der Transportleistung. Die Zeitverluste bei der Zugbildung und der Nahbereichsbedienung machen 70 bis 80 % der Gesamttransportzeit von Gleisanschluss zu Gleisanschluss aus. Nur 20 bis 30 % der Transportzeit entfallen auf die Beförderung im Hauptlauf.²⁸

Das Ergebnis sind auch heute noch lange Beförderungszeiten und lange Standzeiten der Wagen im Einzelwagenverkehr, die mit einer zeitlich unflexiblen Bedienung der Gleisanschlüsse einhergehen.

²⁷ *Siegmann, Jürgen (1998)*

²⁸ *Siegmann, Jürgen (1998)*

2.4.3 Direktzüge

Direktzüge verkehren als Ganzzüge ohne Wagenumstellung zwischen zwei Gleisanschlüssen. Sie besitzen dabei häufig einen festen Umlauf. Züge zwischen KLV-Terminals oder Rangierbahnhöfen, die ebenfalls als Ganzzüge fahren, zählen in der hier benutzten Definition nicht zu den Direktzügen. Im Vergleich zu den Einzelwagen im Knotenpunktsystem entfallen bei den Direktzügen die aufwändigen Umstellvorgänge in den Rangierbahnhöfen und es werden erheblich höhere Reisegeschwindigkeiten erreicht. Damit ist es möglich, Direktzüge wirtschaftlich zu betreiben, sofern sie über eine ausreichende Wagenanzahl verfügen. Als Produktionsmodell für den Einzelwagenverkehr sind Direktzüge nicht geeignet, da bei zu geringer Wagenanzahl insbesondere durch die Trassenkosten sehr hohe Kosten pro beförderten Wagen anfallen. Direktzüge erfordern ein ausreichendes Aufkommenspotential, das möglichst paarig in beiden Richtungen vorhanden sein muss. Damit bleibt dieses System in der Regel auf wenige Relationen beschränkt.²⁹

Direktzüge verkehren derzeit unter anderem im Werksverkehr großer Produktionsbetriebe. Sofern ein einzelnes Unternehmen keine ausreichenden Transportmengen generieren kann, wird über Firmenkooperationen eine ausreichende Auslastung erreicht. Ein erfolgreiches Beispiel stellt die von ABX Logistics und Optimus (Karstadt) organisierte Kooperation der Firmen Karstadt, Woolworth, Alno und Geberit dar, die täglich zwischen dem Ruhrgebiet und München fahren.³⁰

2.4.4 Shuttle-Züge

Shuttle-Züge stellen eine Sonderform von Direktzügen dar. Sie pendeln in fester Zugzusammenstellung zwischen zwei Gleisanschlüssen oder zwischen einem Gleisanschluss und einem Terminal des Kombinierten Ladungsverkehrs. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb dieser Zuggattung sind stabile Verkehre, mit einem annähernd gleich großen und gleichartigen Verkehrsaufkommen in beiden Transportrichtungen.³¹

²⁹ *Beisler, Lothar (1995)*

³⁰ *VDI-Nachrichten (2001)*, Seite 16

³¹ *Beisler, Lothar (1995)*, Seite 242

Da die Wagenzusammenstellung der Züge nicht geändert werden muss, können die Züge mit sehr geringem betrieblichem Aufwand für die Zugbildung gefahren werden. Die Wagen sind in einem ständigen Kreislauf unterwegs, so dass Standzeiten minimiert werden können. Damit können sehr hohe Laufleistungen erzielt werden.³²

Die Voraussetzungen für diese Betriebsform sind, bedingt durch den Wandel von Massengutsendungen zu immer kleineren und flexiblen Produktionseinheiten, leider nur sehr selten anzutreffen. Allerdings lassen sich mit Shuttle-Zügen dezentrale Umschlagpunkte des Kombinierten Verkehrs einfacher in ein bestehendes Netz einbinden.³³

2.4.5 Train-Coupling-and-Sharing (TCS)

Das System „Train-Coupling-and-Sharing“ basiert auf einer Bedienung der Fläche mit eigenständigen kleinen Zugeinheiten, die in Zugbildungsbahnhöfen zu voll ausgelasteten Zügen für den Hauptlauf gekuppelt werden.³⁴ Am Ende des Hauptlaufes werden die Kurzzüge wieder getrennt und fahren einzeln in die Fläche.

Um Rangiervorgänge zu vermeiden, wird bei der Zugbildung der Kurzzüge (Module) sichergestellt, dass die Wagen bis zum Ziel nicht mehr umgestellt werden müssen. Jedes der Module besitzt ein eigenes Triebfahrzeug, das mit den übrigen im Zugverband mitlaufenden Triebfahrzeugen synchronisiert wird.

Train-Coupling-and-Sharing ermöglicht es, flexibel auf variierende Nachfragemengen und Nachfragezeiten zu reagieren. Die Kurzzüge im Nahbereich benötigen allerdings jeweils eine eigene Trasse und führen damit zu einer Erhöhung des Trassenbedarfs und damit der Trassenkosten.

Ein Beispiel für den Einsatz von Train-Coupling and -Sharing ist der Mitte der 90er Jahre im Auftrag der Deutschen Bahn entwickelte CargoSprinter, der als Kurzzug aus zwei Triebfahrzeugen (Kopf und Ende) und drei oder vier Mittelwagen besteht, wobei fünf oder sechs Ladeeinheiten geladen werden können

³² Berndt, Thomas (2001), Seite 47

³³ Buchholz, Jonas und Klaus-Martin Melzer (1996), Seite 99

³⁴ Jahnke, Bernd (1995), Seite 238f

(je eine auf dem Triebfahrzeug und auf jedem Mittelwagen).³⁵ Die Fahrzeuge können ohne Rangieraufwand im festen Zugverband zur Bedienung der Region im Gleisanschlussverkehr eingesetzt werden. Durch Kuppeln von bis zu sieben CargoSprintern entstehen längere Zugverbände, die im Hauptlauf mit einer Traktionssteuerung nach dem Master-Slave-Prinzip gefahren werden.

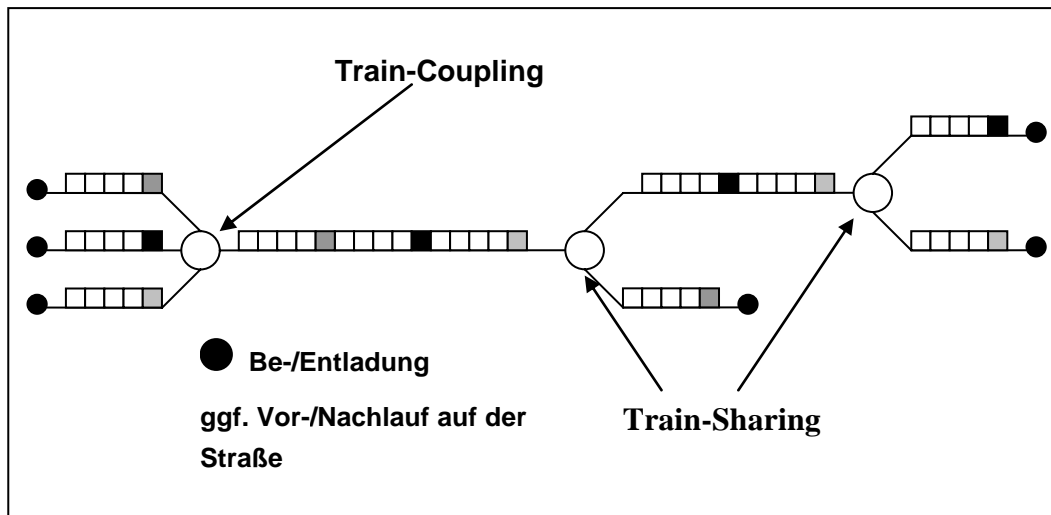


Abbildung 4 Train-Coupling and -Sharing³⁶

Der Einsatz wurde im Jahre 1999 beendet. In der Einsatzzeit haben sich einige Schwachpunkte bei Leistung und Betrieb der allgemein als innovativ anerkannten Fahrzeuge herausgestellt. Die Fahrzeugtechnik war überzogen, so dass die Kosten für die einfachen Gütertriebzüge zu hoch waren und damit keine Konkurrenzfähigkeit zum Lkw zu erzielen war. Eine Serienfertigung blieb aus, weil die technischen Möglichkeiten des Fahrzeuges im Gleisanschluss überdimensioniert waren und das Fahrzeug für den Einsatz auf der Strecke unwirtschaftlich motorisiert war.³⁷

2.4.6 Hub and Spoke-System (HSS)

Für die Bedienung von Gleisanschlüssen mit hohem Potenzial, bei denen aufgrund der dispersen Verteilung der Ziele das Potenzial für einen Direktzug nicht ausreicht, ist das Hub-and-Spoke-System eine mögliche Produktionsform. Die Züge von den einzelnen Gleisanschlüssen fahren direkt und zielrein auf einen

³⁵ Wessels, Christoph (1999), Seite 70ff

³⁶ Quelle: Heinisch, Roland (1997), Seite 14

³⁷ Barkhausen, Dirk (2000), Seite 217

Umstellbahnhof (Hub) zu. In diesem werden entweder die beförderten Güter umgeladen oder die Transportbehälter (Container) oder Wagen umgestellt. Nach der Umstellung fahren neu zusammengestellte, zielreine Züge zu den bedienten Zielbahnhöfen bzw. Zielhubs.³⁸

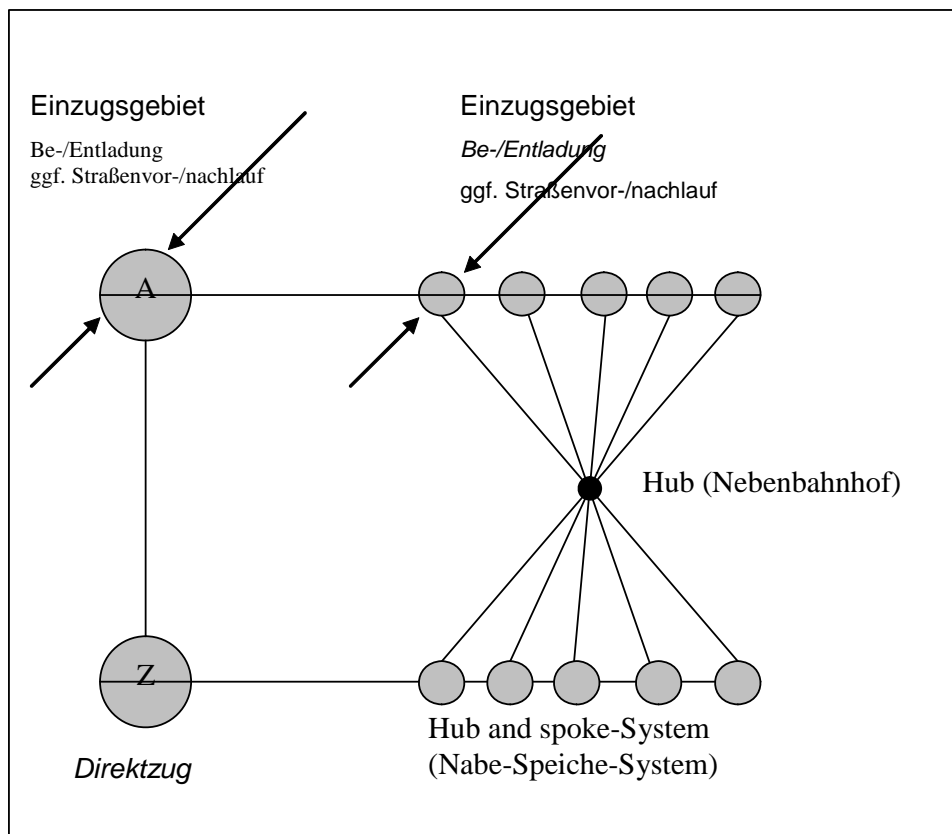


Abbildung 5 Vergleich des Direktzugsystems mit dem Hub-and-Spoke-System³⁹

Im Hub sind Umschlag- und Sortieranlagen erforderlich. Bedingt durch die Kosten für den Umschlag und die aus der höheren Umwegigkeit resultierenden höheren Trassen- und Traktionskosten ist das Hub-and-Spoke-System prinzipiell zunächst teurer als ein Direktzugsystem. Gleichzeitig sind aber beim Hub-and-Spoke-System im Vergleich zu Direktzügen die erforderlichen relationsbezogenen Mengenpotenziale erheblich geringer und es können sich Kostenvorteile durch eine bessere Auslastung der Zugfahrten ergeben. Es sind weniger Sammel- und Verteilfahrten per Lkw erforderlich, so dass die Straßenvor- und -nachlaufkosten geringer sind. Bislang wurden Hub-and-Spoke-Systeme überwiegend im Lkw-Verkehr und im Luftverkehr realisiert. In Deutschland wurde für

³⁸ Beisler, Lothar (1995), Seite 244

³⁹ nach Beisler, Lothar (1995), Seite 243

den Schienenverkehr ein Hub-and-Spoke-System für den zeitkritischen Verkehr im Entfernungsbereich bis 400/450 km zwar konzipiert, aber bislang nicht umgesetzt.⁴⁰

2.4.7 Linienzüge

Linienzüge sind Züge des Kombinierten Ladungsverkehrs, die aus einem festen Tragwagenverband bestehen, der im Betrieb nicht getrennt wird.⁴¹ Die Züge verkehren nach einem festen Fahrplan mit vorher festgelegten Zwischenhalten. An den Zwischenhalten können Container aufgenommen und abgesetzt werden. In Korrespondenzbahnhöfen treffen zwei oder mehr Züge gleichzeitig ein, um so das Umladen der Container zwischen den Zügen zu ermöglichen. Entlang der Strecke können ferner Ladeeinheiten aufgenommen und abgesetzt werden.

Der Vorteil des Linienzugsystems liegt im schnellen Transport bei kurzen Umschlagzeiten. Darüber hinaus können über Zwischenhalte auch kleinere Terminals angebunden werden, bei denen das Aufkommen für die Bedienung durch einen Direktzug nicht ausreicht. Das Linienzugsystem ermöglicht es, Umschlagpunkte mehrmals an einem Tag zu bedienen, so dass die Terminals gleichmäßiger ausgelastet und der Straßenvor- und -nachlauf entzerrt werden kann.

Durch den festen Zugverband und die feste Fahrtstrecke mit mehreren Zwischenhalten entfällt die Möglichkeit, die Wagenzahl des Zuges der jeweiligen Nachfrage anzupassen. Als Folge daraus sinkt die mittlere Auslastung der Züge. Für die Besetzung der Tragwagen mit Ladeeinheiten ist ein Planungsvorlauf erforderlich. Durch die beschränkte Kapazität und die fehlende Möglichkeit, die Züge durch zusätzliche Wagen zu verstärken, können spontane Aufträge nicht in jedem Fall berücksichtigt werden.

⁴⁰ *Beisler Lothar (1995)*

⁴¹ *Beisler, Lothar (1995)*

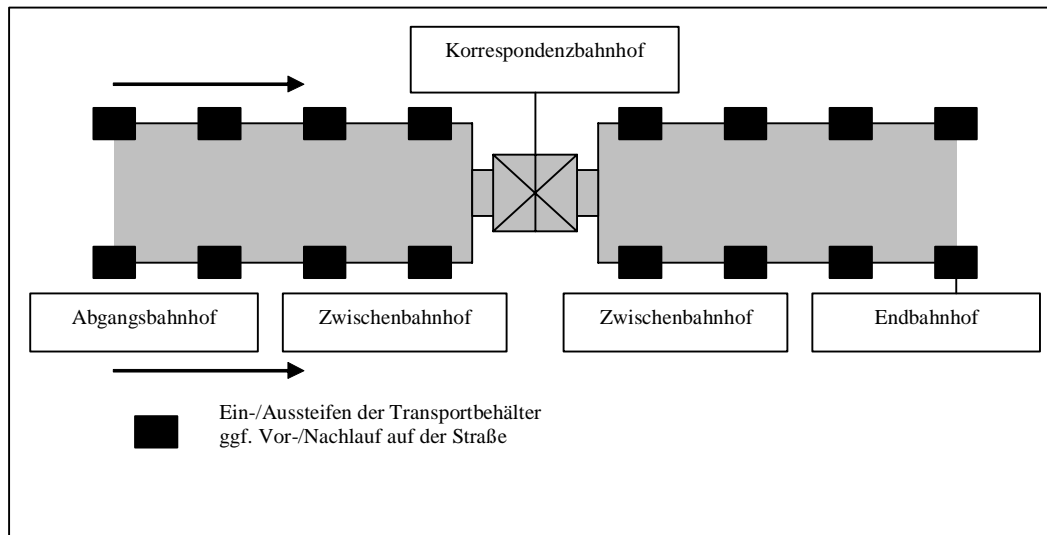


Abbildung 6 Prinzipskizze für ein Netz eines Linienzugsystems⁴²

Für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Linienzugsystems ist eine gleichmäßige ganztägige Auslastung erforderlich. Bisher sind jedoch viele Transportvorgänge auf eine Über-Nacht-Beförderung ausgerichtet.

Die Integration bestehender KLV-Terminals in ein Linienzugsystem ist nur unter Schwierigkeiten möglich, da die Terminals nur für die Abwicklung beginnender bzw. endender Züge ausgelegt sind und zumeist nur einseitig an das Schienennetz angebunden sind. Die Umwandlung in eine für durchgehende Züge geeignete, zweiseitig angebundene Anlage lässt sich nachträglich nur mit hohem Aufwand umsetzen.

Die Zwischenbahnhöfe lassen teilweise nur geringe Verkehrsaufkommen erwarten, so dass deren Wirtschaftlichkeit aufgrund der Kosten für die Vorhaltung von Umschlaggeräten und des zugehörigen Personals fraglich ist.

Ein Linienzugkonzept ist bei der Deutschen Bahn unter dem Namen Cargo-Takt-System entwickelt und in deren Auftrag von der RWTH Aachen untersucht worden. Die Untersuchung kam allerdings zu dem Ergebnis, dass sich mit der damals vorhandenen Technik ein derartiges System nicht wirtschaftlich betreiben lässt. Das kann sich aber bei Einsatz moderner Technologien ändern.⁴³

⁴² Quelle: *Beisler, Lothar (1995)*

⁴³ *Müller; Axel (1999)*

2.4.8 Drehscheibensystem

Das Drehscheibensystem (DSS) ist eine für den Kombinierten Ladungsverkehr modifizierte Form des Hub-and-Spoke-Systems.⁴⁴ Es verfügt nur über wenige zentrale Hubs. Das System wird in Deutschland seit dem Fahrplanwechsel 1995 für den Kombinierten Ladungsverkehr angewendet. Es besteht aus mehreren Drehscheiben, auf die die Sammel- und Verteilverkehre sowohl per Lkw als auch in geringem Umfang auf der Schiene sternförmig ausgerichtet werden. In den Drehscheiben erfolgt ein Umsetzen der Ladeeinheiten durch Horizontal-Umschlaganlagen oder eine Umstellung der Wagen auf Direktzüge zu den jeweiligen Ziel-Drehscheiben. Dort erfolgt erneut ein Umsetzen oder eine Umstellung in die Züge zur Feinverteilung in der Fläche. Das System besteht derzeit aus den fünf Drehscheiben-Terminals Köln-Eifeltor, Hagen, Elze, Donauwörth und Mannheim sowie der Hilfsdrehscheibe Großkorbetha.

Das Umsetzen oder Umstellen muss zur Sicherung kurzer Transportzeiten schnell erfolgen, kostengünstig sein und eine schonende Behandlung des Gutes sicherstellen.⁴⁵ Nachteilig ist der durch die geringe Anzahl an Drehscheiben bedingte lange, meist auf der Straße durchgeführte Vor- und Nachlauf.

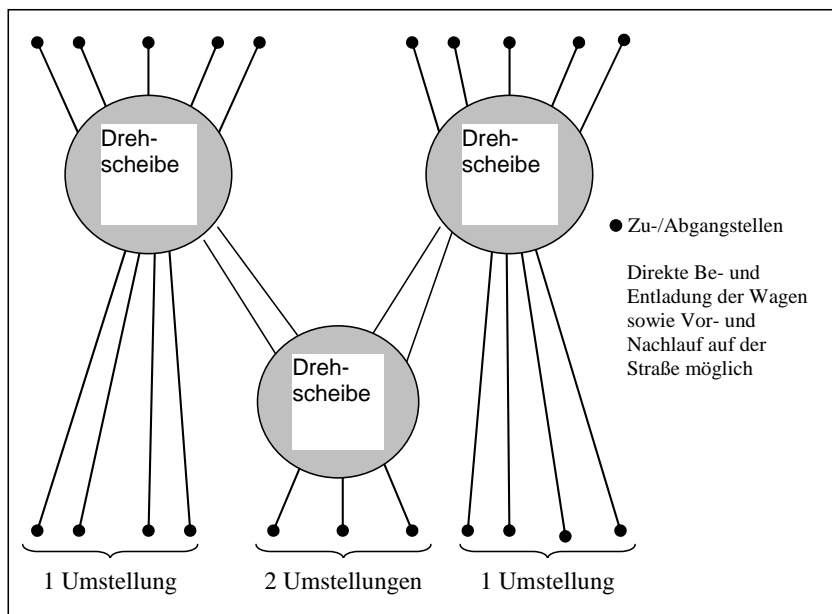


Abbildung 7 Drehscheibensystem mit ein oder zwei Umstellungen⁴⁶

⁴⁴ Beisler, Lothar (1995)

⁴⁵ Beisler, Lothar (1995)

⁴⁶ Quelle: Beisler, Lothar (1995), Seite 244

2.5 Definition von Qualitätskriterien und Beurteilung der Qualität des Einzelwagenverkehrs

Die deutschen Eisenbahnen haben in den vergangenen Jahrzehnten in großem Umfang Marktanteile an den Straßengüterverkehr abgeben müssen. Für den Einzelwagenverkehr sind keine genauen Zahlen verfügbar, so dass auf die Zahlen für den gesamten Schienengüterverkehr Bezug genommen werden muss. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Entwicklung im Einzelwagenverkehr ungünstiger ist als im Gesamtmarkt. Die Transportleistung im Eisenbahnverkehr ist zwar von 1970 bis 2003 um 9,8 % gestiegen und mit 78,5 Mio. tkm so hoch wie niemals zuvor. Dennoch ist der Marktanteil des Schienenverkehrs bezogen auf die Transportleistung (tkm) von 33,1% im Jahr 1970 auf 17,7% im Jahr 2003 zurückgegangen.⁴⁷ Die Ursachen hierfür sind vielfältig, die Situation im Schienengüterverkehr wird jedoch geprägt von dramatischen Veränderungen hinsichtlich⁴⁸:

- **der Güterstruktur:** Die Bedeutung traditioneller Nachfrager, wie Montanindustrie und Landwirtschaft schwindet, während die Bedeutung zeitkritischer Kaufmannsgüter oder auch von KEP-Verkehren⁴⁹ mit engen Zeitfenstern zunimmt. Damit reduziert sich das Verkehrsaufkommen bei den traditionell eisenbahnaffinen Transporten von wenig zeitkritischen Massengütern.
- **der Produktionsabläufe (Logistik):** Viele Unternehmen konzentrieren sich auf ihre Kernkompetenzen und lagern Leistungspakete aus. Dies führt zu einer zunehmenden, auch räumlichen, Arbeitsteilung in der Volkswirtschaft. Logistikdienstleistungen werden zwischenzeitlich am Markt eingekauft. Sie sollen sich dennoch nahtlos in die Wertschöpfungskette einfügen und müssen daher in hoher Qualität erbracht werden. Spurbindung, Fahrplanbindung und Produktionsverfahren setzen dem Eisenbahnverkehr Grenzen, die sich negativ auf die Qualität der Leistung auswirken.
- **der geltenden Marktregulierung:** Durch die Liberalisierung des Eisenbahnwesens ist der politische Einfluss zugunsten marktwirtschaftlicher Strukturen zurückgedrängt worden. Damit wird es den Eisenbahnverkehrs-

⁴⁷ Zahlen aus: *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2003) und Statistische Bundesamt (2006)*

⁴⁸ *Berndt, Thomas (2001), Seite 72ff*

⁴⁹ KEP bedeutet: Kurier, Express, Post

unternehmen möglich, analog zum Straßengüterverkehr zu agieren. Sie können Teilleistungen einkaufen, um neue Leistungsangebote anzubieten, ohne über eigene Infrastruktur und Fahrzeuge verfügen zu müssen. Die zunehmende Liberalisierung stärkt als einzige Entwicklung tendenziell die Marktposition des Schienengüterverkehrs.

- **der Produktionsstrukturen bei den Transportkunden:** Durch die Vollendung des EU-Binnenmarktes und die EU-Osterweiterung nimmt die Internationalisierung der Produktionsstrukturen bei den Transportkunden zu. Die europäischen Bahnen können jedoch aufgrund der mangelnden Interoperabilität nur begrenzt am Wachsen des Transportbedarfs partizipieren.
- **der Wettbewerbssituation gegenüber anderen Verkehrsträgern:** Der Straßengüterverkehr verfügt mit dem Straßennetz über eine sehr feinmaschige Infrastruktur. Die Flächenerschließung erfolgt über öffentliche finanzierte Wege. Die Eisenbahnen müssen ihre Infrastruktur für den Güterverkehr überwiegend selbst finanzieren. Weitere Vorteile bei Transportzeiten und Transportkosten kann der Straßengüterverkehr aus der gezielten Regelübertretung erzielen.⁵⁰ Ein weiteres Problem des Schienenverkehrs ist der durch die Fahrplanbindung relativ lange Planungsvorlauf und Planungsaufwand.

Die Qualitätsmaßstäbe für die Leistungserbringung werden den Bahnen von den Kunden über einen Vergleich mit den konkurrierenden Verkehrsträgern gemacht. Dabei spielen Zeit, Flexibilität, Service und Wirtschaftlichkeit eine große Rolle.

Der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) hat im Jahre 1999 eine Umfrage zu den Ansichten industrieller Verlager zum Schienengüterverkehr durchgeführt. Befragt wurden 126 verladende Unternehmen aus 22 Industriebereichen.⁵¹ Bei der Frage nach den Kriterien für die Wahl der Verkehrsträger wurden in absteigender Reihenfolge folgende Kriterien für die Durchführung von Transporten, bei denen Eisenbahnunternehmen als Transportdienstleister in Frage kommen, als sehr wichtig (mehr als 50 % der Nennungen im Bereich „sehr wichtig“) angesehen:

⁵⁰ *Abel, Heiko; Grotian, Jobst und andere (2003)*

⁵¹ *Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000)*

- Preis-Leistungs-Verhältnis
- Zuverlässigkeit der Transporte
- Pünktlichkeit der Transporte
- Schadensfreiheit
- Kurzfristige Verfügbarkeit
- Kurze Transportlaufzeit
- Zeitnahe Bereitstellung

Für eine Einordnung des Einzelwagenverkehrs in die Qualitätsansprüche der Verlager werden diese Kriterien in 3 Gruppen zusammengefasst:

- **Zeitliche Kriterien:** Hierunter fallen die Transportlaufzeiten, die kurzfristige Verfügbarkeit und die zeitnahe Bereitstellung.
- **Zuverlässigkeit:** Hierunter fallen die Zuverlässigkeit der Transporte, die Pünktlichkeit und die Schadensfreiheit.
- **Transportkosten:** Hierunter fällt unter anderem das Preis-Leistungs-Verhältnis.

2.5.1 Die Transportzeiten als Qualitätskriterium

2.5.1.1 Transportlaufzeiten

Die Befragung der Verlager zeigt, dass fast drei Viertel der nationalen Transporte in einem Zeitfenster bis zu 24 Stunden abgewickelt werden sollen. Eine Transportdauer von mehr als 72 Stunden entspräche nur bei 2 % der Sendungen den Anforderungen der Verlager.

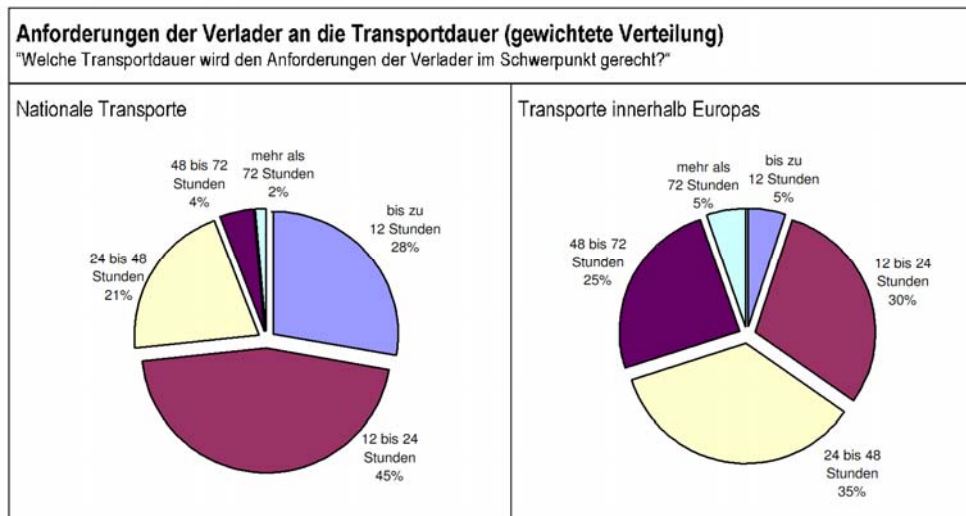


Abbildung 8 Anforderungen der Verlager an die Transportdauer ⁵²

Zum Vergleich, inwiefern die Anforderungen der Verlager im Straßengüterverkehr und Schienengüterverkehr erfüllt werden, wird ein fiktiver Transport über eine Entfernung 600 km analysiert. Wenn man die Rahmenbedingungen von Stinnes Logistics für das Quality-Produkt⁵³ zugrunde legt, ergibt sich ein Zeitbedarf von ca. 48 Stunden vom Ladeschluss des Wagens bis zur Anrampung am Ziel. Für den Straßengüterverkehr ergibt sich unter Annahme einer mittleren Reisegeschwindigkeit von rund 70 km/h⁵⁴ eine Transportzeit von ca. 9 Stunden von Ladeschluss bis Anrampung am Ziel. (vgl. Abbildung 9).

⁵² Quelle: *Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000)*, Seite 9

⁵³ Daten aus: *Stinnes Logistics (2005)*

⁵⁴ Es ist zu erwarten, dass trotz Zeitverluste durch Stau im Lkw-Verkehr eine deutlich höhere mittlere Reisegeschwindigkeit zu erwarten ist, da eine Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h im Lkw-Verkehr üblich ist. Nach *Abel, Heiko; Grotian, Jobst und andere (2003)* liegen die beobachteten Geschwindigkeitsübertretungen im Bereich zwischen 12 und 20 Prozent der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, wobei die große Masse der Lkw die vorgeschriebene Geschwindigkeit überschreitet.

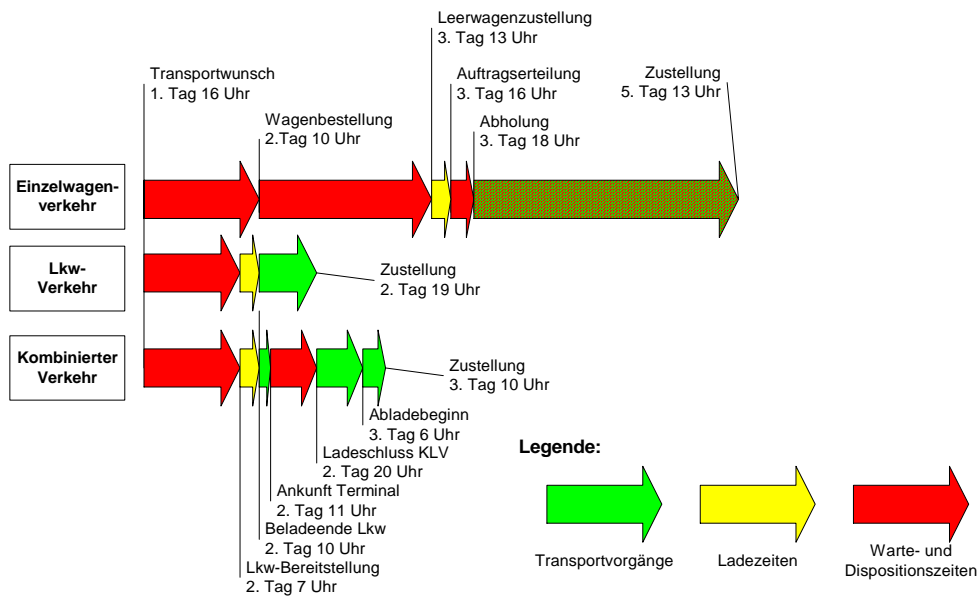


Abbildung 9 Vergleich des Transportzeitbedarfs zwischen dem Einzelwagenverkehr (Quality-Produkt), dem kombinierten Verkehr und dem Lkw-Verkehr bei einer Transportentfernung von 600 km.⁵⁵

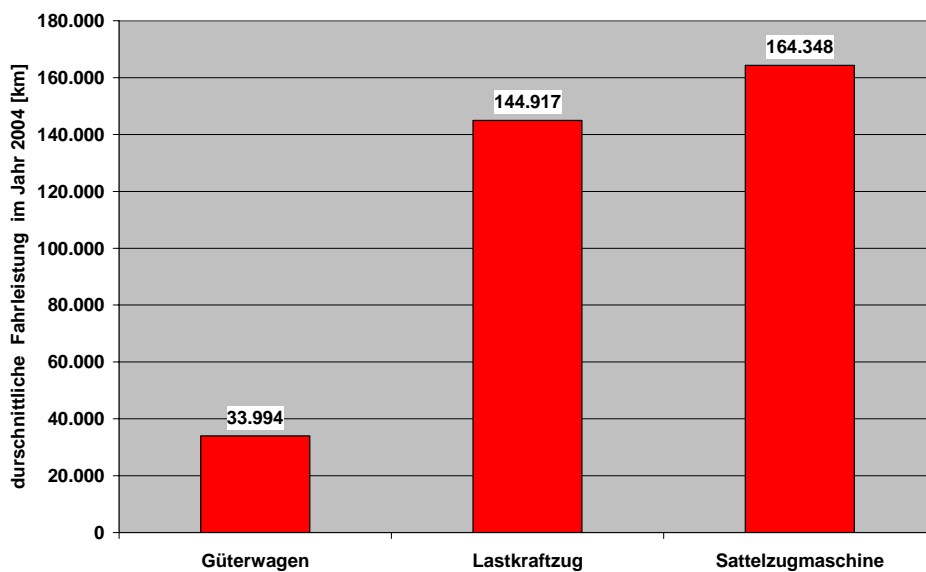


Abbildung 10 Vergleich der mittleren jährlichen Fahrleistung zwischen einem durchschnittlichen Eisenbahnwagen, einem Lastzug und einer Sattelzugmaschine im Jahr 2004.⁵⁶

⁵⁵ Eigene Berechnungen, im Einzelwagenverkehr auf Basis der Produktbeschreibung des Quality-Produkts im Einzelwagenverkehr.

⁵⁶ Für Güterwagen: Berechnung der Laufleistung aus den Angaben in *Deutsche Bahn (Hrsg.) (2005)*: Im Jahr 2004 wurde im Schienengüterverkehr eine Verkehrsleistung von 83.982 Mio. tkm mit Wagen mit einer Ladekapazität von 4.941 Tsd. t erbracht. Bei einer geschätzten mittleren Auslastung der Ladekapazität von 50 % ergibt sich eine mittlere jährliche Laufleistung von 33.994 km. Für Lastzüge und Sattelzugmaschinen: *Bundesamt für den Güterverkehr (2005)*.

Ergänzend erfolgt eine Betrachtung der reinen Transportzeiten auf ausgewählten konkreten Transportrelationen. Zu diesem Zweck wurden die Transporte eines großen Mineralbrunnens in Bad Neuenahr in den norddeutschen Raum ausgewertet. Dabei wurden die Transportzeiten im Einzelwagenverkehr dem Güterkursbuch entnommen. Die Transportzeiten für den Lkw entstammen einem Routenplaner für Lkw-Fahrten.⁵⁷ Ergänzend wurde der Kombinierte Verkehr in die Betrachtungen mit aufgenommen. Die Transportzeiten für den Hauptlauf sind dem Fahrplan von Kombiverkehr entnommen. Die Ankunft am Abgangsterminal des Kombinierten Verkehrs erfolgt spätestens zum Ladeschluss. Für den Umschlag am Zielterminal sind pauschal 30 min angesetzt. Die Fahrzeiten für den Vor- und Nachlauf auf der Straße sind mit Hilfe eines Routenplaners ermittelt.

Der Transportzeitenvergleich zeigt, dass die Transportzeiten im Schienenverkehr vier- bis sechsmal so lang sind, wie im Straßengüterverkehr. Der Kombinierte Verkehr hat etwa die doppelte Transportzeit wie der Straßengüterverkehr. Die längeren Transportzeiten haben, wie Abbildung 10 zeigt, auch Einfluss auf die erreichbaren Fahrleistungen. Diese sind, wenn man eine mittlere Auslastung der Ladekapazität im Schienengüterverkehr unterstellt, im Straßengüterverkehr vier- bis fünfmal so hoch wie im Schienengüterverkehr. Die geringen Fahrleistungen im Schienengüterverkehr wirken sich negativ auf dessen Wirtschaftlichkeit aus, da die Fixkosten der Wagen, wie Abschreibungen und zeitabhängige Wartungskosten, auf eine sehr geringe Laufleistung umgelegt werden müssen.

⁵⁷ Dr. Städtler (2005), Einstellung für die Routensuche: Lkw, schnellste Route

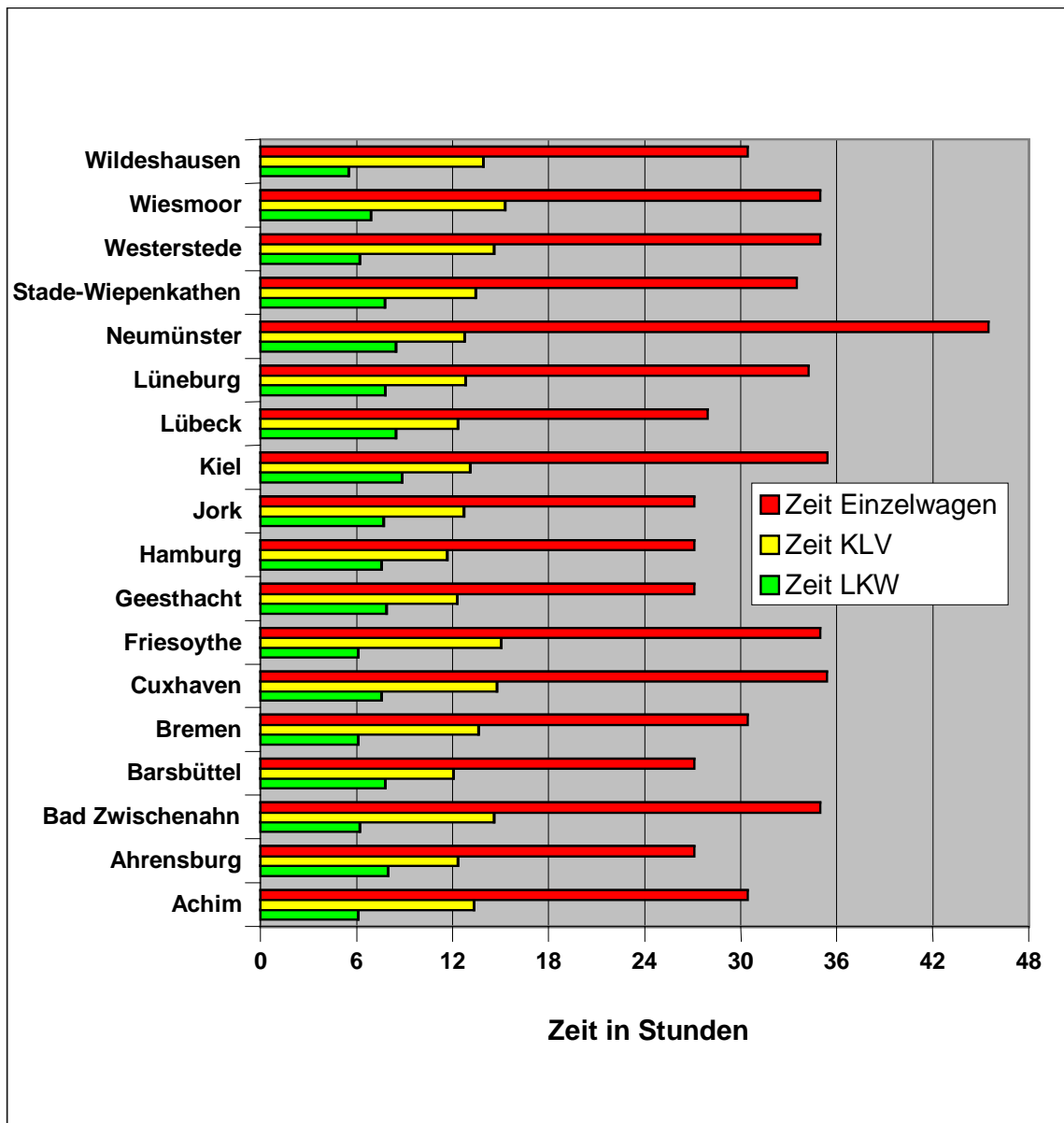


Abbildung 11 Vergleich der Reisezeiten im Einzelwagenverkehr, im Kombinierten Ladungsverkehr und per Lkw am Beispiel der in Norddeutschland ansässigen Empfänger eines in Bad Neuenahr ansässigen Unternehmens⁵⁸

⁵⁸ Reisezeitenermittlung im Einzelwagenverkehr über das elektronische Güterkursbuch, Internetseite <http://queterfahrplan.hacon.de>; im Kombinierten Ladungsverkehr über den Fahrplan der Kombiverkehr; für den Lkw-Verkehr über den Routenplaner Seite <http://routenplanung.dr-staedtler.de/>.

2.5.1.2 Kurzfristige Verfügbarkeit und zeitnahe Bereitstellung

Aus der bereits zitierten Befragung des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI)⁵⁹ ergibt sich, dass den Logistikverantwortlichen in den Unternehmen nur wenig Zeit für die Disposition der Sendungen verbleibt. Bei mehr als einem Viertel der Sendungen sind es weniger als 12 Stunden, bei 58 % der Sendungen weniger als 24 Stunden (vgl. Abbildung 12). Verkehrsdienstleister und Güterbahnen müssen daher kurzfristig ein Angebot abgeben und Laderaum bereitstellen können.

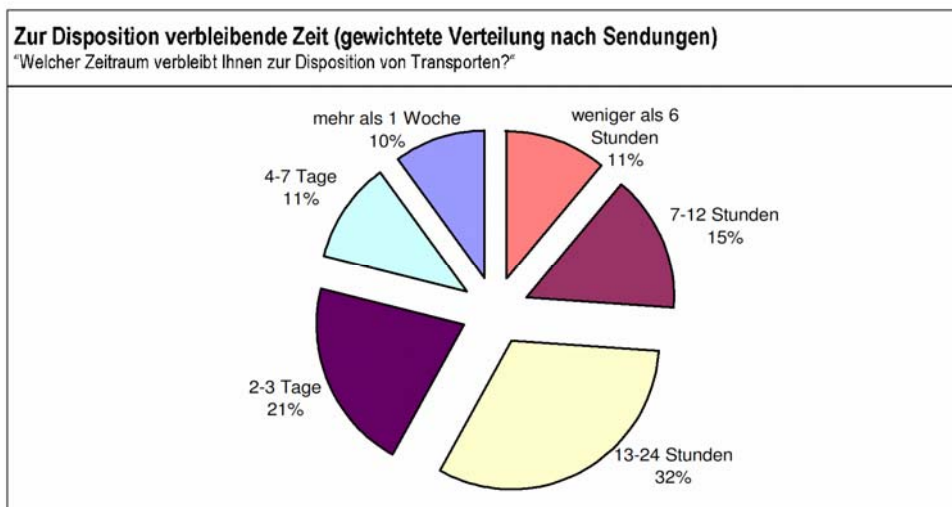


Abbildung 12 Zur Disposition verbleibende Zeit⁶⁰

Wenn man für den Schienenverkehr als Vergleichsmaßstab das für den Transportdauervergleich gewählte Beispiel eines Transportes über 600 km heranzieht und das Quality-Produkt als Maßstab wählt, vergeht vom Auftreten des Fahrtwunsches bis zum Bereitstellen des Wagens ein Zeitraum von 27 bis 51 Stunden (vgl. Abbildung 9). Die genaue Zeitdauer ist davon abhängig, wann der Transportwunsch auftritt. Ein solch langer Planungszeitraum steht jedoch nach den Ergebnissen der Befragung des BDI nur für maximal 42 % der Sendungen zur Verfügung.

⁵⁹ Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000), Seite 8ff

⁶⁰ Quelle: Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000), Seite 8

2.5.2 Die Zuverlässigkeit als Qualitätskriterium

Die Zuverlässigkeit von Transporten lässt sich in zwei Teilaspekte aufgliedern:

- die Schadenfreiheit und die Qualität der Transportmittel,
- die Zuverlässigkeit und die Pünktlichkeit.

2.5.2.1 Schadenfreiheit und Qualität der Transportmittel

Bei den Kriterien Schadenfreiheit und Qualität der Transportmittel ergibt die BDI-Befragung⁶¹, dass mehr als 80 % der Kunden mit dem vorhandenen Schienenverkehrsangebot nicht unzufrieden sind. Auch im Vergleich mit dem Lkw sind bei beiden Kriterien mehr als 50 % der befragten Verlager der Meinung, dass der Schienengüterverkehr nicht schlechter ist als der Straßengüterverkehr. Damit ist die Eisenbahn bereits mit den heutigen Angeboten in der Lage, bei diesen Kriterien die Anforderungen der Mehrzahl der Verlager zu erfüllen.

2.5.2.2 Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit

Neben den reinen Transportzeiten ist für den Verlager auch die Termineinhaltung (Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit) bei den Transporten von großer Bedeutung. Rund ein Viertel der Verlager ist derzeit mit der Zuverlässigkeit des Schienengüterverkehrs unzufrieden, bei der Pünktlichkeit sind es fast 40%. Im Vergleich mit dem Lkw wird der Schienengüterverkehr nur von weniger als 5 % der Befragten als besser eingeschätzt.

Stinnes Logistics garantiert derzeit für ihr Quality-Produkt eine 95prozentige Einhaltung der Transportzeiten, für das Classic-Produkt werden keine Garantien hinsichtlich der Einhaltung der Transportzeiten übernommen.⁶² Viele Kunden werden nur ein bzw. zwei Mal am Tag bedient⁶³, so dass das Versäumen eines Anschlusszuges bei einer Umstellung im Rangierbahnhof sofort eine Transportzeitverlängerung von einem halben oder einem ganzen Tag zur Folge hat.

Auch im Lkw-Verkehr treten durch die hohen Verkehrsbelastungen im Straßennetz vermehrt Fahrzeitverlängerungen durch Staus auf. Da aber im Lkw-

⁶¹ *Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000)*, Seite 22ff

⁶² *Stinnes Logistics (2005)*, Datei: Die Produktmerkmale der Einzelwagen-Produkte im Überblick

⁶³ *Müller, Axel (1999)*, Seite 50.

Verkehr direkt ohne Umladevorgänge transportiert wird, bleiben diese Verzögerungen auf den Zeitverlust im Stau beschränkt. Außerdem können Stauzeiten über Fahrzeitzuschläge einkalkuliert werden und führen nicht zu sprunghaften Fahrzeitverlängerungen.

2.5.3 Die Räumliche Verfügbarkeit als Qualitätskriterium

Die Räumliche Verfügbarkeit des Verkehrsträgers Schiene ist bei der Umfrage des BDI nicht als Kriterium erfasst worden, da sich die Befragung auf Transporte, bei denen Eisenbahnunternehmen generell als Transportdienstleister in Frage kommen, beschränkt hat. Eine fehlende räumliche Verfügbarkeit des Verkehrsträgers Schiene führt jedoch dazu, dass ein Eisenbahntransport von vorneherein als mögliche Alternative ausgeschlossen werden muss.

In seiner heutigen Form ist der Einzelwagenverkehr auf Versender und Empfänger mit Gleisanschlüssen beschränkt. Eine Auswertung von 148 Gewerbeflächen im Ruhrgebiet zeigt, dass nur rund 15 % der Gewerbeflächen über einen Gleisanschluss verfügen (vgl. Abbildung 13). Unterstellt man eine gleichmäßige Verteilung der Transportmengen über alle Gewerbeflächen, so ergibt sich nur für rund 2 % der Transportrelationen ein Gleisanschluss an beiden Enden der Transportkette, bei weiteren 26 % ist zumindest an einem Ende der Transportkette ein Gleisanschluss vorhanden. Bei rund 72 % der Transporte ist weder am Beginn noch am Ende der Transportkette ein Gleisanschluss vorhanden. Für den Schienenverkehr ergibt sich daraus, dass für fast alle Transportrelationen zumindest an einer Stelle eine Umladung erforderlich ist. Der Lkw kann aber aufgrund des überall verfügbaren Straßennetzes 100 % aller Transportrelationen im Direktverkehr bedienen.

Anteil der Gewerbeflächen im Ruhrgebiet mit Gleisanschluss

Abbildung 13 Anteil der Gewerbeflächen im Ruhrgebiet mit Gleisanschluss⁶⁴

2.5.4 Die Transportkosten als Qualitätskriterium

Da sich der Schienengüterverkehr und damit auch der Einzelwagenverkehr im Wettbewerb zum Straßengüterverkehr befinden, ergeben sich die Transportkosten für Verlader im Schienengüterverkehr aus den Marktpreisen. Aufgrund der bereits dargestellten geringeren Qualität des Schienengüterverkehrs im Vergleich zum Straßengüterverkehr ist davon auszugehen, dass die Transportkosten für die Verlader und damit die Erlöse für die Betreiber des Schienengüterverkehrs je Transporteinheit im Schienengüterverkehr geringer sind als im Straßengüterverkehr.

Für Railion, den größten Betreiber von Schienengüterverkehr und Einzelwagenverkehr ergibt sich aus den Marktpreisen die Situation, dass der Einzelwagenverkehr nicht kostendeckend zu betreiben ist und damit Verluste erwirtschaftet.⁶⁵ Trotz Projekten wie MORA C genügt der Einzelwagenverkehr bislang immer noch nicht wirtschaftlichen Kriterien.⁶⁶ Sofern Railion von seinen Kunden Preise für die Transportleistung erwarten würde, die wirtschaftlichen Kriterien genügen, ist für die Kunden eine deutliche Erhöhung der Kosten für Schienentransporte zu erwarten.

⁶⁴ Verzeichnis von Gewerbeflächen auf der Internetseite www.ruhrsite.de (eigene Auswertung)

⁶⁵ DB Cargo AG (Hrsg.) (2001), Seite 12

⁶⁶ Handelsblatt (2006)

2.5.5 Schlussfolgerungen zur Marktsituation und zum Verbesserungsbedarf des Einzelwagenverkehrs

Der Vergleich der Anforderungen der (potenziellen) Kunden mit dem Leistungsangebot im Einzelwagenverkehr lässt insbesondere in folgenden Bereichen Handlungsbedarf zur Verbesserung der Qualität der Produktionserstellung ableiten:

- **Zeitbedarf:** Wesentliches Ziel muss es sein, für den Einzelwagenverkehr den erforderlichen Zeitbedarf vom Auftreten des Transportwunsches beim Versender bis zur Ankunft des Wagens beim Empfänger zu reduzieren. Dabei müssen sowohl der Zeitbedarf für die Transportorganisation bis zur Bereitstellung der Wagen im Gleisanschluss als auch die eigentliche Transportdauer reduziert werden.
- **Einhaltung der Zeitvorgaben:** Die Einhaltung der Zeitvorgaben für die Transporte muss deutlich verbessert und den Kunden dann auch garantiert werden können.
- **Räumliche Verfügbarkeit:** Die räumliche Verfügbarkeit des Schienenverkehrs muss ausgeweitet werden, da nur noch ein geringer Teil der Unternehmen über einen eigenen Gleisanschluss verfügt. Es müssen Möglichkeiten gefunden werden, den Unternehmen ohne Gleisanschluss ebenfalls einen kostengünstigen Zugang zum Schienennetz anbieten zu können.
- **Transportkosten und Zahlungsbereitschaft:** Die Wirtschaftlichkeit des Einzelwagenverkehrs für den Betreiber muss verbessert werden, in dem entweder die Transportkosten reduziert werden oder die Leistung im Einzelwagenverkehr verbessert wird, um die Zahlungsbereitschaft der Kunden zu erhöhen.

2.6 Die Containerisierung der Transporte als neuer Lösungsansatz

2.6.1 Bewertung der bisherigen Ansätze und Schlussfolgerungen für weitere Innovationen

In der Vergangenheit hat es eine Vielzahl von Ansätzen gegeben, die Qualität des Einzelwagenverkehrs zu verbessern. Dabei wurden überwiegend zwei Richtungen verfolgt. Es wurde der Versuch unternommen, mit punktuellen Verbesserungen an Fahrzeugen oder Betriebskonzepten den Einzelwagenverkehr kurzfristig wirtschaftlich zu gestalten. Bei diesen Ansätzen stellt sich jedoch die

Frage, ob sie weit reichend genug sind, um die Wettbewerbsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs in einem sich äußerst dynamisch entwickelnden Transportmarkt verbessern zu können.

Auf der anderen Seite wurden sehr ambitionierte Systemkonzepte und Fahrzeuge entwickelt, die jedoch im günstigsten Fall langfristig umgesetzt werden können, weil technische Komponenten noch nicht entwickelt oder serienreif sind oder eine Zulassung unter den heutigen Randbedingungen fraglich ist.

Was bislang fehlt sind Konzepte, die mittelfristig mit der heute verfügbaren Technik umsetzbar sind und wesentliche Qualitätsverbesserungen und Kostenreduzierungen im Einzelwagenverkehr ermöglichen.

2.6.2 Die Containerisierung der Transporte als neuer Lösungsansatz

Aufbauend auf den Defiziten des heutigen Einzelwagenverkehrs erscheint die Containerisierung des Einzelwagenverkehrs als ein möglicher, untersuchenswerter Ansatz, die Qualität des Einzelwagenverkehrs zu verbessern. Die Containerisierung ermöglicht eine Trennung von Fahrzeug und Ladungsträger, so dass der Einsatz beider Komponenten getrennt voneinander optimiert werden kann. Durch die Containerisierung ergeben sich neue Optionen hinsichtlich der Umstellung der Ladungsträger zwischen einzelnen Zugfahrten, so dass kostenaufwändige Rangiervorgänge eingespart werden können. Außerdem ermöglicht die Containerisierung einen einfachen Umschlag und gegebenenfalls auch einen Transport außerhalb des Schienennetzes mit anderen Verkehrsträgern wie Binnenschiff oder Lkw.

Durch den Einsatz universell einsetzbarer Tragwagen lassen sich Leerfahrten der Wagen vermeiden und die Wirtschaftlichkeit der Produktion kann durch eine erhöhte Laufleistung der eingesetzten Wagen verbessert werden.

Für die Verlagerung zusätzlicher Verkehre von der Straße auf die Schiene wird bislang der Kombinierte Verkehr favorisiert, da es dort große ungenutzte Potenziale gibt.⁶⁷ Die Nutzung des Kombinierten Verkehrs setzt aber von vorneherein eine Containerisierung der Transporte voraus. Aufbauend auf diesen Annah-

⁶⁷ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2000)

men stellt sich die Frage, ob nicht auch eine Containerisierung außerhalb des Kombinierten Verkehrs zu erheblichen Einsparpotenzialen führen kann.

2.6.3 Bisherige Untersuchungen zur Containerisierung des Schienengüterverkehrs

In der Vergangenheit sind eine Vielzahl von Untersuchungen sowohl zu Fragestellungen der Containerisierung von Transporten als auch zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs durchgeführt worden. Allerdings ist keine Untersuchung bekannt, in der systematisch ermittelt wurde, welche Folgen eine vollständige Containerisierung des Einzelwagenverkehrs haben wird.

Im Rahmen seiner Dissertation hat sich Gaidzik mit der Frage befasst, wie sich die Bedienung von Gleisanschlüssen in der Fläche wirtschaftlicher gestalten lässt.⁶⁸ Eine Untersuchungsvariante beinhaltet, die Bedienung der Gleisanschlüsse im herkömmlichen Wagenladungsverkehr einzustellen. Er untersucht eine Containerisierung der Sendungen, die in diesem Fall in den Knotenpunktbahnhöfen an neu einzurichtenden Umschlagpunkten auf den Lkw umgeladen werden. Die Bedienung der Versender und Empfänger erfolgt mit dem Lkw. Der Umschlag an den Knotenpunktbahnhöfen soll unter anderem mit einem selbstfahrenden schienengebundenen Umschlaggerät (Umschlaggerät Lässig-Schwanhäuser⁶⁹) erfolgen. Die Entwicklung und Fertigung des Gerätes ist allerdings nach den ersten Praxiserfahrungen mit Prototypen aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt worden.

Die Untersuchung von Gaidzik beschränkt sich auf eine lokale Betrachtung abgegrenzter Bedienungsbereiche in ländlichen Regionen unter Verzicht auf eine Betrachtung der Fernverbindungen zwischen diesen Regionen. Eine Untersuchung, wie sich die Containerisierung der Transporte auf die gesamte Transportkette einschließlich der Fernverbindungen auswirkt, ist nicht erfolgt. Außerdem ist vereinfachend angenommen worden, dass eine Wagenladung einem Container entspricht. Wesentliche Teile seiner Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beziehen sich auf die Einsparpotenziale bei der Unterhaltung der Schieneninfrastruktur. Diese Aufgabe ist im Rahmen der Bahnreform an DB-Netz abgege-

⁶⁸ Gaidzik, Marian (1987)

⁶⁹ Beschreibung des Gerätes in: *Trafico Verkehrsplanung (Auftragnehmer)* (1998)

ben worden, so dass das Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) nur noch die Trassenkosten zu zahlen hat. Damit lassen sich die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit nicht mehr auf die heutige Zeit übertragen.

Bei allen weiteren Untersuchungen zur Containerisierung von Transporten wird immer nur die Fragestellung behandelt, inwiefern eine Containerisierung von Transporten eine Verlagerung der Transporte auf den Kombinierten Verkehr Straße-Schiene oder Straße-Binnenschiff ermöglicht. Sie basieren, wie bereits dargestellt, auf der Annahme, dass es „im Kombinierten Verkehr noch große ungenutzte Potenziale für die Schiene“⁷⁰ gibt. Auf dieser Grundlage werden in diesen Untersuchungen vor allem die sich durch eine Containerisierung ergebenden Verlagerungspotenziale von der Straße auf die Schiene betrachtet. So beschäftigt sich Siegmann in seiner Dissertation mit einer Optimierung der Standorte von Umschlaganlagen Schiene-Straße unter dem Gesichtspunkt der auf den Kombinierten Verkehr verlagerbaren Transporte.⁷¹ Auch bei innovativen Lösungen für den Containerverkehr, wie zum Beispiel dem CargoBeamer⁷², wird nur das Verlagerungspotenzial Straße-Schiene unter dem Aspekt einer möglichen Attraktivitätssteigerung des Kombinierten Verkehrs betrachtet.

Die Untersuchungen, die sich mit einer Optimierung des Einzelwagenverkehrs befasst haben, beschränken sich darauf, Kosteneinsparungen durch technische Veränderungen an den Fahrzeugen oder durch organisatorische Veränderungen der Produktionsverfahren zu erzielen. Die untersuchten technischen Änderungen beschränken sich auf eine Optimierung der Fahrzeuge und/oder auf zusätzliche technische Komponenten, die die wagentechnische Behandlung der Fahrzeuge oder die Zugbildung erleichtern.⁷³ Als notwendige Innovationen und neue Basistechnologien im Schienengüterverkehr werden der Einsatz von Telematik, elektro-pneumatische Bremsen in Verbindung mit neuen Kupplungen, leichte und lärmarme Güterwagen und die Mehrfachfunksteuerung von Triebfahrzeugen angesehen.⁷⁴

⁷⁰ *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2000)*

⁷¹ *Siegmann, Jürgen (1986)*

⁷² *Weidemann, H.-J.; Baier, M. und andere (2003)*

⁷³ *Siegmann, Jürgen und Große, Christiane und Sven Heidmeier (2002).*

⁷⁴ *Siegmann, Jürgen (2002).*

Mit der Fragestellung, ob eine Containerisierung es ermöglicht, die Marktsituation des Einzelwagenverkehrs zu stärken, haben sich bislang nur die SBB im Rahmen des Systems Cargo Domino beschäftigt.⁷⁵ Bei diesem System handelt es sich allerdings nur um ein Nischenprodukt, das in Ergänzung des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs angeboten wird.

Im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Machbarkeitsstudie „Individualisierter Schienengüterverkehr“⁷⁶ wurden verschiedene Möglichkeiten zur Optimierung des Einzelwagenverkehrs untersucht. Als Quintessenz hat sich ergeben, dass es grundsätzlich möglich ist, mit selbst fahrenden Güterwagen eine Plattform für den Einzelwagenverkehr zu schaffen, die sich wirtschaftlich betreiben lässt. Eine Komponente des Konzeptes, die jedoch nicht näher untersucht wurde, war die Containerisierung der Transporte. Diese ermöglicht eine Entkopplung des relativ preiswerten Ladungsträgers Container vom teuren selbst angetriebenen Fahrzeug und damit höhere Laufleistungen und eine wesentlich bessere Auslastung des Fahrzeugs. Die an sich gebotene Weiterführung der Untersuchungen und die Umsetzung in einem Pilotversuch sind an der mangelnden Mitwirkung von Partnern aus der Fahrzeugindustrie gescheitert. Es ist zusammenfassend festzustellen, dass bislang nicht systematisch untersucht worden ist, welche Auswirkungen eine Containerisierung des Einzelwagenverkehrs in Deutschland haben wird.

2.6.4 Beschreibung des neuen Lösungsansatzes

Bisherige Ansätze zur Containerisierung des Einzelwagenverkehrs verfolgten ausschließlich das Ziel, den Einzelwagenverkehr in den Kombinierten Verkehr zu integrieren. Dieser Ansatz scheitert jedoch für viele Relationen an dem Problem, dass die Kosten für Vor- und Nachlauf mit dem Lkw sowie die zusätzlich anfallenden Umschlagkosten in den Terminals des Kombinierten Verkehrs die Transporte gerade auf kurzen Gesamtentfernungen und bei längeren Anfahrtswegen zu den Terminals von vorne herein unwirtschaftlich machen. So liegt die wirtschaftliche Einsatzgrenze des Kombinierten Verkehrs bei einer mittleren

⁷⁵ Dünnbier, Severin und Th. Becker (2002)

⁷⁶ Bundesministerium für Bildung und Forschung (Auftraggeber) (2004)

Entfernung des Terminals von 30 km erst bei einer Gesamtentfernung von 300 km.⁷⁷

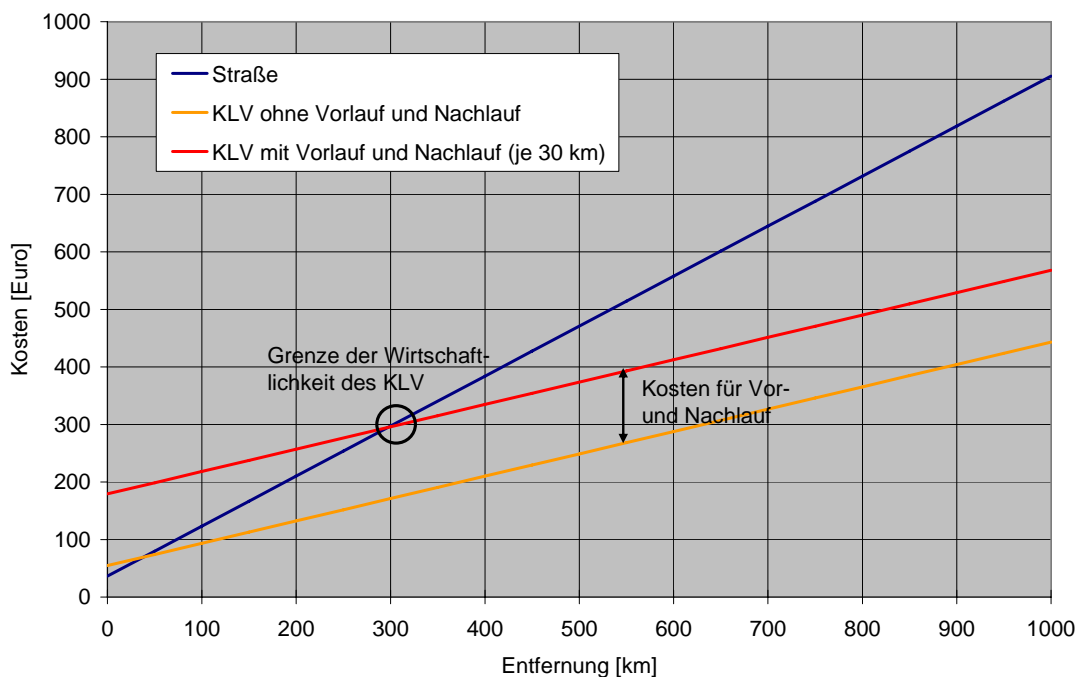


Abbildung 14 Vergleich der Transportkosten im kombinierten Verkehr (KLV) und des Straßendirekttransports von Sattelaufliegern⁷⁸

Um zu einem für alle Relationen wettbewerbsfähigen Einzelwagenverkehr zu gelangen, müssen daher die Systemvorteile der Containerisierung umgesetzt werden, ohne dass die Kostennachteile für einen Lkw-Vor- und Nachlauf auftreten. Ein möglicher Ansatz hierzu ist, die Gleisanschlussbedienung mit Einzelwagen in ihrer heutigen Form grundsätzlich weiterhin aufrechtzuerhalten. Um Kosteneinsparungen durch den Ersatz der herkömmlichen Zugbildung und Wagenumstellung in Rangierbahnhöfen durch neuartige Umschlaganlagen generieren zu können, werden die herkömmlichen Güterwagen durch Containertragwagen mit Containern ersetzt. Statt der sehr aufwändigen Behandlung der Wagen in den Rangierbahnhöfen ist es dann möglich, die Umstellung der Ladungseinheiten (Container) durch Kranung vorzunehmen.

⁷⁷ Gudehus, Timm (2000); Seite 374f

⁷⁸ Kosten nach: Gudehus, Timm (2000); Seite 375

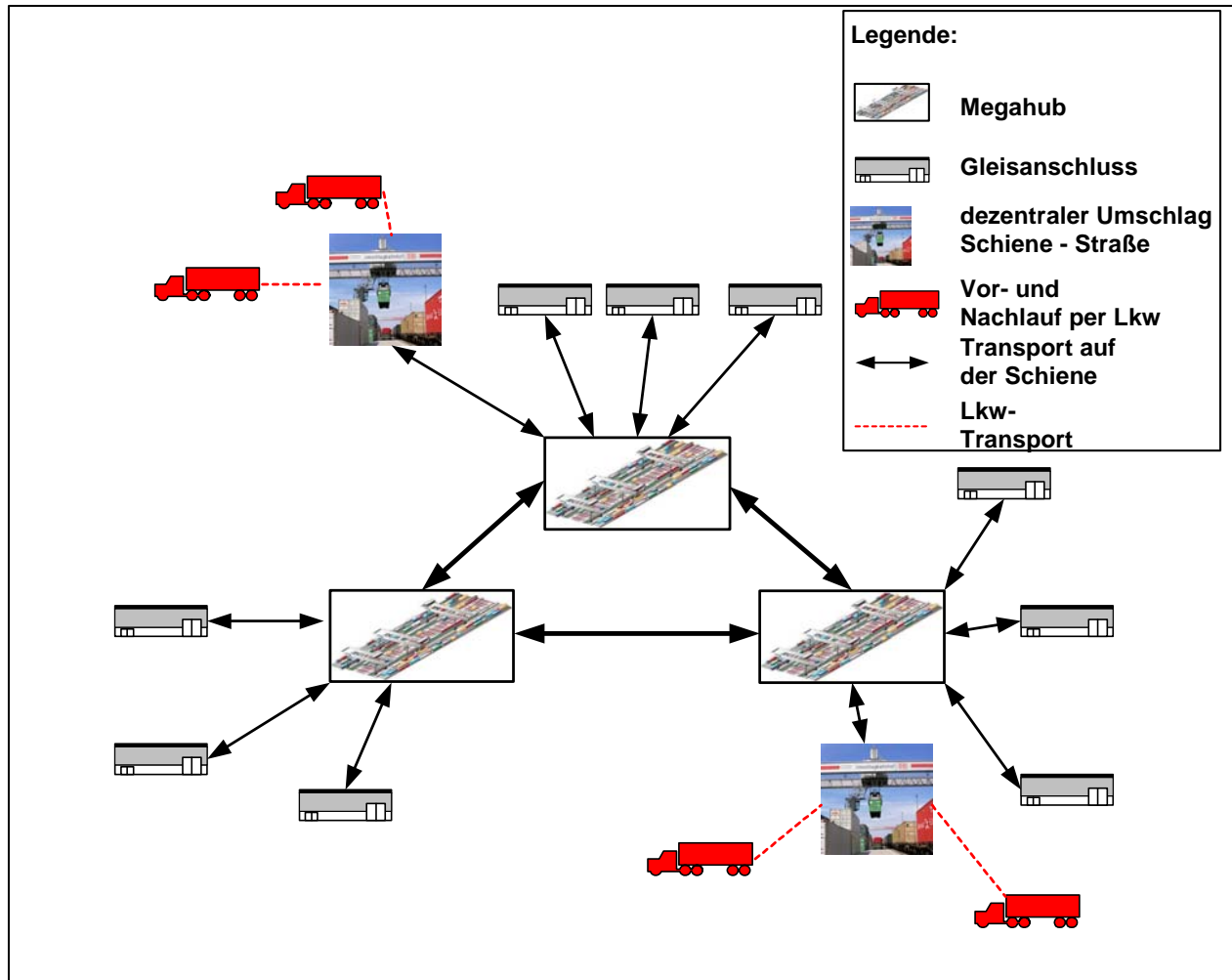


Abbildung 15 Transportablauf und Systemkonzept eines containerisierten Einzelwagenverkehrs

2.6.5 Offene Fragestellungen zum neuen Lösungsansatz

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen eines containerisierten Einzelwagenverkehrs auf die Produktion eines Eisenbahnverkehrsunternehmens. Dabei werden folgende Fragestellungen behandelt:

- **Containerisierbarkeit der Transporte:** Zunächst ist zu prüfen, welcher Anteil der heutigen Transporte im Einzelwagenverkehr containerisierbar ist. Dabei ist neben der rein technischen Fragestellung, ob für die Gutart ein geeigneter Container zur Verfügung steht, auch zu prüfen, inwiefern logistische oder gegebenenfalls wirtschaftliche Gründe einer Containerisierung entgegenstehen. Die Untersuchung beschränkt sich dabei überwiegend auf die heute vorhandenen Containerbauarten. Inwiefern durch konstruktive Veränderungen an Containern zusätzliche Gutarten und Transporte containerisiert werden können, soll nur überschlägig geprüft werden. Eine detaillierte Un-

tersuchung würde genaue Betrachtungen der Fahrzeugtechnik und der Containerkonstruktion erfordern, die hier nicht vorgesehen sind.

- **Optimierung der Leertransporte:** Derzeit werden im Einzelwagenverkehr eine Vielzahl unterschiedlicher Spezialgüterwagengattungen eingesetzt, daher fallen beim Einzelwagenverkehr in sehr großem Umfang Leertransporte an. Im Rahmen der Containerisierung kann die Anzahl der eingesetzten Güterwagengattungen auf eine oder wenige Bauarten von Containertragwagen reduziert werden. Eine gutartsspezifische Differenzierung erfolgt erst durch den verwendeten Container. Daher ist möglicherweise eine Reduktion des Leerfahrtenanteils möglich. Da im Rahmen dieser Arbeit die Leerfahrten nur pauschal berücksichtigt werden, ist hierzu eine detaillierte Untersuchung erforderlich.
- **Umgang mit den nicht containerisierbaren Transporten:** In Abhängigkeit des Anteils der nicht containerisierbaren Transporte am Gesamttransportaufkommen ist zu prüfen, wie mit diesen Transporten zu verfahren ist. Sollte ein nur geringer Teil der Transporte nicht containerisierbar sein, so kann das System Einzelwagenverkehr auch ohne dieses Transportaufkommen wirtschaftlich betrieben werden. Bei einem großen Anteil nicht containerisierbarer Transporte ist zu prüfen, ob ein wirtschaftlicher Rest-Einzelwagenverkehr möglich ist.
- **Untersuchung von Produktionsverfahren für einen containerisierten Einzelwagenverkehr:** Durch die Containerisierung der Transporte ergeben sich neue Kostenstrukturen und Kostenverhältnisse zwischen Transport- und Umschlagkosten. Damit muss das heute im Einzelwagenverkehr eingesetzte Produktionskonzept des flexiblen Knotenpunktsystems nicht mehr optimal sein. Im Rahmen einer Simulation ist daher zu prüfen, welches Produktionsverfahren für einen containerisierten Einzelwagenverkehr zu optimalen wirtschaftlichen Ergebnissen führt und wie sich die Beförderungsqualität und die Kosten im Vergleich zum herkömmlichen Einzelwagenverkehr entwickeln.
- **Migration auf das neue System:** Die Einführung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs bedingt eine Migration vom herkömmlichen Einzelwagenverkehr auf das neue System. Im Rahmen der Migrationsbetrachtungen werden Überlegungen hinsichtlich einer wirtschaftlich tragfähigen und mit geringen Risiken für das Unternehmen verbundenen Migrationsstrategie angestellt.

- **Umgang mit aus dem Ausland zulaufenden Wagen:** Die Umstellung des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs auf ein containerisiertes System soll zunächst nur in Deutschland erfolgen. Aufgrund der internationalen Verflechtungen findet ein erheblicher Anteil der Transporte nicht im Binnenverkehr, sondern grenzüberschreitend statt. Für dieses Verkehrsaufkommen sind Überlegungen erforderlich, wie es auf der Schiene gehalten werden kann.

3 Containerbauarten und Umschlagtechniken als Grundlage eines containerisierten Einzelwagenverkehrs

Für die Untersuchung einer möglichen Containerisierung von Transporten ist zunächst eine Definition des Begriffes Container und eine Untersuchung der derzeit verfügbaren Containerbauarten erforderlich, um prüfen zu können, inwiefern ein bestimmter Transport containerisierbar ist.

Wesentliche Komponente des containerisierten Einzelwagenverkehrs ist die Möglichkeit, durch die Verwendung neuer Umschlagtechniken die Kosten für die Umstellung zwischen Zügen zu reduzieren. Daher sollen hier zunächst die wichtigsten Umschlagtechniken vorgestellt und anhand der Systemeigenschaften die für einen containerisierten Einzelwagenverkehr geeigneten Umschlagtechniken ausgewählt werden.

3.1 Definition des Begriffs Container und Abgrenzung von Containertypen

Ein Container ist gemäß DIN-ISO 668⁷⁹ ein „Transportbehälter, der

- a) von dauerhafter Beschaffenheit und daher genügend widerstandsfähig für den wiederholten Gebrauch ist,
- b) besonders dafür gebaut ist, den Transport mit einem oder mehreren Transportmitteln ohne Umpacken der Ladung zu ermöglichen,
- c) für den mechanischen Umschlag geeignet ist,
- d) so gebaut ist, dass er leicht be- und entladen werden kann,
- e) einen Rauminhalt von mindestens 1 m³ (35,3 ft³) hat.

Fahrzeuge und Verpackungen fallen nicht unter den Begriff „Container.“

⁷⁹ Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (1999).

Bei den Containern werden folgende Systemgrößen unterschieden⁸⁰:

- **Großcontainer** mit einer Länge von mehr als 6 m,
- **Mittelcontainer** mit einer Länge von weniger als 6 m und einem Rauminhalt von mehr als 3 m³,
- **Kleincontainer** mit einem Rauminhalt von 1 bis 3 m³.

Aufgrund der zu substituierenden Ladungseinheit „ganzer Güterwagen“ sind für eine Containerisierung der Transporte ausschließlich Großcontainer geeignet.

Die Großcontainer lassen sich anhand der zugrunde liegenden Normen in drei Kategorien aufteilen⁸¹:

- **ISO-Container** sind Großcontainer, die bei Inbetriebnahme allen relevanten ISO-Normen entsprechen. Es gibt eine Reihe Container, die dem ISO-Container ähnlich sind, aber nicht den relevanten Normen entsprechen. Diese Container werden dennoch für die nachfolgenden Betrachtungen den ISO-Containern zugeordnet. ISO-Container sind sechsfach stapelbar und besitzen obere Eckbeschläge.
- **Binnencontainer** sind dauerhafte Lademittel für die Mehrfachverwendung mit einer Länge von 10, 20, 30 oder 40 Fuß und einer Breite von 2.500 mm. Sie sind dreifach stapelbar und besitzen Beschläge analog zu den ISO-Containern. Sie sind damit mit denselben Ladegeschirren umschlagbar, wie ISO-Container.
- **Wechselbehälter** sind Großcontainer, die sich nach den einschlägigen europäischen Normen richten. Es gibt auch Wechselbehälter, die nicht in allen Eigenschaften den europäischen Normen entsprechen. Diese werden ebenfalls in den nachfolgenden Betrachtungen den Wechselbehältern zugeordnet. Wechselbehälter sind nicht stapelbar und haben keine oberen Eckbeschläge.

3.1.1 ISO-Container

Bei den ISO-Containern werden, wie in Tabelle 1 dargestellt, 4 Nennlängen unterschieden:

⁸⁰ Arnold, Dieter, Isermann, Heinz und andere (Hrsg.) (2002), Seite C3-12ff.

⁸¹ Koether, Reinhard (Hrsg.) (2004), Seite 368f.

Container- bezeichnung	Nennlänge	
	m	ft
1AAA 1AA 1A 1AX	12 ¹⁾	40 ¹⁾
1BBB 1BB 1B 1BX	9	30
1CC 1C 1CX	6	20
1D 1DX	3	10
1) In bestimmten Ländern ist die Gesamtlänge des Fahrzeuges mit seiner Ladung gesetzlich begrenzt.		

Tabelle 1 Nennlängen der ISO-Container⁸²

Alle Nennlängen sind Vielfache von 10 Fuß. Als die international überwiegend verwendete Größe hat sich der 20-Fuß Container (Bezeichnung 1 CC, 1 C, 1 CX) durchgesetzt. Bei der Ermittlung von Transportmengen dient dieser Containertyp auch als Normmaß TEU (Twenty foot equivalent unit)⁸³. Ein 40-Fuß-Container entspricht demnach 2 TEU, ein 30-Fuß-Container entspricht 1,5 TEU.

Die ISO-Container besitzen eine einheitliche Breite von 2.438 mm. Hinsichtlich der Höhe werden vier unterschiedliche Bauformen unterschieden:

- Bauform 1AAA und 1BBB: 2.896 mm (9 ft 6 in),
- Bauform 1AA, 1BB und 1CC: 2.591 mm (8 ft 6 in),
- Bauform 1A, 1B, 1C und 1D: 2.438 mm (8 ft),
- Bauform 1AX, 1BX, 1CX und 1DX: Höhe unter 2.438 mm (8 ft).

Die für das Ladevolumen maßgebende Innenhöhe entspricht der Außenhöhe minus 241 mm. Es ergeben sich damit beispielhaft folgende Ladevolumen und Lademassen für die Stückgutcontainer:

⁸² Quelle: *Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (1999).*

⁸³ 20 Fuß äquivalente Einheit

Länge	Typ	Mindestinnenmaße				Zulässiges Gesamtgewicht [kg]	Tara [kg]	Ladungs- gewicht [kg]
		Höhe	Breite	Länge	Volumen			
		[mm]	[mm]	[mm]	[m ³]			
40 ft	1AAA	2.655	2.330	11.998	74,2	30.480	4.500	25.980
	1AA	2.350	2.330	11.998	65,7			
	1A	2.197	2.330	11.998	61,4			
30 ft	1BBB	2.655	2.330	8.931	55,2	25.400	3.500	21.900
	1BB	2.350	2.330	8.931	48,9			
	1B	2.197	2.330	8.931	45,7			
20 ft	1CC	2.350	2.330	11.998	65,7	24.000	2.500	21.500
	1C	2.197	2.330	11.998	61,4			

Tabelle 2 Nennmaße der ISO-Container⁸⁴

Aus der Notwendigkeit heraus, auch für lange und voluminöse Güter entsprechende Container anbieten zu können, sind international inzwischen Iso-Container mit Überlängen von 45 ft (mit einer nutzbaren Innenlänge von 13.563 mm), 48 ft (mit einer nutzbaren Innenlänge von 14.477 mm) und 53 ft (mit einer nutzbaren Innenlänge von 16.000 mm) auf dem Markt verfügbar.⁸⁵ Da in Deutschland die maximale Länge der Ladefläche von Sattelfahrzeugen auf 14.040 mm beschränkt⁸⁶ ist, erfolgt der Einsatz von überlangen Containern nur in sehr begrenztem Umfang. Diese sind nicht ohne weiteres im Straßengüterverkehr zu transportieren. Für einen Transport im Schienenverkehr bestehen diese Einschränkungen jedoch nicht, da dort die maximale Behälterlänge nur durch die Abmessungen der Tragwagen beschränkt wird und vierachsige Tragwagen für Behälterlängen von mindestens 60 Fuß ausgelegt sind.

Die wesentlichen Komponenten und Bauteile eines Containers sind nachfolgender Abbildung zu entnehmen:

⁸⁴ Daten aus: *Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (1999)*. Das Tara (Eigengewicht) der Container ist konstruktionsabhängig. Die dargestellten Werte sind Schätzungen auf Basis der Werte, die von Containervermietern und Herstellern angegeben werden.

⁸⁵ *PacerStacktrain (2005)*

⁸⁶ Gemäß Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO), § 32, Abs.4 ist der Abstand zwischen Zugsattelzapfen und hinterer Begrenzung auf 12,00 m und der vordere Überhangradius auf 2,04 m beschränkt.

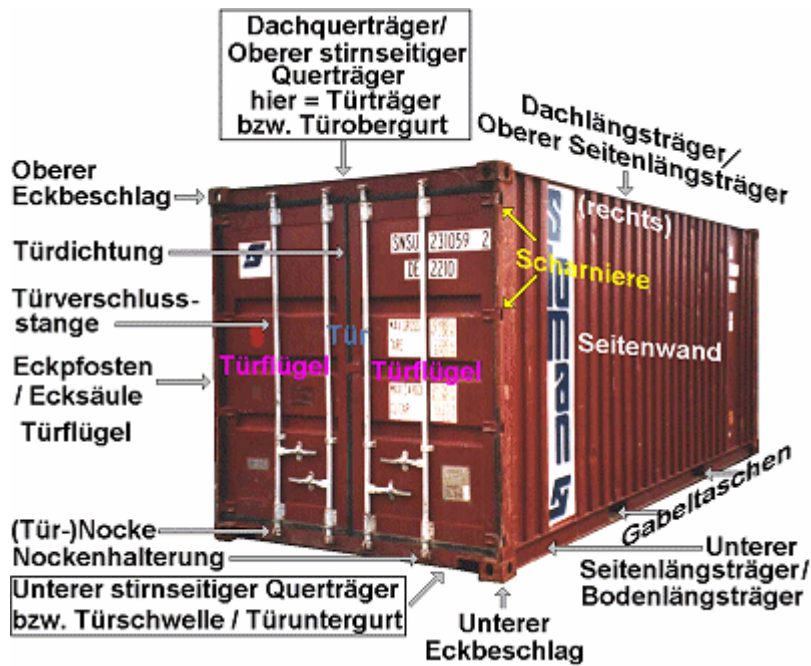


Abbildung 16 Bezeichnung der wesentlichen Elemente eines Containers ⁸⁷

3.1.2 Binnen-Container

Binnen-Container sind durch Anpassung der ISO-Container an die nationalen Erfordernisse in Europa entstanden. Insbesondere die Breite der ISO-Container von nur 2,43 m erwies sich als ungünstig, da sie zu einem Innenmaß von 2,33 m führte. Die standardisierte Europalette ist 0,8 m x 1,2 m groß, so dass eine Innenbreite von 2,40 m von Vorteil ist. Um dieses Innenmaß sicher zu stellen, ist eine Breite von 2.500 mm erforderlich. In DIN 15190⁸⁸ sind Binnencontainer daher mit einer Breite von 2.500 mm und einer Länge von 10, 20, 30 oder 40 Fuß Länge genormt. Für Binnen-Container können dieselben Umschlaggeräte verwendet werden wie für ISO-Container, sie sind aber nur dreifach stapelbar. Nachteil der Binnencontainer ist die infolge ihrer Längenmaße schlechte Ausnutzung europäischer Lkw.⁸⁹

3.1.3 Wechselbehälter

Wechselbehälter oder Wechselaufbauten sind Ladehilfsmittel, die direkt ohne Umschlaggerät von Lastkraftwagen und Spezial-Eisenbahnwagen aufgenom-

⁸⁷ Quelle: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2005)

⁸⁸ Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (1991).

⁸⁹ Koether, Reinhard (Hrsg.) (2004), S. 368f.

men werden können.⁹⁰ Wechselbehälter besitzen Standfüße, auf denen sie abgestellt werden können. Die Aufnahme durch Lkw kann direkt durch Unterfahren der Behälter und Belüften der Federn des Lkw erfolgen. Es ist aber auch ein Umschlag mittels Kran oder Containerstapler möglich.

Wechselbehälter sind nicht stapelbar. Je nach Bauart und Ladungsgewicht kann auch das Abstellen eines Wechselbehälters auf den Standfüßen aus statischen Gründen nicht zulässig sein.

Die Abmessungen der Wechselbehälter orientieren sich an den zulässigen Längen- und Breitenabmessungen der Lkw nach StVZO. Die Breite beträgt 2.550 mm (bei Kühlbehältern auch 2.600 mm), die Höhe 2.670 mm. Die Länge beträgt bei den in Deutschland verwendeten Wechselbehältern überwiegend 7.150 mm (Typ C715), 7.450 mm (Typ C745) oder 7.820 mm (Typ C782).⁹¹ Diese Typen sind vorrangig für den Einsatz auf Lkw-Zügen ausgerichtet. In anderen Europäischen Ländern wie Frankreich oder Belgien überwiegen Wechselbehälter mit einer Länge von ca. 9 m oder ca. 12 m. Sie sind für den Einsatz auf Sattelfahrzeugen optimiert. Diese Wechselbehälter sind in Deutschland nur in geringem Maße im Einsatz, ihr Anteil wird sich allerdings in Zukunft erhöhen.⁹²

Ausschlaggebend für die Größen der Wechselbehälter sind bislang die Bauform und Kupplungsart der Lkw. Allerdings sind für ausschließlich im Eisenbahnverkehr eingesetzte Wechselbehälter diese Restriktionen nicht zwingend einzuhalten, so dass dort auch andere Abmessungen der Wechselbehälter möglich sind. Problematisch ist allerdings die geringe maximal zulässige Zuladung der herkömmlichen Wechselbehälter von ca. 14 t, diese wird durch die maximal zulässige Bruttomasse von 16 t begrenzt.⁹³ Es wird allerdings die Normung eines „Heavy-Duty-Behälters“ mit einer Bruttomasse von 34 t vorbereitet.

3.2 Bauarten von Containern und ihre Einsatzbereiche

Die Unterscheidung der Containerbauarten richtet sich nach ihrer Bauform und der zu transportierenden Ladung. Da sich Wechselbehälter, ISO-Container und

⁹⁰ Koether, Reinhard (Hrsg.) (2004), Seite 369ff

⁹¹ Mertel, R. und C. Seidelmann (Bearbeiter) (1986), Seite 55

⁹² Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1996), Seite 37

⁹³ Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1996), Seite 7

Binnen-Container nur hinsichtlich ihrer Abmaße und ihrer Stapelbarkeit unterscheiden, kann für die Differenzierung der Bauarten einheitlich das für ISO-Container vorgesehene System verwendet werden. Nach EN ISO 6346⁹⁴ werden folgende Containerbauarten unterschieden:

- Stückgut-Container (mit und ohne Belüftung),
- Schüttgutcontainer (nicht druckbeständig und druckbeständig),
- Thermalcontainer (gekühlt und/oder beheizt),
- Oben offene Container,
- Plattformcontainer,
- Tankcontainer,
- Sonstige Container (nach dem Frachtgut benannt).

3.2.1 Stückgut-Behälter (mit und ohne Belüftung),

Der Stückgutcontainer oder General-Purpose-Container ist das, was gemeinhin mit dem Begriff Container verbunden wird⁹⁵. Er besteht aus einer Stahlrahmenkonstruktion, die aus den vier Eckpfosten, den zwei Boden- und Deckenlängsträgern und den zwei Boden- und Deckenquerträgern besteht. Zwischen den beiden Bodenlängsträgern sind zusätzliche Querträger eingepasst, die als Auflage für den Bodenbelag dienen. Die Stirn- und Seitenwände sind die am geringsten belastbaren Teile des Containers. Daher muss bei der Beladung darauf geachtet werden, dass die Stirn- und Seitenwände nicht zu hohen Kräften ausgesetzt werden.

Man unterscheidet bei den Stückgutcontainern folgende Ausführungen:

- mit Türen an einer oder beiden Stirnseiten,
- mit Türen an einer oder beiden Stirnseiten und Türen über die gesamte Länge an einer oder beiden Seiten,
- mit Türen an einer oder beiden Stirnseiten und Türen an einer oder beiden Seiten.

Vom Aufbau her den Standard-Containern ähnlich sind die High-Cube-Container, die jedoch höher konstruiert werden. Des Weiteren werden belüftete

⁹⁴ Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (1995).

⁹⁵ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2005)

Standard-Container angeboten, die für nässeempfindliche Güter, wie Rohkaffee eingesetzt werden.

Stückgutcontainer können für jegliche Art von Stückgütern eingesetzt werden. Sie sind besonders geeignet für den Transport palettierter Waren. Mit Spezialeinrichtungen versehen, können sie auch beispielsweise für den Transport hängender Kleidungsstücke eingesetzt werden.

3.2.2 Schüttgut-Behälter (nicht druckbeständig und druckbeständig),

Nicht druckbeständige Schüttgutcontainer besitzen auf dem Dach drei Einfüllöffnungen sowie zwei Ausschüttöffnungen mit kurzen Schläuchen bzw. mit zwei Entladeklappen an den Türen. Diese Art der Schüttgutcontainer kann auch für Stückgüter eingesetzt werden.⁹⁶

Druckbeständige Schüttgutcontainer sind von der Konstruktion her den Tankcontainern ähnlich, Sie werden über Druckschläuche be- und entladen.

3.2.3 Thermalcontainer (gekühlt und/oder beheizt),

Thermal-Container werden in zwei verschiedenen Systemen angeboten:

- Container mit integrierter Kühleinheit: Diese Container besitzen eine eigene Kühleinheit, mit deren Hilfe die Temperatur des Containerinnenraumes geregelt wird.
- Porthole-Container: Diese besitzen keine eigene Kühleinheit, sondern sind nur isoliert und müssen an eine externe Kühlung angeschlossen werden. Diese Container werden nahezu ausschließlich im Seeverkehr eingesetzt.

Kühlcontainer besitzen infolge der Isolierung eine größere Wandstärke als Stückgutcontainer. Außerdem kann der Raum für das Kühlaggregat nicht für Nutzlast verwendet werden. Daher besitzen Kühlcontainer im Vergleich zu Standard-Containern ein geringeres Ladevolumen (bei ISO- und Binnen-Containern) bzw. größere Außenabmessungen (bei Wechselbehältern).

⁹⁶ Quelle: *Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2005)*

3.2.4 *Oben offene Container*

Das Dach von oben offenen Containern besteht aus mehreren abnehmbaren Spriegeln und einer abnehmbaren Plane. Als Sonderform existieren auch Hard-Top-Container mit einem komplett abnehmbaren Stahldach.

Durch das abnehmbare Dach sind beide Containertypen von oben her mit einem Kran zu beladen und daher auch für schwere Güter, wie Stahl-Coils, geeignet.

3.2.5 *Plattformcontainer*

Plattformcontainer bestehen aus einer hochbelastbaren Bodenkonstruktion und zwei entweder fest installierten oder abklappbaren Stirnwänden. Teilweise verfügen Plattformcontainer auch über Rungen.

Die Stabilität der Stirnwände ermöglicht es, Ladehilfsmittel anzuschlagen und auch bei ISO-Containern oder Binnencontainern mehrere Plattformen übereinander zu stapeln. In zusammengeklapptem Zustand lassen sich mehrere Plattformen auf einem Containerstellplatz übereinander gelegt befördern.

3.2.6 *Tankcontainer*

Tankcontainer sind für den Transport jeglicher Art von Flüssigkeiten geeignet. Sie müssen zu mindestens 80 % gefüllt sein, um gefährliche Schwallbewegungen während des Transportes zu vermeiden und dürfen im Allgemeinen nicht über 95 % befüllt sein, um den für die thermische Ausdehnung erforderlichen Freiraum zur Verfügung zu halten.

Bei Tankcontainern wird grundsätzlich zwischen Containern für den Lebensmitteltransport und Containern für sonstige Güter unterschieden. Container für den Lebensmitteltransport dürfen nicht mit anderen Flüssigkeiten befüllt werden.

3.2.7 *Sonstige Container (nach dem Frachtgut benannt)*

Hierunter fallen weitere Containerbauarten, die speziell auf den Transport bestimmter Gutarten ausgelegt sind. Ein Beispiel stellen Paletten dar, die mit Gestellen für den Transport von Stahlcoils versehen sind.

3.3 Umschlagtechniken für Container

Wesentlicher Bestandteil eines Systemkonzepts für einen containerisierten Einzelwagenverkehr ist die Anwendung von Containerumschlagtechniken für das Umstellen der Container zwischen den einzelnen Zugfahrten.

3.3.1 Einsatzbereiche von Horizontal- und Vertikalumschlagssystemen

Bei den Umschlagtechniken für Container wird zwischen Techniken für den Horizontal- und Vertikalumschlag differenziert⁹⁷:

Horizontalumschlagssysteme heben die Transportbehälter (Container) nicht oder nur geringfügig horizontal an, um den Transportbehälter aus seiner Transportverankerung zu lösen. Der weitere Verlauf des Umschlagvorgangs verläuft in horizontaler Richtung. Die Vorteile des Horizontalumschlages sind:

- Die Anlagen sind zumeist kleiner und mit weniger aufwändigen technischen Hilfsmitteln versehen als die Anlagen des Vertikalumschlages.
- Die Anlagen sind von ihren Investitionskosten her günstiger als die Anlagen für den Vertikalumschlag.
- Der Umschlag ist unter einer elektrischen Fahrleitung möglich.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile:

- die zumeist geringere Leistungsfähigkeit und
- ein größerer Zeitbedarf für den einzelnen Umschlagvorgang.

Trotz der geringeren Investitionskosten für die Anlagen sind die Kosten pro Umschlag bei Horizontalumschlagssystemen höher als bei Vertikalumschlagssystemen, so dass Vertikalumschlagssysteme bei hohen Umschlagleistungen einen Kostenvorteil besitzen.⁹⁸ Daher sind Systeme mit vorwiegend horizontalem Umschlag ungeeignet für Umschlagknoten des Kombinierten Verkehrs⁹⁹ und damit auch für Umschlagknoten eines containerisierten Einzelwagenverkehrs.

Bei **Vertikalumschlagssystemen** wird der Transportbehälter mittels Kran oder Stapler angehoben und in angehobenem Zustand umgeschlagen. Vertikalum-

⁹⁷ *Trafico Verkehrsplanung (Auftragnehmer) (1998)*

⁹⁸ *Trafico Verkehrsplanung (Auftragnehmer) (1998)*

⁹⁹ *Fabel, Peter und Dietrich Sarres (1997)*

schlagsysteme erfordern zumeist hohe Investitionen in die einzelne Anlage. Daraus resultiert eine größere Mindestumschlagmenge an Transportbehältern für den wirtschaftlichen Betrieb der einzelnen Anlage und aus wirtschaftlichen Gründen muss eine Konzentration auf wenige, aber leistungsfähige Umschlagstandorte erfolgen.

Im Rahmen des containerisierten Einzelwagenverkehrs kann der Einsatz beider Arten von Umschlagssystemen sinnvoll sein. Horizontalumschlagtechniken sind für den dezentralen Einsatz im Gleisanschluss für den Umschlag vom Tragwagen auf Straßenfahrzeuge prädestiniert. Für die zentralen Umschlagpunkte zwischen den einzelnen Zugfahrten des Systems sind Vertikalumschlagsysteme besser geeignet.

3.3.2 Systemübersicht der Umschlagsysteme

Nachfolgend erfolgt eine Übersicht der wichtigsten im Einsatz befindlichen bzw. projektierten Umschlagsysteme. Dabei wird auch erläutert, ob ein Einsatz der Systeme im Rahmen eines containerisierten Einzelwagenverkehrs sinnvoll sein kann. Die Beschreibung der Systeme erfolgt überwiegend auf Grundlage einer Untersuchung der Trafico Verkehrsplanung im Auftrag der Alpeninitiative.¹⁰⁰

Bimodale Systeme

Bei bimodalen Systemen werden Lkw-Sattelaufleger auf Drehgestelle aufgesetzt. Diese Systeme erfordern eine spezielle Konstruktion der Sattelaufleger. Die Sattelaufleger vereinigen die Funktion des Ladungsträgers und Tragfahrzeugs in einer Einheit. Daher sind diese Systeme für den containerisierten Einzelwagenverkehr ungeeignet.

¹⁰⁰ *Trafico Verkehrsplanung (Auftragnehmer) (1998)*

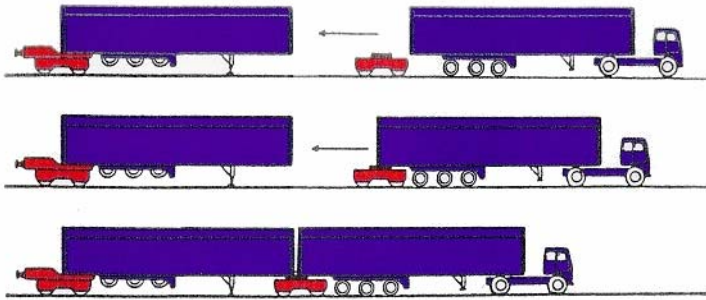


Abbildung 17 Systemskizze für ein bimodales Umschlagsystem¹⁰¹

Abrollcontainersysteme

Abrollcontainersysteme bestehen aus speziellen mit Rollen versehenen Containern, die mit Hilfe eines Lkw-seitig vorhandenen Krans von den Eisenbahnwagen gezogen werden. Dazu sind Flachwagen mit speziellen Drehrahmen erforderlich. Diese Wagen können bei einem containerisierten Einzelwagenverkehr nur auf bestimmten festen Relationen eingesetzt werden, da die Drehrahmen eine Beladung mit herkömmlichen Behältern unmöglich machen. Die Abrollcontainer selbst können im containerisierten Einzelwagenverkehr eingesetzt werden, sofern die Behälter mit geeigneten Standardbeschlägen ausgestattet sind.



Abbildung 18 Abrollcontainersystem¹⁰²

Selbstentladende Lkw

Bei den selbstentladenden Lkw sind die Umschlagsysteme fest auf dem Lkw montiert. Man unterscheidet Systeme mit Kranarmen und Systeme mit Krabbelbalken. Bei Systemen mit Kranarmen erfolgt der Umschlag mit Hilfe von schweren Kranarmen, die die Nutzlast des Lkw stark einschränken. Bei Systemen mit

¹⁰¹ Quelle: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2006)

¹⁰² Quelle: ACTS AG (2006)

Krabbelbalken, wie dem Mobiler von Palfinger-Bermüller¹⁰³, wird ein Krabbelbalken in spezielle Aussparungen unter dem Behälter geschoben. Anschließend wird der Container auf dem Balken auf das andere Fahrzeug verschoben. Diese Systeme erfordern besondere Aussparungen an den Wechselbehältern bzw. Containern. Beide Systeme sind geeignet, um als Umschlagsystem im Vorlauf zum Gleisanschluss und im Nachlauf vom Gleisanschluss eingesetzt zu werden.



Abbildung 19 System mit Krabbelbalken (Beispiel Mobiler)¹⁰⁴

Selbstfahrende vollbahntaugliche Umschlaggeräte

Selbstfahrende Vollbahntaugliche Umschlaggeräte sind selbstfahrende Schienenfahrzeuge, die ähnlich den selbstentladenden Lkws mit einem Kran ausgestattet werden. Der Umschlag erfolgt statt vom Straßen- vom Schienenfahrzeug aus. Die Nachteile dieser Systeme sind die hohen Anschaffungskosten sowie das hohe Eigengewicht, das die Nutzlast stark einschränkt. Damit sind die Fahrzeuge in der Regel nicht wirtschaftlich einzusetzen.

Ortsfeste Umschlaggeräte für den Horizontalumschlag

Bei ortsfesten Systemen für den Horizontalumschlag werden die Container durch ortsfeste, neben dem Gleis angebrachte Hebevorrichtungen aus den Verankerungen gehoben und gehalten. Anschließend können die Tragwagen

¹⁰³ Schmidt, Elmar (2003)

¹⁰⁴ Foto: Palfinger-Bermüller, Internetseite: www.mobiler.de

unter den Containern herausgezogen werden. Dann wird ein Lkw unter den Container gefahren und der Container auf die Lkw-Ladefläche abgesetzt. Ein Beispiel für diese Systeme ist der Kugel Containerlift.¹⁰⁵ Die Systeme sind bisher nur als Modell entwickelt worden. Bislang ist kein Prototyp in der Praxis getestet worden.

Vertikalumschlag mit Reach-Stackern

Reach-Stacker sind Großgabelstapler, die mit Spreiztraversen für den Containerumschlag ausgestattet sind.¹⁰⁶ Aufgrund des großen Eigengewichts von 45 t bis 90 t sind sie nicht im öffentlichen Straßenverkehr einsetzbar und benötigen besonders befestigte Fahrstrecken und Ladestraßen. Reach-Stacker eignen sich aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit für kleinere und mittelgroße Umschlagpunkte und sind auch für den Schiene-Schiene-Umschlag geeignet.

Anlagen mit Portalkranen

Die Anlagen mit schienenfahrbaren Portalkränen stellen seit den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die klassische Form des Containerumschlags für den Schienenverkehr dar.¹⁰⁷ Die ersten Anlagen waren mit einem Portalkran mit einer Stützweite von 22 m ausgestattet. Derartige Anlagen besitzen eine Umschlagleistung von etwa 20 Ladeeinheiten/Stunde. Später zeigte sich, dass diese Anlagen nicht ausreichend leistungsfähig sind, so dass zusätzliche Kräne mit größeren Stützweiten installiert werden mussten. Die Nutzlast der Kräne beträgt im Allgemeinen 35 t. Die wesentlichen Vorteile schienenfahrbarer Portalkräne auch bei Einsatz in Umschlagpunkten des containerisierten Einzelwagenverkehrs sind:

- der geringe Platzbedarf der Anlagen bei großer Verkehrsfläche unterhalb des Krans,
- der freizügige Umschlag von Containern auch über gestapelte Container hinweg,
- die hohe Umschlagleistung und
- die hohe Verfügbarkeit.

¹⁰⁵ *Schleifkottenbahn (2006)*

¹⁰⁶ *Fraunhofer, Institut für Materialfluss und Logistik (2006)*

¹⁰⁷ *Fabel, Peter und Dietrich Sarres (1997)*

Schnellumschlagsysteme

Von großen Industrieunternehmen sind in den letzten Jahren Systemkonzepte für so genannte „Schnellumschlaganlagen“ entwickelt worden.¹⁰⁸ In den Systemen wird angestrebt, die Funktionen Umschlag Schiene, Lagerung und Umschlag Straße zu entkoppeln. Außerdem sollen durch die Automatisierung von Teilen des Umschlagvorganges die Leistungsfähigkeit und Schnelligkeit der Anlagen erhöht und die Umschlagkosten verringert werden.

Die Firma **Hilgers** bietet ein System von drei miteinander verbundenen Kranfahrbahnen an, die eine Entkopplung der Zugbe- und -entladung, der Lkw-Be- und Entladung und der Lagerung der Behälter ermöglicht. Die Bereiche der drei Kranfahrbahnen sind über mehrere kleine Querförderanlagen miteinander verbunden. Eine Automatisierung der Abläufe ist nicht vorgesehen.

Die **Krupp-Schnellumschlaganlage** ermöglicht einen Umschlag am langsam fahrenden Zug. Die Anlage arbeitet im Schienenumschlag vollautomatisch, nur die Beladung der Lkw erfolgt manuell. Unmittelbar am Umschlaggleis arbeiten ein oder mehrere automatische Halbportalkrane, die die Ladeeinheiten vom Zug auf Querförderer umsetzen. Über Querförderer gelangen die Ladeeinheiten zu den parallel angeordneten Kränen, die den Umschlag auf Lkw übernehmen.

Mannesmann Transmodal hat mit dem **TRANSMANN** ein schienenfahrbares Umschlaggerät entwickelt, das Container und Wechselbehälter auch unter Fahrdraht umschlagen kann. Die Leistungsfähigkeit eines Gerätes beträgt ca. 40 Ladeeinheiten pro Stunde. In großen Anlagen können mehrere TRANSMANN-Kranbahnen mit Fahrerlosen Transportsystemen verbunden werden.

Thyssen schlägt ein Hängebahnsystem vor, bei dem alle Gleise, Lade- und Abstellspuren mit einem Einschienenbahnsystem verbunden sind. Für den Umschlag eines Behälters werden zwei in Behälterlängsrichtung voneinander unabhängige Katzen eingesetzt. Die Katzen werden in Längsrichtung über dem einfahrenden Zug positioniert und können dann gleichzeitig alle Behälter des Zuges abheben und in den Lkw-Umschlag- und Abstellbereich bringen.

¹⁰⁸ Fabel, Peter und Dietrich Sarres (1997)

Die Firma Noell hat mit dem **Noell Megahub** eine Schnellumschlaganlage für Drehscheiben-Produktionssysteme entwickelt. Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Systemen, die primär für den Straße-Schiene-Umschlag konzipiert sind, besteht die Hauptaufgabe des Noell Systems in der Durchführung von Schiene-Schiene-Umschlägen im Rahmen weiterentwickelter Produktionssysteme des Schienengüterverkehrs. Ein Straße-Schiene-Umschlag ist nur in den aufkommensschwachen Zeiten des Schienenverkehrs vorgesehen. Ein erster Einsatz des Systems war im projektierten Megahub in Lehrte geplant. Die Planungen sind aber bisher nicht umgesetzt worden.

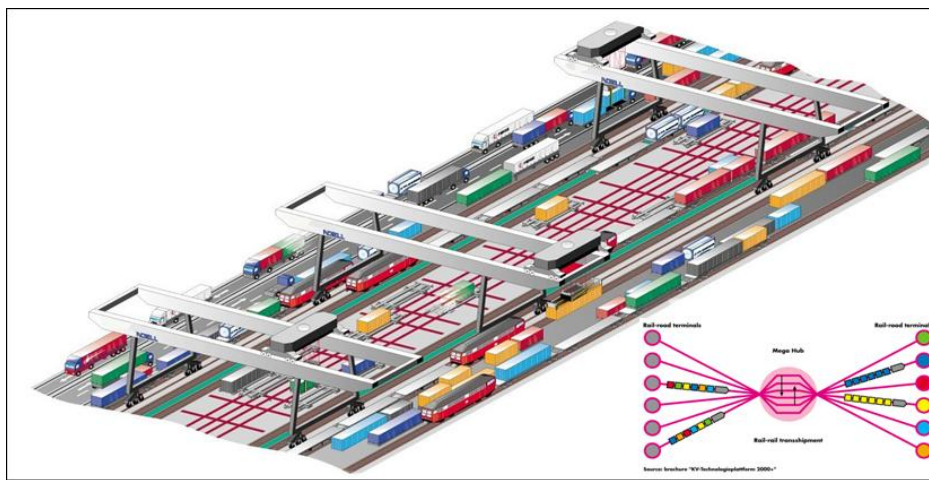


Abbildung 20 Noell Megahub Lehrte (Projektskizze der Firma Noell Crane Systems)¹⁰⁹

Da der Noell Megahub als einziges Umschlagsystem von vorneherein für einen optimierten Schiene-Schiene-Umschlag konzipiert worden ist, wird dieses System in dieser Arbeit als Grundlage für die Gestaltung der Umschlagpunkte eines containerisierten Einzelwagenverkehrs gewählt.

3.3.3 Umschlagpunkte des containerisierten Einzelwagenverkehrs

Für den Containerumschlag zwischen den Zügen des containerisierten Einzelwagenverkehrs sollen aufkommensabhängig grundsätzlich zwischen zwei Arten von Umschlagpunkten unterschieden werden. Anlagen mit geringem Aufkommen werden als Hubs bezeichnet. Hubs werden mit herkömmlicher Umschlagtechnologie betrieben. Bei großem Aufkommen werden Megahubs eingerichtet, die einen zumindest teilweise automatisierten Umschlag ermöglichen.

¹⁰⁹ Quelle: Franke, K.-P. (2003)

3.3.3.1 Hubs

Das Layout eines Hubs lehnt sich an die Gestaltung der herkömmlichen Umschlagpunkte des Kombinierten Verkehrs an. Der Hub besteht aus einem Umschlaggleis oder mehreren nebeneinander liegenden Umschlaggleisen sowie daneben angeordneten Lagerflächen für Container, bei denen ein Direktumschlag nicht möglich ist.

Der Umschlag kann bei Anlagen mit sehr geringem Aufkommen mit Reach-Stackern erfolgen. Größere Anlagen erfordern den Einsatz von einem oder mehreren Portalkränen. Die Kosten je Umschlag bewegen sich unabhängig vom eingesetzten Gerät bei gut geführten Anlagen um ca. 15,90 Euro/TEU.¹¹⁰ Dieser Wert wird für die Umschlagkosten eines Hubs unabhängig von seiner Auslastung in die spätere Simulation übernommen.

3.3.3.2 Megahubs

Als Megahub werden die zentralen Umschlagpunkte im Netz eines containerisierten Schienengüterverkehrs bezeichnet. Dort werden die Umschlagvorgänge gebündelt, so dass an den Megahubs ein großes Umschlagvolumen zusammengeführt werden kann. Um das große Umschlagvolumen abwickeln zu können, müssen die Megahubs einen effizienten Umschlag ermöglichen. Dieses wird durch den Einsatz halbautomatischer oder automatischer Umschlag- und Zwischenlagertechnik sichergestellt.

3.3.4 Gestaltung der Megahubs des containerisierten Einzelwagenverkehrs

Ausgangspunkt für die Gestaltung der Megahubs des containerisierten Einzelwagenverkehrs ist, wie bereits beschrieben, der von der Firma Noell für den Bahnhof Lehrte projektierte Megahub.¹¹¹ Dieser ist als zentrale Drehscheibe für den Schiene-Schiene-Umschlag als Ersatz für die bisherigen Rangierbahnhöfe

¹¹⁰ *Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999)*, Seite 19: Kosten für den Umschlag nach Preisstand 1999: 38,20 DM, das entspricht 19,53 Euro. Hochgerechnet auf Basis des Preisindex der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (*Statistisches Bundesamt (2006)*) auf das Jahr 2006 entsprechend das: 22,26 Euro. Bei 1,4 TEU/Container ergeben sich 15,90 Euro pro TEU.

¹¹¹ *Franke, K.-P. (1997)*

vorgesehen und ermöglicht eine Verkürzung der Umstellzeiten der Container zwischen den Zügen von 140 bis 180 Minuten auf 40 Minuten.¹¹² Die Gesamtaufenthaltsdauer im Umstellbahnhof verkürzt sich von 300 bis 360 Minuten im herkömmlichen Rangierbahnhof auf 70 Minuten im Megahub.¹¹³

Das Betriebskonzept des Megahubs in Lehrte sieht vor, dass er in den Nachtstunden eine Drehscheibenfunktion zwischen sternförmig auf den Megahub zulaufenden Ferngüterzügen wahrnehmen soll. In den Tagstunden wird er als herkömmliches Terminal des Kombinierten Verkehrs betrieben. Im Rahmen des containerisierten Einzelwagenverkehrs beschränkt sich die Funktion der Megahubs zunächst ausschließlich auf den Schiene-Schiene-Umschlag, so dass auf die Elemente für den Straße-Schiene-Umschlag verzichtet werden kann.

Der für Lehrte konzipierte Megahub besteht aus sechs parallel liegenden Gleisen sowie einer automatischen Längsförderanlage. Gleise und Längsförderanlage werden mit einer Kranfahrbahn überspannt. Die Kräne übernehmen den Quertransport der Container zwischen den Zügen und der Längsförderanlage. Der Längsverschub erfolgt über die Längsförderanlage. Im Transportbereich der Längsförderanlage werden zusätzliche Abstellplätze für Container vorgesehen, die nicht sofort umgeladen werden können.

Für einen containerisierten Einzelwagenverkehr ist eine Anpassung des Megahub-Konzepts notwendig. Während der in Lehrte projektierte Megahub als Drehscheibe für den Kombinierten Verkehr mit Schiene-Schiene- und Schiene-Straße-Umschlag konzipiert worden ist, sind in den Megahubs des containerisierten Einzelwagenverkehrs vorwiegend Umstellungen zwischen Fern- und Regionalzügen vorgesehen. Die Verbindungen zwischen den Megahubs sollen überwiegend mit Direktzügen bedient werden, so dass bei den Megahub-Megahub-Verbindungen keine Umstellungen erforderlich sind. Die im Megahub vorhandenen Gleise werden auch räumlich in zwei Gruppen, eine für den Fern- und eine für den Regionalverkehr eingeteilt.

Die Fernverkehrsgleise sind in voller Länge befahrbar und beidseitig an die Strecke angeschlossen. Das Betriebskonzept sieht vor, dass die Fernzüge von der Strecke direkt in die Ferngleise einfahren. Da im eigentlichen Umschlagbe-

¹¹² *Kortschak, Bernd (1997)*

¹¹³ *Franke, K.-P. (2003)*

reich aufgrund der Kranbedienung keine Oberleitung vorhanden sein kann, wird dieser Abschnitt mit Schwung durchfahren. Die Lok kommt dann hinter dem eigentlichen Umschlagbereich im bereits wieder mit Oberleitung überspannten Abschnitt zum Halten. Die Ferngleise sind auf eine maximale Zuglänge von 1.400 m ausgelegt. Für den Fernverkehrsbereich sind zwei Gleise vorgesehen, so dass bei einer Behandlungsdauer von 40 Minuten pro Zug eine Kapazität von maximal 72 Zugfahrten pro Tag erreicht wird. Das entspricht bei 200 TEU pro Zug einer theoretischen maximalen schienenseitigen Leistungsfähigkeit von 14.400 TEU pro Tag.

Für den Regionalverkehrsbereich werden vier Gleise vorgesehen. Diese sind in der Mitte betrieblich geteilt und mit Weichenverbindungen untereinander verbunden. Damit können im Regionalverkehrsbereich 8 Züge mit einer Länge von 700 m gleichzeitig bereitgestellt werden. Auch im Regionalverkehrsbereich ist eine Überspannung der Gleise mit Oberleitung nicht möglich. Aufgrund der kürzeren Zuglängen ist das Schwungfahren unter den Oberleitungsbereich nicht möglich. Sofern die Regionalverkehrszüge nicht mit Dieseltriebfahrzeugen befördert werden, müssen sie mit Hilfe von Rangierlokomotiven unter die Oberleitung geschoben werden.

Zwischen dem Regional- und dem Fernverkehrsteil des Megahub wird die Längsförderanlage für die Container angeordnet. Die Kräne überspannen den kompletten Bereich der Fern- und Regionalgleise und die Längsförderanlage.

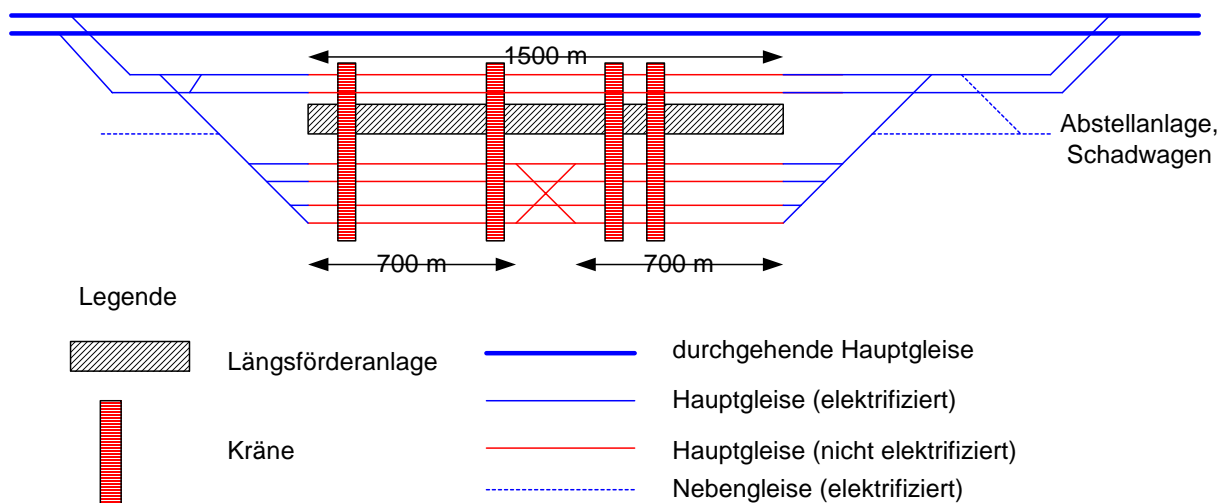


Abbildung 21 Megahub für den containerisierten Einzelwagenverkehr (Systemskizze)

Unabhängig von Ihrer Kapazität sollen alle Megahubs zunächst mit der gleichen Gleisinfrastruktur und der gleichen Längsförderanlage versehen werden. Die Megahubs unterscheiden sich nur hinsichtlich der Anzahl der Kräne, diese wird der erforderlichen Kapazität angepasst. Da sich die Anzahl der Kräne in einer bestehenden Anlage problemlos erhöhen lässt, ermöglicht diese Vorgehensweise eine kurzfristige Anpassung der Kapazitäten an eine steigende Nachfrage.

3.3.5 Ermittlung der Umschlagkosten in einem Megahub

Die Umschlagkosten eines Megahubs setzen sich aus den Investitionskosten, den Energiekosten, den Personalkosten und den sonstigen Kosten zusammen. Wesentliche Parameter für die Kostenermittlung ist die Leistungsfähigkeit eines Kranes in TEU pro Tag, die von der Dauer eines Kranspiels, der Anzahl der Kranspiele pro Umschlag, der Anzahl der pro TEU umzuschlagenden Container und der erreichbaren Auslastung der Kräne abhängt.

Die zu berücksichtigenden Kosten werden zunächst als Jahreskosten ermittelt und dann auf Basis von 260 Betriebstagen im Jahr und der ermittelten Leistungsfähigkeit der Kräne auf Kosten pro Umschlag umgerechnet.

3.3.5.1 Leistungsfähigkeit eines Kranes

Die praktisch erreichbare Leistungsfähigkeit eines Kranes im Megahub in TEU pro Tag hängt von der Dauer eines Kranspiels, der Anzahl der Kranspiele je Umschlagvorgang, der Anzahl der TEU pro Container sowie der erreichbaren Auslastung der Kräne ab:

$$L_{Kran} = \frac{14,4 \cdot V_C \cdot A_C}{t_K \cdot n_K} \quad (5/1)$$

mit L_{Kran} praktisch erreichbare Leistungsfähigkeit eines Krans in [TEU/d]

V_C mittlere Größe eines Containers in [TEU]

A_C mittlere Auslastung der Kräne in [%]

t_K Zeitbedarf für ein Kranspiel in [min]

n_K Anzahl der Kranspiele je Umschlag in [-]

Für die Bemessung der Megahubs und die Ermittlung der Umschlagkosten pro TEU wird eine mittlere Containergröße von 1,4 TEU¹¹⁴ zugrunde gelegt. Die Leistungsfähigkeit der Krananlagen wurde von BONTEKONING simuliert.¹¹⁵ Bei der Simulation wurde für einen Noell Megahub unter optimalen Umständen eine Spielzeit von 52 Sekunden ermittelt. Da die optimalen Verhältnisse nicht immer sichergestellt werden können, wird für die Kostenermittlung ein Zeitbedarf von einer Minute pro Kranspiel zugrunde gelegt.

Die Anzahl der Direktumschläge kann nur geschätzt werden. Grundlage ist die Annahme eines Verhältnisses von zwei Takten Fernverkehr zu einem Takt Regionalverkehr. Damit können nur die Hälfte der Container direkt umgeschlagen werden, die andere Hälfte muss zwischengelagert werden. Aufgrund der Gestaltung des Megahubs mit zwei hintereinander liegenden Abschnitten für den Regionalverkehr (vgl. Abbildung 21) ist auch bei direktem Anschluss zwischen Fern- und Regionalverkehr nur von einem Anteil von 50 Prozent Direktumsteigern auszugehen. Damit müssen 75 Prozent der Container über die Längsförderanlage umgeschlagen und gegebenenfalls zwischengelagert werden. Für die über die Längsförderanlage umzuschlagenden Container sind zwei Kranspiele erforderlich, bei den Direktumsteigern ist ein Kranspiel für den Umschlag ausreichend. Im Mittel ergeben sich daraus 1,75 Kranspiele pro umgeschlagenen Container.

Aufgrund der ungleichmäßigen Tagesganglinie ist nicht über den gesamten Tag hinweg von einer Vollauslastung der Kräne auszugehen. Das Verhältnis der Auslastung in der Spitzenstunde zur durchschnittlichen Auslastung der Kräne ist abhängig von der Tagesganglinie des Aufkommens und von der Gestaltung des Megahubs. Im Projekt TERMINET wurden zwei Modellanlagen für Standorte in Venlo, Niederlande und Metz, Frankreich untersucht.¹¹⁶ Die Anlage in Metz hat ein Verhältnis der Kranspiele von Spitzenstunde zum Tagesdurchschnitt

¹¹⁴ Nach *Leonardi, Jacques, Baumgartner, Michael und Oliver Krusch (2004)* wurden von 19 befragten Unternehmen im Hafen-Hinterlandverkehr des Hafens Hamburg 824.531 TEU in 244.559 20-Fuß-Containern und in 289.986 40-Fuß-Containern befördert. Das ergibt eine mittlere Containergröße von 1,54 TEU. Da im Einzelwagenverkehr ein größerer Anteil von schweren Gütern befördert wird, ist von einem geringeren Anteil 40-Fuß-Containern auszugehen. Die Bemessung der Megahubs erfolgt daher auf der Grundlage von 1,4 TEU/Container.

¹¹⁵ *Kreutzberger, E. und J.J. Trip (2002)*

¹¹⁶ *Technische Universiteit Delft (Hrsg.) (2000)*

von 3 zu 1, entsprechend einer Auslastung von 33 %, die Anlage in Venlo besitzt ein Verhältnis von 1,2 zu 1, entsprechend 84 %. Die mittlere Auslastung beider Anlagen beträgt 59 %. Diese mittlere Auslastung wird für die Dimensionierung der Megahubs des containerisierten Einzelwagenverkehrs verwendet.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Eingangsdaten ergibt sich eine Leistungsfähigkeit von 680 TEU/d für einen Kran.

3.3.5.2 Investitionskosten

Die Investitionskosten für einen Megahub setzen sich aus den Grundkosten für die Infrastruktur sowie aus den Kosten für jeden Kran zusammen. Die Auswertung der Investitionskostenrechnungen der Modellanlagen in Venlo und Metz ergeben Grundkosten von 20 Mio. Euro und Kosten je Kran von 5 Mio. Euro.¹¹⁷ Die Ermittlung der Jahreskosten erfolgt auf Basis üblicher Sätze in der anlagenintensiven Industrie auf Grundlage eines Abschreibungszeitraumes von 15 Jahren, einer Verzinsung von 8,0 % des halben Anlagekapitals und Wartungskosten in Höhe von 5,0 % der Jahreskosten.¹¹⁸

3.3.5.3 Energiekosten

Energiekosten werden auf Grundlage eines Energiebedarfs von 5 kWh bei einem Direktumschlag¹¹⁹ und einem Energiebedarf von 12 kWh bei Nutzung der Längsförderanlage ermittelt. Der Anteil von Direktumschlägen beträgt, wie bereits dargestellt, 25 %. Der Energiekostensatz beträgt entsprechend den Großkundenpreisen 0,16 Euro/kWh.¹²⁰

3.3.5.4 Personalkosten

Der Personalbedarf eines Megahubs beträgt, abgeleitet aus den Verhältnissen in herkömmlichen Umschlagbahnhöfen, je Schicht 6 Personen für Verwaltung und Grundbetrieb sowie einem Kranführer je Kran. Bei einem Betrieb von 260

¹¹⁷ *Kreutzberger, E. und J.J. Trip (2002)*

¹¹⁸ Die Daten für Verzinsung und Wartung sind abgeleitet aus den Werten für Schienenfahrzeuge in *Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999)*

¹¹⁹ mittleres Containergewicht incl. Tara und Hubgeschirr 36 t, Hubhöhe (Summe) 10 m = 3600 kNm, Wirkungsgrad ca. 20 %, Energiebedarf: 18.000 kNm = 5 kWh

¹²⁰ aus dem Internet ermittelter Grosskundenpreis für Gewerbestrom

Tagen im Jahr sind 3,4 Einsatzschichten zu besetzen. Die Kosten je Mitarbeiter werden mit 45.000 Euro pro Jahr angesetzt.¹²¹

3.3.5.5 Sonstige Kosten

Die Sonstigen Kosten umfassen die Kosten für Rangierlokomotiven sowie die Kosten für die Bereitstellung der Gleisanlagen

Für den Betrieb eines Megahubs werden zwei Rangierlokomotiven vorgesehen, die das Bereitstellen und Abräumen der Züge, das Verschieben von elektrisch geförderten Zügen aus dem fahrdrahtlosen Bereich unter den Fahrdraht und das Aussondern von Schadwagen übernehmen. Die Kosten werden mit bei Eisenbahnverkehrsunternehmen üblichen Jahreskostensätzen für Rangiertriebfahrzeuge mit 80.000 Euro pro Lokomotive und Jahr angesetzt.

Anlagenpreis Megahub				
Position	Menge	Einheit	Einzelpreis	Gesamtpreis
<u>Umschlaggleise</u>			[Euro p.a.]	[Euro p.a.]
6 Gleise für Umschlag, zweiseitig angebunden, Qualitätsstufe I	6	Stück	18406,51	110439,06
6 Gleise a 100 m überspannt (Spitzenüberspannung)	600	Meter	16,36	9816,00
6 Gleise a 1500 m nicht überspannt	9000	Meter	14,83	133470,00
<u>Nebenanlagen</u>				
6 Gleise Leerwagenabstellung, einseitig angebunden, Qualitätsstufe IV	6	Stück	3200,00	19200,00
6 Gleise a 750 m	4500	Meter	14,83	66735,00
3 Gleise Lokabstellung, einseitig angebunden, Qualitätstufe IV	6	Stück	3200,00	19200,00
3 Gleise a 50 m, überspannt	300	Meter	16,36	4908,00
6 Lokabstellplätze	6	Stück	9000,00	54000,00
6 Bremsprobeanlagen	6	Meter	4000,00	24000,00
			Summe:	441768,06

Tabelle 3 Kosten für das Anmieten der Gleisanlagen im Megahub¹²²

¹²¹ mittleres Bruttoentgelt 30.000 Euro p.a. zuzüglich 50 % Zuschlag für Arbeitgeberanteile zur SV, Urlaub, Krankheit und sonstige Personalkosten.

Für die Gleisanlagen des Megahubs wird angenommen, dass sich diese im Eigentum von DB Netz befinden und von dort zu den jeweils aktuellen Konditionen angemietet werden müssen. Nach derzeitigem Stand würde das Anmieten der Gleisanlagen ca. 442.000 Euro pro Jahr kosten.

3.3.5.6 Kosten pro Umschlag

Die Kosten pro Umschlag in einem Megahub hängen aufgrund des großen Fixkostenanteils stark von der Kapazität bzw. Auslastung der Anlage ab. Ein Kostenvorteil gegenüber einem herkömmlichen Hub ergibt sich ab ca. 1.300 Umschlägen pro Tag – bei Umschlagkosten von 15,08 Euro. Die Umschlagkosten im Megahub sinken bei 10.000 Umschlägen im Jahr auf 6,36 Euro pro Umschlag.

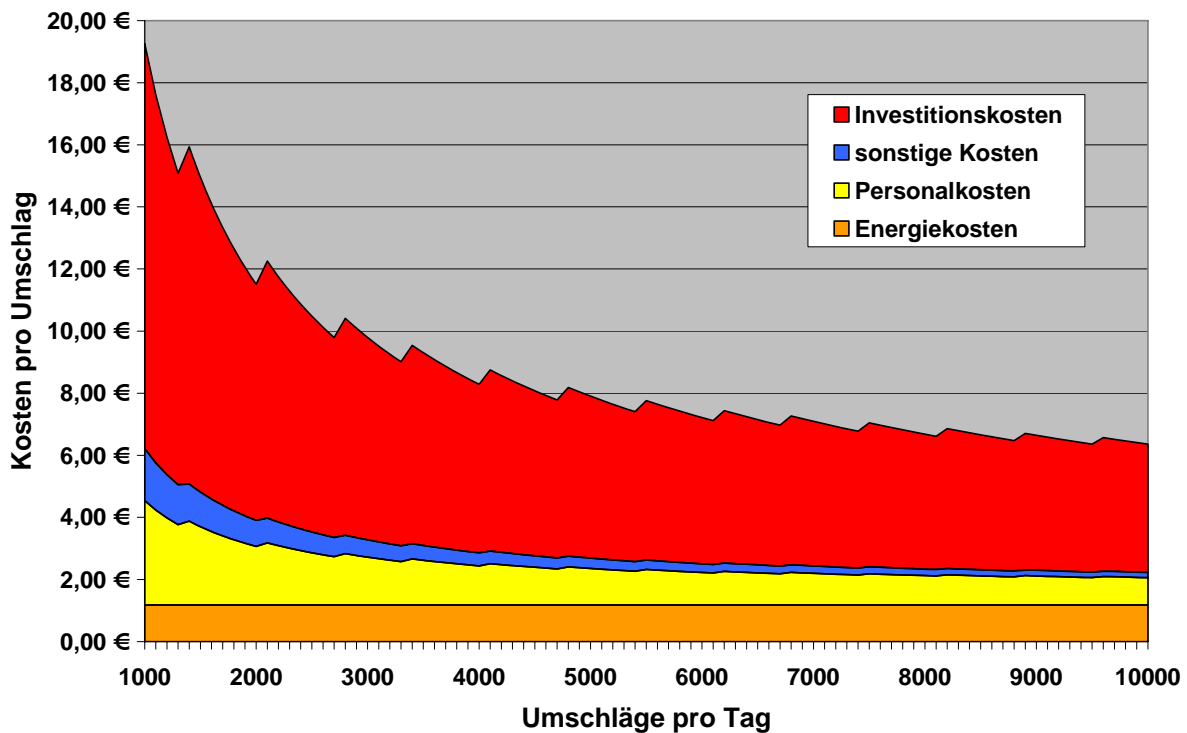


Abbildung 22 Umschlagkosten im Megahub in Abhängigkeit der Anzahl der Umschlagvorgänge pro Tag

¹²² DB Netz AG (Hrsg.) (2004a)

4 Modellansätze zur Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens

Um die Folgen einer vollständigen Umstellung des heutigen Einzelwagenverkehrs auf eine Kombination aus Containern und Containertragwagen abschätzen zu können, ist eine Abschätzung erforderlich, wie sich eine Containerisierung des Schienengüterverkehrs auf die transportierten Mengen auswirken wird. Der hier verwendete Ansatz für die Ermittlung der Containerisierbarkeit basiert auf entscheidungstheoretischen Modellen.

4.1 Datengrundlagen und Datenaggregation für die Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens

4.1.1 Datengrundlagen für das Gesamtaufkommen

Als Datengrundlage für die Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens wird eine Datenbank mit allen im Jahr 2003 vom größten deutschen Eisenbahnverkehrsunternehmen durchgeführten Einzelwagentransporten verwendet. Damit sind mehr als 99% aller Einzelwagentransporte in Deutschland erfasst. Der Marktanteil anderer Eisenbahnverkehrsunternehmen am Einzelwagenverkehr ist vernachlässigbar gering. Die Datenbank enthält, differenziert nach 914 Gutarten und der 5. bis 8. Stelle der Wagenummer der jeweils eingesetzten Wagen, das Transportaufkommen [t], die Transportleistung [tkm] und die mittlere Tarifentfernung [Tarif-km] aller Einzelwagentransporte.

4.1.2 Aggregation der Gutarten

Eine Analyse der im Einzelwagenverkehr beförderten Gutarten und der dabei eingesetzten Wagengattungen zeigt, dass sich der wesentliche Anteil des Transportaufkommens auf nur wenige Wagengattungen und Gutarten bezieht. Es entfallen 91,4 % des Transportaufkommens auf 100 Gütergruppen während die übrigen 814 Gütergruppen nur 8,6 % des Transportaufkommens ausmachen (vgl. Abbildung 26).

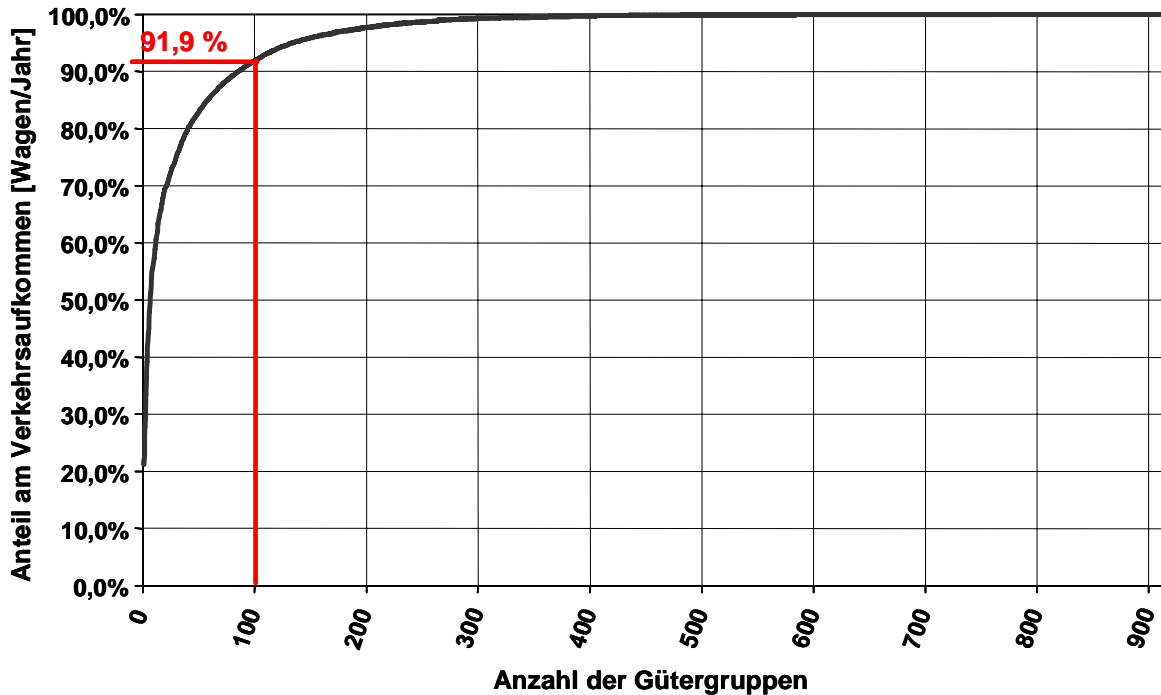


Abbildung 23 Summenhäufigkeitsverteilung des Transportaufkommens (Wagen/Jahr), differenziert nach Gutarten.

Die in den Ursprungsdaten enthaltenen 914 Gutarten unterscheiden sich vielfach nur hinsichtlich der angewandten Produktionsverfahren bei ihrer Herstellung und ihrer Verarbeitung oder der verwendeten Materialien, nicht jedoch hinsichtlich ihrer Transportanforderungen. Daher werden die Gutarten mit ähnlichen Transportanforderungen für die weitere Untersuchung zu 146 Gütergruppen zusammengefasst. Als Beispiel sei hier die Gütergruppe Draht aufgeführt, für die folgende Güterarten zusammengefasst wurden: 1. Walzdraht aus Eisen, aus nicht legiertem Stahl; 2. Draht aus Eisen, aus nicht legiertem Stahl; 3. Walzdraht aus nichtrostendem Stahl; 4. Draht aus nichtrostendem Stahl; 5. Walzdraht aus anderem legiertem Stahl; 6. Draht aus anderem legierten Stahl; 7. Draht aus Kupfer; 8. Draht aus Aluminium.

4.1.3 Analyse der Kombinationen Wagengattungen / Gutarten

Eine Analyse der Häufigkeiten der Kombination von Wagengattungen und Gutarten zeigt, dass nur bei 20 Wagengattungen Kombinationen auftreten, bei denen mehr als 1000 Wagen / Jahr, entsprechend 4 Wagen / Arbeitstag befördert werden. Wagengattungen mit einem geringen Transportaufkommen werden bei den nachfolgenden Untersuchungen zunächst nicht näher betrachtet. Die detail-

lierte Untersuchung hinsichtlich der Containerisierbarkeit beschränkt sich daher im Wesentlichen auf folgende häufig verwendeten Wagengattungen und Güternarten:

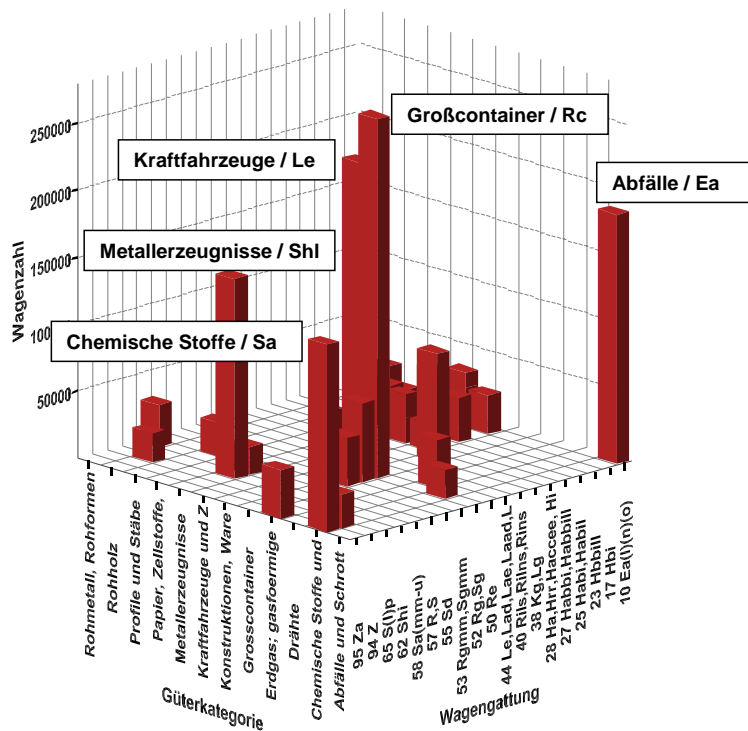


Abbildung 24 Häufigste Kombinationen Wagengattung / Güternart (mehr als 20000 Wagen / Jahr) im Einzelwagenverkehr.

4.2 Modellansätze der Entscheidungstheorie

Die Auswahl eines geeigneten Modellansatzes der Entscheidungstheorie verlangt zunächst eine Charakterisierung der Eigenschaften des vorhandenen Entscheidungsmodells. Entscheidungsmodelle können anhand folgender Eigenschaften klassifiziert werden¹²³:

- Anzahl der Zielsetzungen,
- Informationsstand des Entscheidungsträgers,
- Umfeld der Entscheidungssituation,
- Präferenzen und Art des Entscheidungsträgers,
- Interdependenz der getroffenen Entscheidungen.

¹²³ Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004), Seite 41

4.2.1 Differenzierung nach der Anzahl der Zielsetzungen

Hinsichtlich der Anzahl der Zielsetzungen lassen sich Entscheidungen mit nur einer Zielsetzung und Entscheidungen mit mehreren Zielsetzungen unterscheiden.¹²⁴ Entscheidungen mit nur einer Zielsetzung erfordern zumeist eine weitere Vereinfachung der Modellbildung, führen aber zu einem eindeutigen Ergebnis. Bei Entscheidungen mit mehreren Zielsetzungen ist das Ergebnis häufig nicht eindeutig und stark präferenzabhängig.

4.2.2 Differenzierung nach dem Informationsstand des Entscheidungsträgers

In der Entscheidungstheorie wird in Abhängigkeit der vorhandenen Informationen grundsätzlich zwischen drei Arten von Entscheidungen unterschieden¹²⁵:

- Bei **Entscheidungen bei Sicherheit** steht für jede Aktion der Erreichbarkeitsgrad aller Zielgrößen eindeutig fest. Entscheidungen bei Sicherheit sind allerdings in den meisten Fällen drastisch vereinfachte Abbilder der Wirklichkeit.
- Bei **Entscheidungen bei Risiko** sind dem Entscheidungsträger die subjektiven oder objektiven Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen bestimmter Ereignisse bekannt.
- Bei **Entscheidungen bei Ungewissheit** sind dem Entscheidungsträger die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen bestimmter Umfeldsituationen nicht bekannt.

4.2.3 Differenzierung nach dem Umfeld der Entscheidungssituation

Das Umfeld der Entscheidungssituation beschreibt die Umstände, die die Konsequenzen der Handlung beeinflussen, die der Entscheidungsträger aber nicht beeinflussen kann.¹²⁶ Alle Entscheidungen bei Risiko oder Ungewissheit werden maßgeblich von diesen zufälligen oder ungewissen Zuständen beeinflusst. Man unterscheidet zwischen einem neutralen Umfeld, bei dem alle äußeren Einflüsse zufällig auftreten und einem feindlichen Umfeld, bei dem diese äußeren Einflüsse durch einen fiktiven „intelligenten“ Gegenspieler beeinflusst werden. Ein

¹²⁴ Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004), Seite 47ff

¹²⁵ Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004), Seite 76ff

¹²⁶ Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004), Seite 187ff.

typisches Beispiel für „intelligente“ Gegenspieler sind die Wettbewerber bei Warenmärkten.

4.2.4 Differenzierung nach Präferenzen und Art der Entscheidungsträgers

Entscheidungen, bei denen die Ausprägungen von mehr als einer Zielgröße bei der Entscheidungsfindung betrachtet werden müssen oder bei der sich die möglichen Ausprägungen einer Zielgröße nicht numerisch reihen lassen, lassen eine eindeutige Reihung der Ergebnisse nicht mehr zu.¹²⁷ In diesem Fall ist die Nutzenfunktion abhängig von den Präferenzen des Entscheidungsträgers. Wenn mehrere Entscheidungsträger gemeinsam eine Entscheidung zu treffen haben, ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass diese unterschiedliche Präferenzen besitzen. Außerdem muss bei der Entscheidung zwischen dem Optimum für jedes einzelne Gruppenmitglied und für die Gesamtgruppe differenziert werden.¹²⁸

4.2.5 Differenzierung hinsichtlich der Interdependenz der Entscheidungen in statische und dynamische Entscheidungen

Hinsichtlich der Interdependenz der Entscheidungen werden statische (einstufige) und dynamische (mehrstufige) Entscheidungen unterschieden. Dynamische Entscheidungen liegen immer dann vor, wenn vorhergehenden Entscheidungen Konsequenzen für die Daten zukünftiger Entscheidungen besitzen.

4.3 Charakterisierung des Entscheidungsprozesses hinsichtlich einer Containerisierung von Transporten

Die Entscheidung, ob ein bestimmter Transport oder eine bestimmte Güterart containerisierbar ist, ist auf Grundlage der beschriebenen Kriterien für Entscheidungsprozesse folgendermaßen zu charakterisieren:

- Es handelt sich um einen **Entscheidungsprozess mit einer Zielgröße**. Diese Zielgröße ist das für das Eisenbahnverkehrsunternehmen containerisierbare Verkehrsaufkommen.

¹²⁷ Saliger, Edgar (1993), Seite 21f

¹²⁸ Saliger, Edgar (1993), Seite 179f

- Im Entscheidungsprozess können grundsätzlich alle drei Arten des Informationsstandes des Entscheidungsträgers auftreten. Für die maßgebenden Einflussgrößen auf die Containerisierung sind unterschiedliche Wissensstände und Datengrundlagen vorhanden. Die Daten können bekannt sein, sie können einer bekannten Zufallsverteilung unterliegen oder sie können einer Verteilung unterliegen, deren Parameter nicht bekannt sind. Damit sind im Rahmen des Entscheidungsprozesses **Entscheidungen bei Sicherheit**, **Entscheidungen bei Risiko** und **Entscheidungen bei Ungewissheit** zu erwarten.
- Das **Umfeld der Entscheidungssituation** ist neutral. Es gibt für die Containerisierung nur objektive Hindernisse und es fehlen „intelligente“ Gegenspieler, die eine Containerisierung zu verhindern suchen.
- Da mit den Kosten nur eine numerische Zielgröße vorhanden ist, spielen **Präferenzen** bei der Entscheidungsbildung **keine Rolle**.
- Da die Containerisierbarkeit anhand mehrerer aufeinander aufbauender Kriterien geprüft werden soll, handelt sich um einen **dynamischen Entscheidungsprozess**. Das Ergebnis eines vorhergehenden Schrittes beeinflusst damit das Ergebnis der folgenden Schritte.

4.4 Verfahren zur Entscheidungsfindung

Die Entscheidungsfindung, ob eine bestimmte Gutart containerisierbar ist, soll mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Entscheidungsverfahren durchgeführt werden. In einem ersten Schritt erfolgt eine grobe Abschätzung der Containerisierbarkeit mit Hilfe von Subjektiven Wahrscheinlichkeiten. Im zweiten Schritt erfolgt eine genaue Entscheidungsbaumanalyse. Zunächst sollen hier die beiden Verfahren allgemein beschrieben werden.

4.4.1 Subjektive Wahrscheinlichkeiten

In vielen Entscheidungssituationen besitzen die Entscheidungsträger eigene Glaubwürdigkeitsvorstellungen über das Eintreffen ungewisser Ereignisse.¹²⁹ Auch wenn diesen Vorstellungen keine objektiven Wahrscheinlichkeiten

¹²⁹ Laux, Helmut. (1997), Seite 123ff

zugrunde liegen, kann man diese subjektiven Wahrscheinlichkeiten dennoch als Basis für Entscheidungsmodelle verwenden. Es ist sogar davon auszugehen, dass subjektive Wahrscheinlichkeiten in den meisten realen Entscheidungssituationen eine Rolle spielen.

Es ist allerdings umstritten, ob das Rechnen mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten eine sinnvolle Verfahrensweise ist, da die Schätzungen rein subjektiv sind und eine intersubjektive¹³⁰ Überprüfung nicht möglich ist.

Trotz dieser Bedenken wird in einem ersten Schritt der Anteil der containerisierbaren Sendungen unter Verwendung subjektiver Wahrscheinlichkeiten ermittelt, um zunächst den containerisierbaren Anteil der Transport grob abzuschätzen. Sofern im Rahmen dieser Abschätzung der Anteil containerisierbarer Transporte ausreichend groß ist, so dass eine Containerisierung nicht direkt als unwirtschaftlich auszuschließen ist, sollen die Ergebnisse mit Hilfe einer Entscheidungsbaumanalyse überprüft werden. Da die Entscheidungsbaumanalyse, wie später beschrieben wird, mit objektiven Wahrscheinlichkeiten operiert, können damit die Ergebnisse der subjektiven Abschätzung verifiziert und korrigiert werden.

4.4.2 Entscheidungsbaumverfahren

Mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes wird ein Problem analysiert, in dem es schrittweise in einzelne Elemente zerlegt wird.¹³¹ Die Zusammenhänge der Problemelemente werden durch den Aufbau einer logisch strukturierten Hierarchie verdeutlicht. Mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes lassen sich auch komplexe Probleme einfach und übersichtlich graphisch veranschaulichen. Die Entscheidungskriterien, wie Nutzen oder (objektive) Wahrscheinlichkeiten lassen sich als Wertgitter über den Entscheidungsbaum legen, um damit objektive Wahrscheinlichkeiten oder auch Nutzenwerte für das Eintreffen bestimmter Zustände zu ermitteln.

¹³⁰ Eine objektive Überprüfung einer subjektiven, von persönlichen Erfahrungen und Vorlieben motivierten Entscheidung durch eine andere Person (Subjekt) ist nicht möglich, da diese andere Person aufgrund ihrer eigenen, unterschiedlichen Erfahrungen und Vorlieben entscheiden wird.

¹³¹ Bronner, Rolf (1989)

4.5 Ermittlung des containerisierbaren Anteils am Transportaufkommen mit Hilfe subjektiver Wahrscheinlichkeiten

Wie bereits beschrieben, erfolgt zunächst eine Abschätzung des containerisierbaren Transportaufkommens unter Verwendung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten. Dieses Verfahren wird zum einen bezogen auf die transportierten Gutarten und zum Anderen bezogen auf die verwendeten Wagengattungen angewandt.

4.5.1 Subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Containerisierbarkeit anhand der Gutart

Bei der Überprüfung der Containerisierbarkeit der Gutarten wird für jede der 914 Gutarten in der Datengrundlage anhand seiner subjektiven Erfahrungen vom Autor geprüft, ob bei dieser zu erwarten ist, dass sie ganz, teilweise oder gar nicht containerisierbar ist. Grundlage für die Einschätzung der Containerisierbarkeit sind die Erfahrungen des Autors über Transporteigenschaften der im Einzelwagenverkehr beförderten Güter sowie das im Kapitel 3 beschriebene Wissen über die verfügbaren Containerbauarten und die Randbedingungen unter denen Güter in diesen Containerbauarten befördert werden können.

Dabei werden als wesentliche Kriterien die erwartete Größe der Packstücke, die Masse der Packstücke und die Be- und Entladetechnik zu Grunde gelegt. In Tabelle 4 ist für einige Gutarten das Ergebnis beispielhaft dargestellt.

Auf Grundlage der Einschätzungen auf Basis der Wagenzahl sind unter Berücksichtigung der nicht containerisierbaren Leerwagen 31,85 % der Transporte nicht containerisierbar und 6,41 % teilweise containerisierbar. Unter Ausschluss der Leerwagentransporte sind 10,85 % der Transporte nicht containerisierbar und 8,39 % teilweise containerisierbar. Auf Basis der Transportleistung sind 8,46 % der Transportaufkommens nicht containerisierbar und 7,02 % teilweise containerisierbar (vgl. Abbildung 28). Auf Basis der Transportmenge sind 5,89 % der Transporte nicht containerisierbar und 9,59 % teilweise containerisierbar.

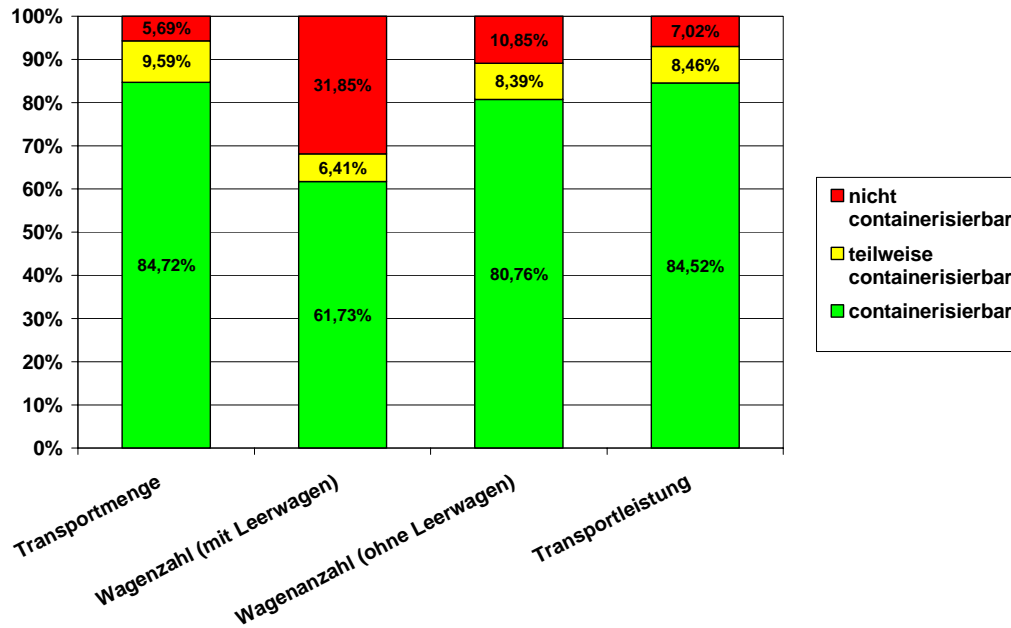


Abbildung 25 Anteil der hinsichtlich der Gutart nicht containerisierbaren, teilweise containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.

In einem zweiten Schritt wird anhand der bereits beschriebenen Kriterien eine subjektive Wahrscheinlichkeit für den Anteil des containerisierbaren Aufkommens der teilweise containerisierbaren Gutarten (vgl. Tabelle 4) ermittelt. Je nach Transporteigenschaften einer Gutart wird vom Autor aufgrund seiner subjektiven Einschätzung der containerisierbare Anteil der Transporte für diese Gutart zwischen 10 % und 90 % abgeschätzt. Unter Berücksichtigung der nicht containerisierbaren Leerwagenfahrten sind 65,90 % des Wagenaufkommens und ohne Berücksichtigung der Leerwagenfahrten 86,20 % des Wagenaufkommens containerisierbar. Ohne Berücksichtigung der Leerfahrten, die wegen fehlender Ladungsmasse über keine Transportmenge und Transportleistung verfügen, sind 91,83 % der Transportmenge und 91,22 % der Transportleistung containerisierbar.

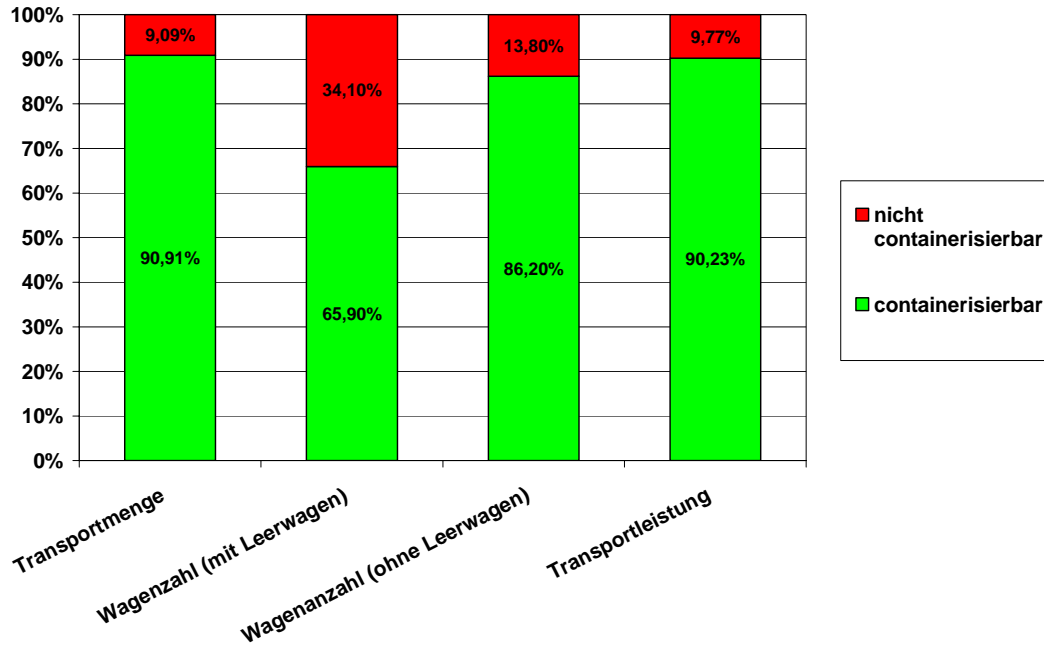


Abbildung 26 Anteil der hinsichtlich der Gutart nicht containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.

Gutart	containerisierbar	Containertyp	Anteil a. d. Verkehrsleistung
Großcontainer, beladen	ja	diverse	7,48 %
Abfälle, Schrott aus Eisen, aus Stahl	ja	oben offen	5,21 %
Personenkraftwagen	nein	-	4,75 %
Flachgewalzte Erzeugnisse aus Eisen, aus Stahl	ja	oben offen/ Plattform mit Rungen	4,34 %
Rohholz	ja	Plattform mit Rungen	3,82 %
...
Kies, Feuerstein, Makadam	tlw. (50%)	oben offen	1,08 %

Tabelle 4 Anteil containerisierbarer Transporte unterschiedlicher Güterarten (Beispiele)

4.5.2 Subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Containerisierbarkeit anhand der Wagengattung

Zur Überprüfung der Ergebnisse aus der Untersuchung der Gutarten werden zusätzlich für die verwendeten Wagengattungen basierend auf dem subjektiven

Wissen des Autors Wahrscheinlichkeiten für eine Containerisierbarkeit ermittelt. Das Kriterium für die Ermittlung der subjektiven Wahrscheinlichkeit ist die Verfügbarkeit von Containerbauarten, die in ihren Transporteigenschaften möglichst gut den Transporteigenschaften der jeweils verwendeten Wagengattung entsprechen. Dabei wurden die Wahrscheinlichkeiten für eine Containerisierbarkeit anhand der Erfahrungen des Autors für jede Wagengattung zwischen 0 % (nicht containerisierbar) und 100 % (vollständig containerisierbar) abgeschätzt (vgl. Tabelle 5). Auf dieser Grundlage ergibt sich, dass 67,68 % des Wagenaufkommens, 91,66 % der Transportmenge und 90,97 % der Transportleistung containerisierbar sind.

Wagengattung	containerisierbarer Anteil	Wagengattung	containerisierbarer Anteil	Wagengattung	containerisierbarer Anteil
00 Keine Zuordnung	0%	36 lbbg	100%	69 Tad	100%
01 Reisezugwagen	0%	37 Ld	0%	70 Tbekk	100%
02 Reisezugwagen	0%	38 Kg,Lg	100%	71 Ti	100%
04 Reisezugwagen	0%	39 O	100%	72 Tbi	100%
05 E, Fb	100%	40 Rils,Riins,Rins	95%	73 Tam	100%
06 F(-z)	0%	41 La,Laa	50%	74 Taems	100%
07 Fak,Fan,Fas	30%	42 Lag,Laag	0%	75 T(d)	100%
08 Fc	30%	43 Le	0%	76 Tdg	100%
09 Fac	30%	44 Le,Lad,Lae,Laad,Laae	0%	77 Tal	100%
10 Ea(l)(n)(o)	100%	45 K(b)(i)(kk)	100%	78 Tadg	100%
11 Fal,Falrr,Fao	0%	46 K(i)(l)	100%	79 Taeh	100%
12 F(a)(rr)	0%	47 Lb	100%	80 U	100%
13 Faal(n)	0%	48 Lbm	100%	81 Uc	100%
14 Hbbi	100%	49 Ll,Laab	100%	82 Uc,Upp	100%
16 G, H	100%	50 Re	80%	83 Uc	100%
17 Hbi	100%	51 Remm	100%	84 Ua	100%
18 Hbil	90%	52 Rg,Sg	100%	85 Uac	100%
19 Hbill	90%	53 Rgmm,Sgmm	100%	86 Taoo,Uaoo	0%
20 Gb,Hb	90%	54 Sahi	100%	87 Uaa	0%
21 Haabi,Haabb	90%	55 Sd	100%	88 Ui	0%
22 Hbill(-x)	90%	57 R,S	100%	89 Uai	0%
23 Hbill	90%	58 Sa(mm-u)	100%	90 Uaai	0%
24 Ga,Ha	90%	59 Saa	100%	91 Uaai	0%
25 Habi,Habil	90%	60 Sah	100%	92 Uaai	0%
26 Haabi	90%	61 Se,Sef	100%	93 Uaai	0%
27 Habi,Habbill	90%	62 Shi	100%	94 Z	100%
28 Ha,Hrr,Haccee, Hi	90%	63 Rhmm,Sh	100%	95 Za	100%
29 Ia	100%	64 Rmm,S(l)mm	100%	97 Zaa	100%
30 Iag	100%	65 S(l)p	100%	98 Werknahverkehrswagen	0%
33 Ibg	100%	66 Saag	100%	99 Schienenfz.a.e.Räder	0%
34 Ibbd	100%	67 Rb	100%		
35 Ibb	100%	68 Saad	100%		

Tabelle 5 Anteil containerisierbarer Transporte für unterschiedliche Wagengattungen

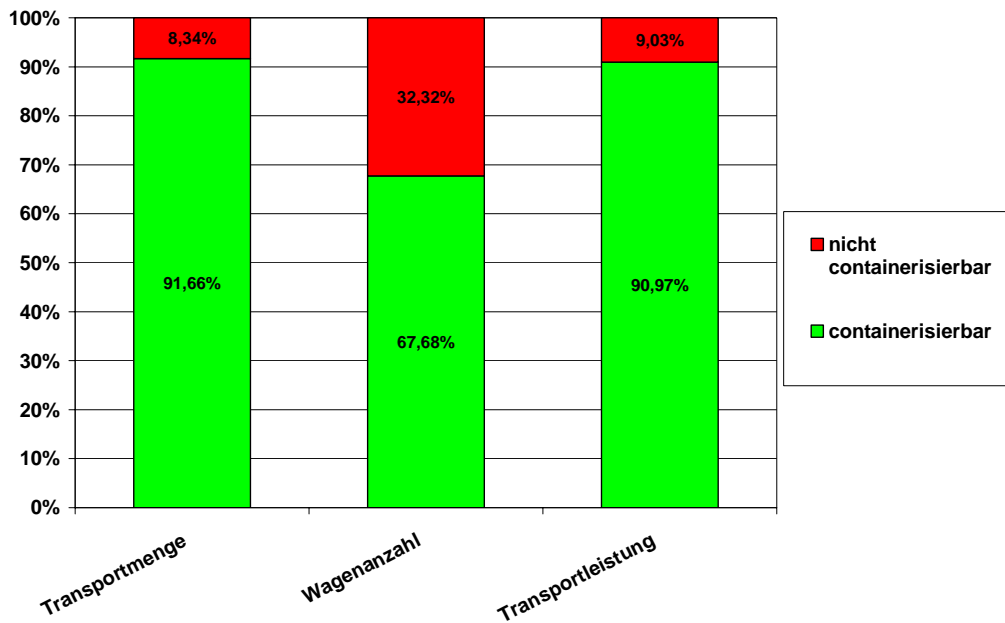


Abbildung 27 Anteil der hinsichtlich der verwendeten Wagengattung nicht containerisierbaren und containerisierbaren Anteile am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs.

4.5.3 Schlussfolgerungen aus der Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten

Das Ergebnis der Abschätzung mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten ist damit deutlich höher als der von Gaidzik in seiner Dissertation unter der Berücksichtigung der im Jahre 1987 bei der Transfracht (TFG) vorhandenen Containerbauarten ermittelte Anteil von 59,3 % containerisierbarer Transporte¹³². Allerdings prognostiziert Gaidzik eine deutliche Zunahme des Anteils containerisierbarer Transporte, sofern in Zukunft weitere Spezialcontainer zur Verfügung stehen.

Wie die Abschätzung der heute containerisierbaren Anteile zeigt, ist in der Zwischenzeit diese prognostizierte Weiterentwicklung der Containerbauarten erfolgt. Damit ist eine Containerisierung des Einzelwagenverkehrs nicht mehr als a priori unwirtschaftlich auszuschließen. Inzwischen kann ein ausreichend großer Anteil der bisher im Einzelwagenverkehr durchgeführten Transporte in Containern befördert werden.

Da aber eine quantitative Abschätzung unter Verwendung subjektiver Wahrscheinlichkeiten, wie bereits erläutert, mit großen Unsicherheiten verbunden ist,

¹³² Gaidzik, Marian (1987), Seite 61f

wird das Ergebnis nachfolgend anhand einer Entscheidungsbaumanalyse überprüft.

4.6 Entscheidungsbaum zur Ermittlung des containerisierbaren Anteils am Verkehrsaufkommen

Entscheidungsbaumverfahren eignen sich zur Lösung von Problemen, bei denen Interdependenzen zwischen den nacheinander zu treffenden Entscheidungen vorhanden sind und bei denen die Anzahl der Aktionen und Umweltzustände in jeder Entscheidungsstufe endlich sind.¹³³ Dabei sind gemäß Definition den Knoten eines Entscheidungsbaumes die Zustände zugeordnet, während den Pfeilen die Aktionen zugeordnet werden.

Das vorliegende Entscheidungsproblem ist eine Zerlegung der Gesamtfragestellung „Ist ein konkreter Transport containerisierbar?“ in die einzelnen Entscheidungsknoten, die eine mögliche Containerisierbarkeit beeinflussen können. Dabei sollen in einem mehrstufigen Entscheidungsbaum diese Entscheidungsknoten nacheinander durchlaufen werden und die Interdependenzen zwischen den Ergebnissen vorhergehender Stufen des Entscheidungsbaumes mit den nachfolgenden Stufen des Entscheidungsbaumes berücksichtigt werden. Bisherige Verfahren zur Ermittlung von Teilgütermengen mit bestimmten Eigenschaften benutzen zumeist einstufige Entscheidungsbäume, bei denen alle Kriterien parallel berücksichtigt werden und die Interdependenzen vernachlässigt werden. Ein Beispiel für ein einstufiges Verfahren ist die Ermittlung des GVZ-affinen Güterverkehrs in der Pilotstudie zu den Güterverkehrszentren in Rheinland-Pfalz¹³⁴

4.6.1 Die Zustände und Aktionen im Entscheidungsbaum

Die Knoten des Entscheidungsbaumes stellen die möglichen Entscheidungssituationen auf den jeweiligen Stufen i dar. Die Entscheidungssituation wird dabei charakterisiert durch den Zustand z_j des Knoten j in der Stufe i , der sich aus den Zuständen der vorhergehenden Stufen $1, \dots, i-1$ getroffenen Entscheidungen und den auf der aktuellen Stufe i ergebenden Aktionsmöglichkeiten a ergibt.

¹³³ Saliger, Edgar (1993), Seite 119

¹³⁴ Unter anderem verwendet in: Steierwald, Schönharting und Partner GmbH und G. Aberle (Auftragnehmer) (1991)

Im hier untersuchten Fall ergeben sich die Aktionsmöglichkeiten a_j in jedem Knoten j aus dem Erfüllen oder Nicht-Erfüllen des im jeweiligen Knoten abgefragten Kriteriums zur Containerisierbarkeit. Diese werden mit $a_{j,1}$ für erfüllt und $a_{j,2}$ für nicht erfüllt bezeichnet.

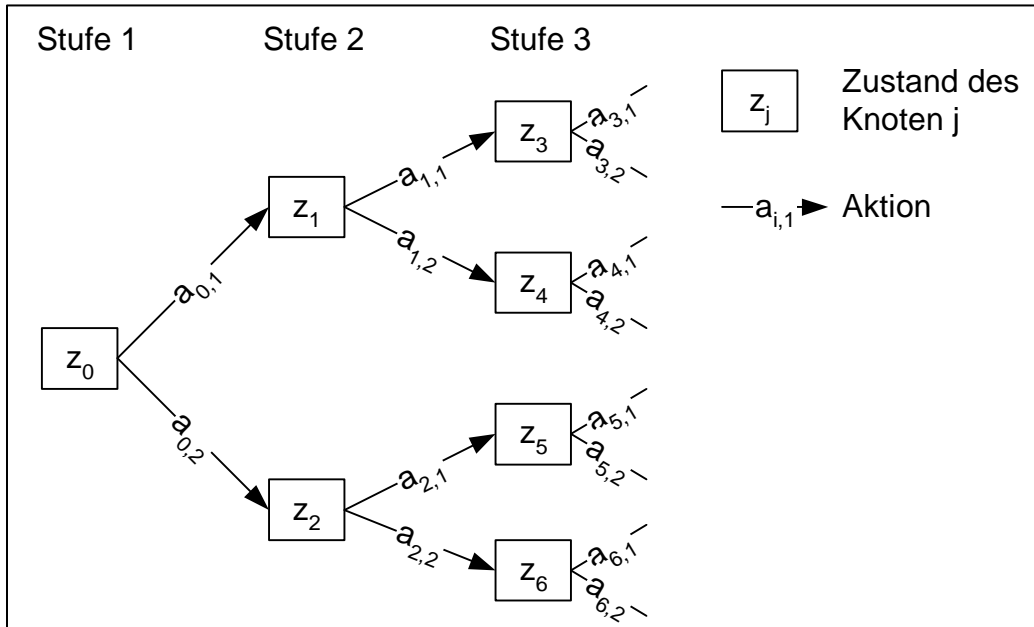


Abbildung 28 Zustände und Aktionen in einem Entscheidungsbaum

4.6.2 Die Kanten des Entscheidungsbaumes

Die Kanten des Entscheidungsbaumes entsprechen den Aktionsmöglichkeiten am jeweils vorhergehenden Knoten. Sie werden mit den jeweiligen Übergangswahrscheinlichkeiten p für die Merkmalsausprägungen bewertet. Die Übergangswahrscheinlichkeit für das Erfüllen des Kriteriums wird mit $p_{j,1}$ bezeichnet, die Übergangswahrscheinlichkeit für das Nicht-Erfüllen des Kriteriums wird mit $p_{j,2}$ bezeichnet. Da die Summe aus beiden Übergangswahrscheinlichkeiten 1 ergibt, gilt:

$$p_{j,1} = 1 - p_{j,2} \quad (4/2)$$

Das Ergebnis einer Stufe wird als Stufenergebnis u_t bezeichnet. Wenn man z_t als Zustandsvariable auffasst, wird der Zustand z_t der t -ten Stufe folgendermaßen charakterisiert¹³⁵ durch:

¹³⁵ nach Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004), Seite 272f

- ihren Anfangszustand z_{t-1}
- den Bereich, in dem die Entscheidung a_{t-1} variieren kann. A_t wird die Menge der zulässigen Entscheidungen oder auch Steuerbereich genannt. Er umfasst hier die Werte „Kriterium erfüllt“ und „Kriterium nicht erfüllt“.
- ihr Ergebnis $u_t(z_{t-1}; a_t)$
- dem Endzustand z_t , der sich aus dem Anfangszustand z_{t-1} und der getroffenen Entscheidung a_t gemäß der Transformation $z_t = p_{t,k} \cdot z_{t-1}$ ergibt.

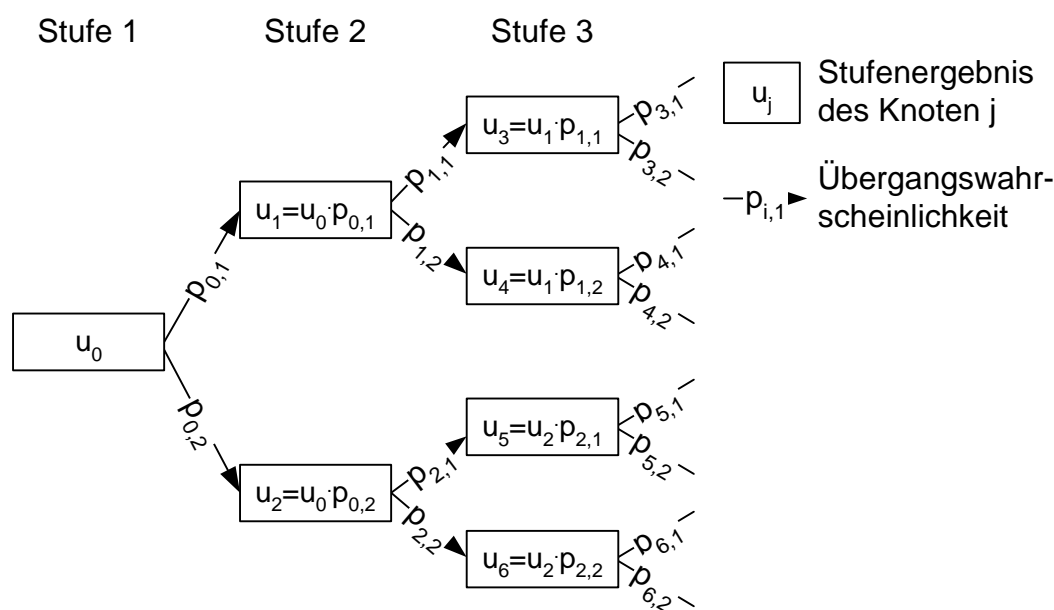


Abbildung 29 Übergangswahrscheinlichkeiten und Stufenergebnisse eines Entscheidungsbaumes

4.6.3 Definition des Markoffschen Entscheidungsbaums und des Entscheidungsnetzwerks

4.6.3.1 Markoffscher Entscheidungsbaum

Hängen die Übergangswahrscheinlichkeiten nur vom Zustand auf der unmittelbar vorhergehenden Stufe ab und nicht von den Zuständen in den weiter zurück liegenden Stufen, so spricht man von einem Markoffschen Entscheidungsbaum. In einem solchen Entscheidungsbaum ist die Gesamtübergangswahrscheinlichkeit $p_{k,ges}$ für einen bestimmten Endzustand k in der letzten Ebene t als Produkt aller vorhergehenden Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den durchlaufenen Zuständen z_t .

$$p_{k,ges} = (p_0 \cdot p_1 \cdot \dots \cdot p_{t-1}) \quad (4/3)$$

Damit lässt sich das Stufenergebnis der letzten Stufe berechnen zu:

$$u_t = z_0(p_0 \cdot p_1 \cdot \dots \cdot p_{t-1}) = z_0 \cdot p_{k,ges} \quad (4/4)$$

4.6.3.2 Entscheidungsnetzwerk

Sofern in einem Entscheidungsbaum bestimmte Zustände mehrfach auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden können und es gleichgültig ist, auf welchem dieser Wege der Zustand erreicht wurde, so handelt es sich um ein Entscheidungsnetzwerk.¹³⁶ Für Entscheidungsnetzwerke gilt, ebenso wie für Markoffsche Entscheidungsbäume, dass die Übergangswahrscheinlichkeit zwischen zwei Zuständen nicht von den Zuständen in weiter zurück liegenden Stufen abhängt. Denn nur dann ist gewährleistet, dass der Weg, auf dem ein Zustand erreicht wurde, unerheblich ist.

4.6.3.3 Anwendung auf die Containerisierung

Bei der Analyse der Containerisierbarkeit sollen die in den einzelnen Stufen des Entscheidungsbaumes betrachteten Fragestellungen so definiert werden, dass sich ein Markoffscher Entscheidungsbaum ergibt. Es werden untereinander abhängige Fragestellungen in einer Stufe des Entscheidungsbaumes zusammengefasst und als eine Entscheidung erfasst. Diese Vorgehensweise erleichtert bei der späteren Ermittlung der containerisierbaren Anteile für die Vielzahl der Gutarten das Vorgehen, da keine Interdependenzen zwischen einzelnen Stufen des Entscheidungsbaumes mehr berücksichtigt werden müssen.

4.6.3.4 Gesamtübergangswahrscheinlichkeit und containerisierbares Aufkommen

Es kann für jede Gutart G eine gutartspezifische Gesamtübergangswahrscheinlichkeit ermittelt werden. Die Gesamtübergangswahrscheinlichkeit $p_{G,ges}$ für eine Gutart G mit dem Verkehrsaufkommen q_G ergibt dann das containerisierbare Aufkommen q_G^c dieser Gutart:

¹³⁶ Saliger, Edgar (1993), Seite 121

$$q_G^c = q_G \cdot p_{G,ges} \quad (4/5)$$

Damit ergibt sich für das gesamte containerisierbare Aufkommen:

$$q^c = \sum_{G=1}^n q_G^c = \sum_{G=1}^n (q_G \cdot p_{G,ges}) \quad (4/6)$$

4.6.4 Entwicklung des Entscheidungsbaums - Grobkonzept

Die Entwicklung des Entscheidungsbaumes und die Ermittlung der Übergangswahrscheinlichkeiten für die Containerisierung erfolgen in zwei Stufen. Zunächst wird ein Grobkonzept aufgestellt und es werden für die Untersuchung der Containerisierung drei Kriteriengruppen definiert. Diese Kriteriengruppen werden in einem zweiten Schritt mit konkreten Einzelfragestellungen (Aktionen) hinterlegt. Diese Einzelfragestellungen sollen, wie bereits beschrieben, den Kriterien eines Markoffschen Entscheidungsbaumes genügen.

Als Kriteriengruppen werden technische Kriterien, logistische Kriterien und wirtschaftliche Kriterien definiert. Die Zuordnung der einzelnen Fragestellungen zu den Kriteriengruppen erfolgt anhand der jeweils maßgeblichen Einflussgrößen für die Containerisierung.

- 1. Technische Kriterien:** Die technischen Kriterien sind von rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen des Eisenbahnbetriebes sowie von den technischen Erfordernissen der versandten Gutart abhängig. Die technischen Kriterien ergeben sich aus den Transportanforderungen des beförderten Gutes.
- 2. Logistische Kriterien:** Die logistischen Kriterien berücksichtigen die logistischen Erfordernisse, die durch die Gutart, die Gestaltung des Gleisanschlusses sowie die betrieblichen Abläufe des Versenders und Empfängers und die Be- und Entlademöglichkeiten im Gleisanschluss vorgegeben werden. Die logistischen Kriterien ergeben sich aus der Infrastruktur und den Abläufen innerhalb eines Gleisanschlusses.
- 3. Wirtschaftliche Kriterien:** Die wirtschaftliche Betrachtung erfolgt aus Sicht des Eisenbahnverkehrsunternehmens. Damit ergeben sich die wirtschaftlichen Kriterien aus dem Betriebskonzept und der Produktionsform des Eisenbahnverkehrsunternehmens. Sie werden durch die Gestaltung

der internen Abläufe bei der Leistungserbringung des Eisenbahnverkehrsunternehmens beeinflusst.

Damit ergeben sich folgende drei Schritte für die Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens:

1. Ermittlung des technisch containerisierbaren Anteils des Transportaufkommens,
2. Ermittlung des logistisch containerisierbaren Anteils des Transportaufkommens,
3. Ermittlung des für das Eisenbahnverkehrsunternehmen wirtschaftlich containerisierbaren Anteils des Transportaufkommens.

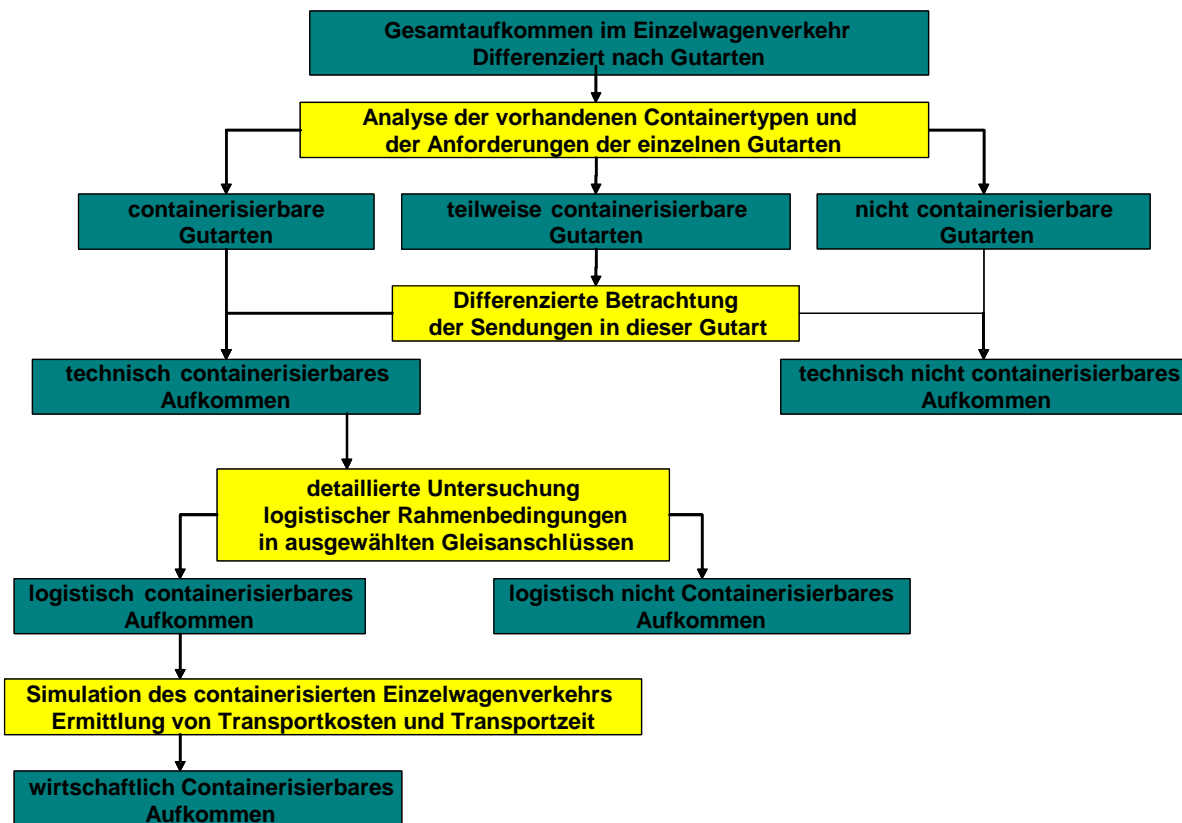


Abbildung 30 Ablaufschema für die Ermittlung des containerisierbaren Anteils des Transportaufkommens

4.6.5 Entwicklung des Entscheidungsbaums - Feinkonzept

Im Rahmen des Entscheidungsbaum-Feinkonzeptes werden die bereits beschriebenen drei Kriteriengruppen in die einzelnen Fragestellungen, die für eine Containerisierung maßgebend sind, aufgegliedert. Für diese Fragestellungen werden dann auf Grundlage der bei Railion Deutschland AG bereits vorhandenen Daten sowie weiterer, selbst zu erhebender Daten Wahrscheinlichkeiten für

das Auftreten der beiden möglichen Ausprägungen ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeiten dienen dann als Grundlage für die Ermittlung einer Gesamtwahrscheinlichkeit.

4.7 Ermittlung der Kriterien für die Containerisierbarkeit als Grundlage für die Übergangswahrscheinlichkeiten

4.7.1 Kriterien für die technische Containerisierbarkeit

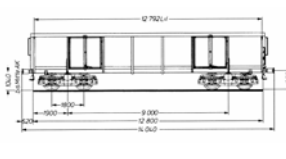
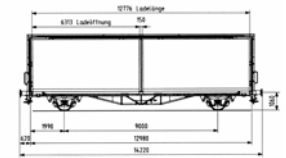
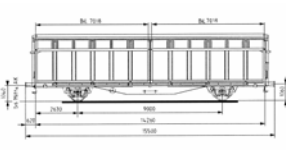
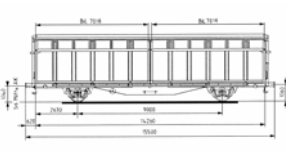
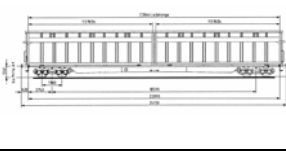
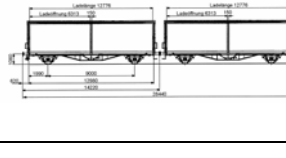
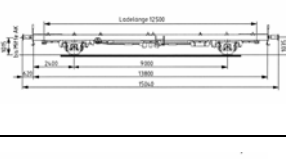
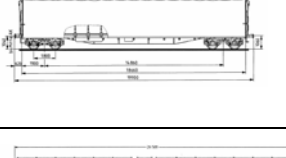
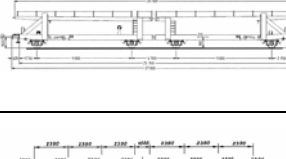
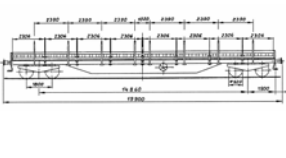
Das technisch containerisierbare Aufkommen umfasst alle Gutarten, für die ein geeigneter Container vorhanden ist, in dem die jeweilige Gutart transportiert werden kann. Logistische Fragestellungen, wie zum Beispiel die Be- und Entladung, bleiben dabei zunächst außer Betracht.

Für die technische Containerisierbarkeit werden folgende Kriterien angewandt:

- Passt die Ladung von ihren Abmaßen (Länge, Breite, Höhe) in einen Container?
- Lässt sich die Wagenladung so in Teilladungen zerlegen, dass ein Wagen ggf. auf mehrere Container aufgeteilt werden kann?
- Ist im Container eine ausreichende Ladungssicherung analog zur Ladungssicherung im entsprechenden Güterwagen möglich?
- Ergeben sich Probleme mit der Einhaltung von Lichtraumprofilen bei der Verwendung von Containern?

Für die Beurteilung der technischen Containerisierbarkeit wird für die zwanzig am häufigsten verwendeten Wagengattungen überprüft:

- Welche Gütergruppen werden mit dieser Wagengattung befördert?
- Gibt es einen geeigneten Container für diese Gütergruppen?
- Welche technischen Hindernisse stehen einer Containerisierung dieser Gütergruppen entgegen?
- Welche Gütergruppen in welchen Wagengattungen sind technisch containerisierbar?

Wagengattung	Abbildung	Beförderte Gutarten (Anteile am Transportaufkommen)	Technische Hindernisse bei der Containerisierung
Ea(l)(n)(o)		Abfälle und Schrott (83,5 %) Rohholz (9,6 %) Kohle u. Kohleprodukte (2,1 %) Sonstiges (3,7 %)	Länge (Rohholz), Beschädigung (Schrott und Rohholz), Entladung (Kohle u. Schrott)
Hbi		Kraftfahrzeugteile (45,7 %) Konstruktionen (32,9 %) Drähte (10,2 %) Holz / Holzprodukte (2,4 %)	Größe der Ladeöffnung, Abmessungen der Teile, Ladungssicherung
Hbbil		Papier, Zellstoffe (16,3 %) Wasch-, Reinigungsm. (9,5 %) Holz (-produkte) (8,8 %) Getränke, Flüssigkeiten (8,7 %)	Größe der Ladeöffnung, Abmessungen der Teile, Ladungssicherung
Habi Habil		Kraftfahrz. u. Zubehör (27,9 %) Konstruktionen (18,9 %) Papier, Zellstoff (15,5 %) Kessel, Turbinen (4,4 %)	Größe der Ladeöffnung, Abmessungen der Teile, Ladungssicherung
Habbi Habbil		Papier, Zellstoff (39,6 %) Holz(-produkte) (8,8 %) Kraftfahrz. u. Zubehör (6,4 %) Konstruktionen (4,9 %)	Größe der Ladeöffnung, Abmessungen der Teile, Ladungssicherung
Ha, Hrr Haccee Hi		Kraftfahrzeugteile (26,6 %) Papier, Zellstoff (15,4 %) Konstruktionen (14,6 %) Möbel (3,9 %)	Größe der Ladeöffnung, Abmessungen der Teile, Ladungssicherung
Kg, Lg		Großcontainer (75,8 %) sonst. Container (10,0 %) Kraftfahrzeugteile (6,3 %) Chem. Stoffe (4,2 %)	unproblematisch, da überwiegend bereits containerisiert
Rils, Rilns, Rins		Papier, Zellstoff (33,2 %) Metallerzeugnisse (22,5 %) Schienenfahrz. u. -teile (4,7 %) Holz(-produkte) (4,5 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile, Witterungsschutz
Le, Lad, Lae, Laad, L		Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeugteile (97,5 %)	Be- und Entladen durch Befahren, Verladung in 2 Ebenen
Re		Drähte (33,6 %) Profile und Stäbe (18,6 %) Rohmetall u. -formen (10,5 %) Mineralische Stoffe (5,4 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile, Entladung, Befahrbarkeit mit Ladegeräten


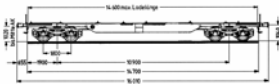
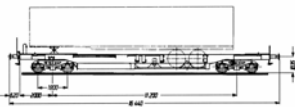

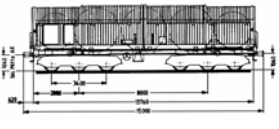
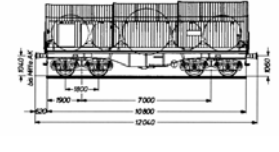
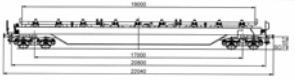

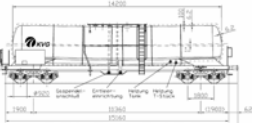
Wagengattung	Abbildung	Beförderte Gutarten (Anteile am Transportaufkommen)	Technische Hindernisse bei der Containerisierung
Rg, Sg		Großcontainer (73,1 %) Chem. Stoffe und Erze (6,0 %) Kraftfahrzeuge und -teile (4,2 %) Papier, Zellstoffe (2,0 %)	Abmessungen der Teile
Rgmm, Sgmm		Großcontainer (73,1 %) Konstruktionen (5,0 %) Chem. Stoffe und Erze (4,7 %) Kraftfahrzeuge, Zubehör (3,2 %)	Abmessungen der Teile
Sd		Großcontainer (70,0 %) Sattelanhänger (17,7 %) Chem. Stoffe und Erze (2,4 %)	Sattelanhänger sind nicht containerisierbar
R, S		Profile und Stäbe (20,4 %) Rohholz (13,5 %) Rohmetall, Rohformen (13,5 %) Gleismaterial a. Eisen (10,0 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile, Entladung, Befahrbarkeit mit Ladegeräten
Sa(mm-u)		Rohmetall, Rohformen (44,8 %) Metallerzeugnisse (29,5 %) Gleismaterial aus Eisen (7,5 %) Rohre (3,8 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile
Shi		Metallerzeugnisse (89,5 %) Schienenfzg., Zubehör (2,0 %) Konstruktionen (1,6 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile
Slp		Rohholz (55,0 %) Rohre (14,1 %) Holz und Holzprodukte (6,9 %) Waren aus Zement (5,1 %)	Abmessungen der Teile, Einzelgewicht der verladenen Teile
Z		Chem. Stoffe und Erze (78,8 %) (Erd-)Öl(-produkte) (6,0 %) Getränke, Flüssigkeiten (4,2 %)	Be- und Entladung, zu meist aber unproblematisch containerisierbar
Za		Chem. Stoffe und Erze (49,6 %) Erdgas, gasförm. Kohle (13,0 %) Benzin, Kraftstoffe (6,0 %) mineralische Stoffe (5,2 %)	Be- und Entladung, zu meist aber unproblematisch containerisierbar

Tabelle 6 Wagengattungen, beförderte Gutarten und Hindernisse bei der Containerisierung¹³⁷

¹³⁷ Wagenskizzen aus: Deutsche Bahn AG (Hrsg.) (2005a)

4.7.2 Kriterien für die logistische Containerisierbarkeit

Die logistische Containerisierbarkeit eines Transportes ergibt sich aus den bei der Gleisanschlussbedienung sowie bei der Be- und Entladung vorhandenen Randbedingungen. Die logistischen Anforderungen sind sehr stark abhängig von der versandten Gutart sowie von den konkreten Anforderungen der einzelnen Verloader und Empfänger. Es gibt eine Vielzahl von Kriterien, die die logistische Containerisierbarkeit beeinflussen können, so dass im Endeffekt jeder einzelne Transport auf seine logistische Containerisierbarkeit hin überprüft werden müsste. Im Rahmen der Datenerhebung ist es jedoch gelungen, die logistischen Kriterien so weit zu kategorisieren und zu verallgemeinern, dass eine Aussage zur logistischen Containerisierbarkeit bezogen auf die beförderte Gutart möglich ist.

4.7.3 Kriterien für die wirtschaftliche Containerisierbarkeit

Wirtschaftliche Kriterien zur Containerisierung ergeben sich aus den Kosten für die Umstellung vom herkömmlichen Einzelwagensystem auf ein containerisiertes System. Wirtschaftliche Kriterien lassen eine Containerisierung immer dann nicht zu, wenn zwar die technischen und logistischen Anforderungen erfüllt werden können, eine Systemumstellung aber zu deutlich erhöhten Kosten für den Verloader führen würden, die einen Schienentransport von vorne herein unwirtschaftlich machen würden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den laufenden Transportkosten und einmaligen Investitionskosten.

5 Ermittlung der Auswirkungen einer Containerisierung auf das Transportaufkommen mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes

5.1 Datenerhebung zur Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeiten

Als Grundlage für die Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeiten in einem Entscheidungsbaum müssen die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der Transporteigenschaften ermittelt werden, die die Containerisierbarkeit beeinflussen. Der allgemeine Fall eines Entscheidungsbaumes ist geprägt von einem vorgegebenen Informationsstand. Wenn hingegen die Informationsbeschaffung des Entscheidenden selbst Gegenstand der Entscheidung ist, spricht man von einem Entscheidungsproblem mit variabler Information.¹³⁸ Da erst im Rahmen der Datenerhebung ermittelt werden konnte, welche Transportanforderungen Einfluss auf die Containerisierbarkeit einer Sendung haben, handelt es sich beim vorliegenden Problem um ein Problem mit variabler Information.

Die Datenerhebung erfolgte in drei Schritten:

- Auswertung des Güteraufkommens in einem Güterbahnhof,
- Umfrage bei ausgewählten Verladern in zwei Modellregionen (Bedienungsbereichen) unter Einbeziehung der für diese Verlader zuständigen Kundenbetreuer,
- Fachgespräche mit den (fünf) Marktbereichen von Stinnes.

5.1.1 Auswertung des Wagenaufkommens in einem Güterbahnhof

Um die in Tabelle 6 dargestellten technischen Hindernisse einer Containerisierung zu überprüfen, erfolgt eine detaillierte Analyse der Beladung von Einzelwagen. Zu diesem Zweck wurde an einem Vormittag bei einer Begehung das komplette Aufkommen von 140 Güterwagen eines Rangierbahnhofs aufgenommen und hinsichtlich der Containerisierbarkeit in die Kategorien containerisierbar, möglicherweise containerisierbar und nicht containerisierbar eingeteilt. Bei den möglicherweise containerisierbaren und nicht containerisierbaren Wagen wurde zusätzlich erfasst, aus welchen Gründen eine Containerisierung nicht möglich ist. Die Ergebnisse der Erhebung sind hinsichtlich der containeri-

¹³⁸ Saliger, Edgar (1993)

sierbaren Anteile in Abbildung 31 zusammengefasst und im Detail in Anhang 1 dargestellt.

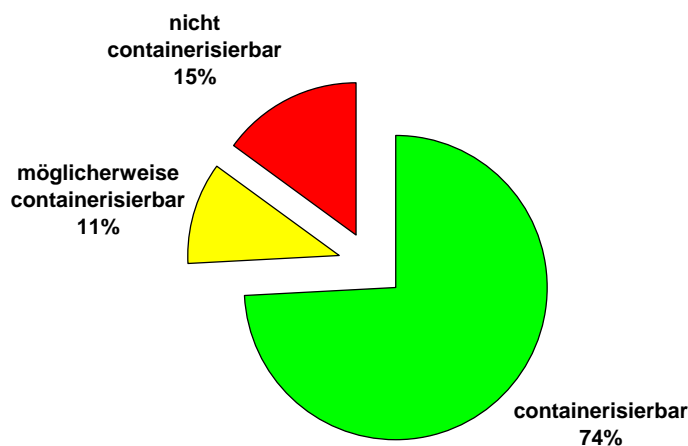


Abbildung 31 Wagenaufkommen eines Güterbahnhofs an einem Vormittag¹³⁹, eingeteilt in containerisierbare, möglicherweise containerisierbare und nicht containerisierbare Wagen

Der wichtigste Grund für die fehlende Containerisierbarkeit sind die Ladungsabmessungen. Insbesondere bei Wagen, die mit Fahrzeugen und Fahrzeugteilen wie Drehgestellen beladen sind, erwiesen sich die Ladungsbreiten und Ladungshöhen als problematisch. Autotransporte lassen sich nicht doppelstöckig durchführen, ohne dass das Lichtraumprofil verletzt wird. Hinsichtlich der Länge der einzelnen Ladungsteile problematisch sind vor allem Stahlhalbzeuge und Stahlprodukte. Diese werden häufig in Längen von mehr als 14 m befördert und sind damit zu lang für die größten verfügbaren Standardcontainer mit einer Länge von 45 Fuß entsprechend ca. 13,5 m.

5.1.2 Befragung von Verladern

Im Anschluss an die Wagenerhebung erfolgte eine Befragung von ausgewählten Güterkunden in zwei Bedienungsbereichen. Das Güteraufkommen in den beiden Bedienungsbereichen stellt keinen repräsentativen Querschnitt des Güteraufkommens in Deutschland dar. Die Verteilung der Gutarten in den beiden

¹³⁹ Hagen-Vorhalle am Vormittag des 13.07.2005

Bedienungsbereichen ist nicht repräsentativ für die Grundgesamtheit.¹⁴⁰ Bei der Auswahl der Untersuchungsräume wurde aber sichergestellt, dass alle relevanten Gütergruppen im Transportaufkommen der beiden Bedienungsbereiche vorhanden sind (vgl. Abbildung 32). Damit sind Aussagen zur Containerisierbarkeit für nahezu alle transportierten Güter möglich. Regional wurden als zu untersuchende Bedienungsbereiche eine eher ländlich geprägte Region und ein Ballungsraum ausgewählt.

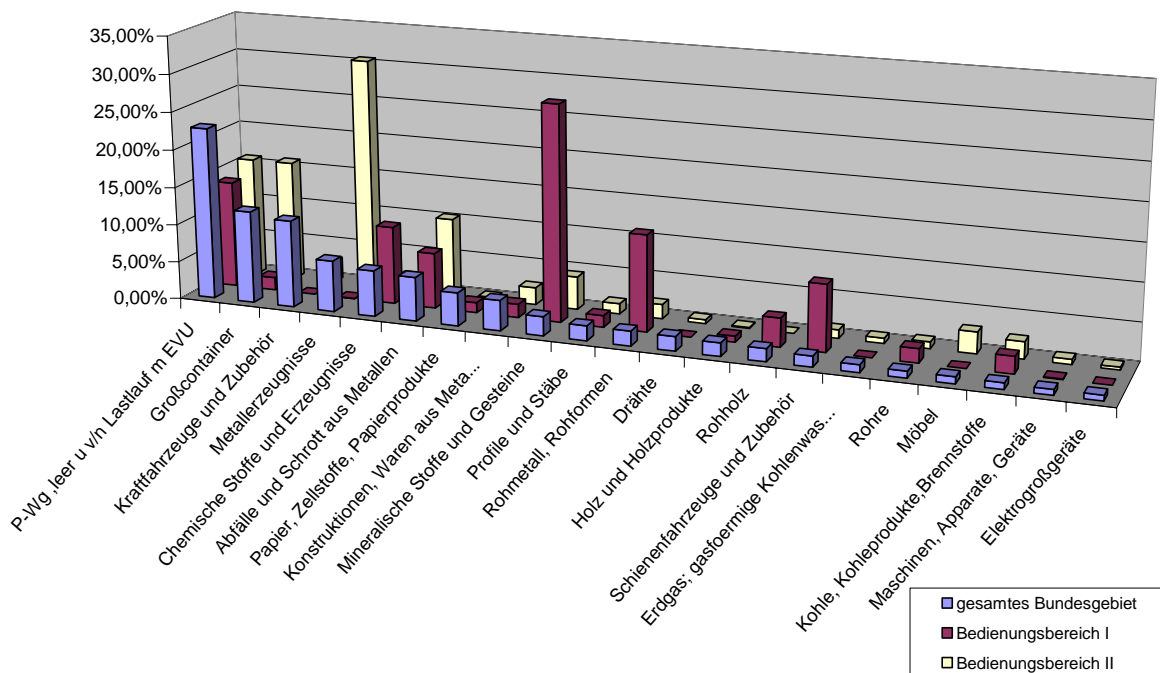


Abbildung 32 Relative Verteilung des Wagenaufkommens auf die Gütergruppen im Bundesgebiet und in den ausgewählten Bedienungsbereichen

In die Befragung werden alle Kunden aus beiden Bedienungsbereichen einbezogen, die ein Aufkommen von mehr als einem Wagen pro Tag im Durchschnitt eines Jahres besitzen. Der Fragebogen wurde an insgesamt 35 Unternehmen versandt.

5.1.2.1 Fragebogen

Der in Anhang 2 dargestellte Fragebogen für die Unternehmensbefragung besteht aus drei Teilen:

¹⁴⁰ Das Güteraufkommen in den beiden untersuchten Bedienungsbereichen wird durch einen Großkunden geprägt, der allein mehr als 50 % des Gesamtaufkommens auf sich vereint.

- Einem allgemeinen Teil, in dem die Daten zum Unternehmen sowie allgemeine Informationen zum Gleisanschluss, wie die vorhandene Infrastruktur zur Be- und Entladung, die Ausstattung mit Triebfahrzeugen und der Personaleinsatz ermittelt werden.
- Einer Ermittlung der Strukturen des Einzelwagenverkehrs in den befragten Unternehmen mit Fragestellungen zu zeitlichen Randbedingungen der Transporte, zu den versandten und empfangenen Gütern und deren Transportanforderungen. Weiterhin wird die Erfordernis innerbetrieblicher Transporte ermittelt und erfragt, ob bereits Container für die Transporte verwendet werden, inwiefern sich die übrigen Transporte für eine Containerisierung eignen und welche Auswirkungen eine Containerisierung auf die logistischen Abläufe haben wird.
- Im dritten Teil werden die Randbedingungen ermittelt, die die Verlagerer dazu bewegen würden, einen containerisierten Einzelwagenverkehr einzuführen.

5.1.2.2 Rückläufe aus der Befragung

Bei der Unternehmensbefragung sind insgesamt Aussagen von 15 der befragten Unternehmen eingegangen. Davon waren acht weitgehend oder vollständig ausgefüllte Fragebögen, bei weiteren sieben Unternehmen sind im Gespräch mit den Kundenberatern des transportierenden Eisenbahnverkehrsunternehmens mögliche Auswirkungen einer Containerisierung diskutiert worden. Bei acht Unternehmen war eine direkte Befragung nicht sinnvoll, da diese nur Frachtzahler sind, aber selbst keinen Einfluss auf die Transportabwicklung besitzen. Von elf Unternehmen ist kein Rücklauf erfolgt.

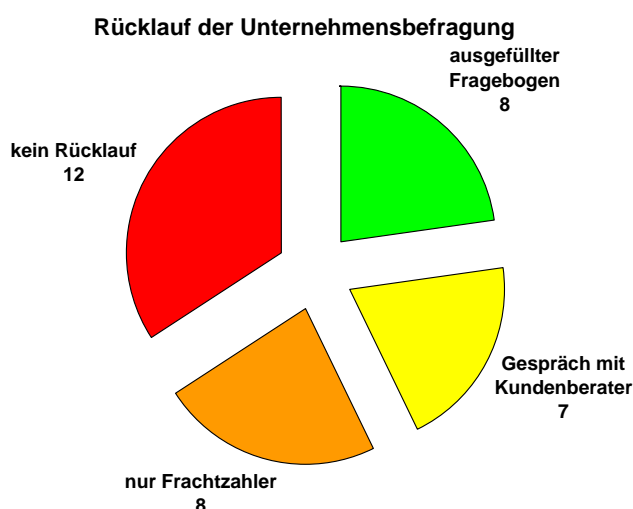


Abbildung 33 Rücklauf aus der Unternehmensbefragung

Der Rücklauf aus der Unternehmensbefragung lässt aufgrund der geringen Fallzahl nur beschränkt Rückschlüsse auf die generelle Situation in den Gleisanschlüssen sowie die Anforderungen der Verlager zu. Allerdings ergeben sich aus den Ergebnissen der Befragung erste Anhaltspunkte hinsichtlich der Auswirkungen einer Containerisierung auf die Logistik der Verlager sowie zur Bereitschaft der Verlager, die Transporte zu containerisieren. Dies gilt insbesondere für den Bereich Metall- und Stahlindustrie auf den sechs der acht eingegangenen Fragebögen entfallen.

5.1.2.3 Allgemeiner Teil

Die Rückläufe der ausgefüllten Fragebögen entstammen überwiegend aus Unternehmen der Metall- und Stahlindustrie. Eine wesentliche Ursache liegt in der Auswahl der beiden Befragungsregionen, in denen Verlager aus der Metall- und Stahlindustrie deutlicher größer ist als im Bundesdurchschnitt.

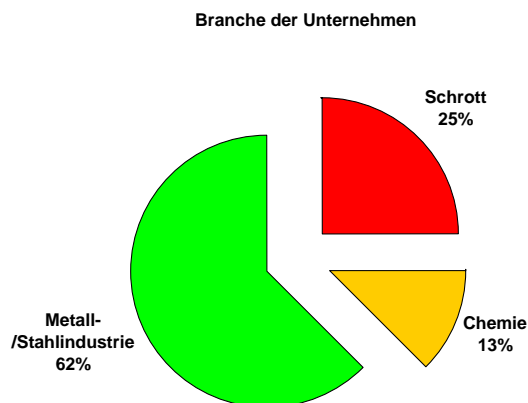


Abbildung 34 Aufteilung der Rückläufe aus der Unternehmensbefragung auf Branchen

5.1.2.4 Strukturen des Einzelwagenverkehrs

Die Mehrzahl der Gleisanschliesser besitzt eigene Rangiergeräte und kann damit flexibel mit den zugestellten Wagen umgehen. Für Gleisanschliesser ohne eigenes Rangiergerät können sich durch die Containerisierung allerdings Flexibilitätsvorteile ergeben, da die Container von den Tragwagen abgenommen werden können und auch ohne eigenes Rangiergerät im Gleisanschlussbereich flexibel zugestellt werden können.

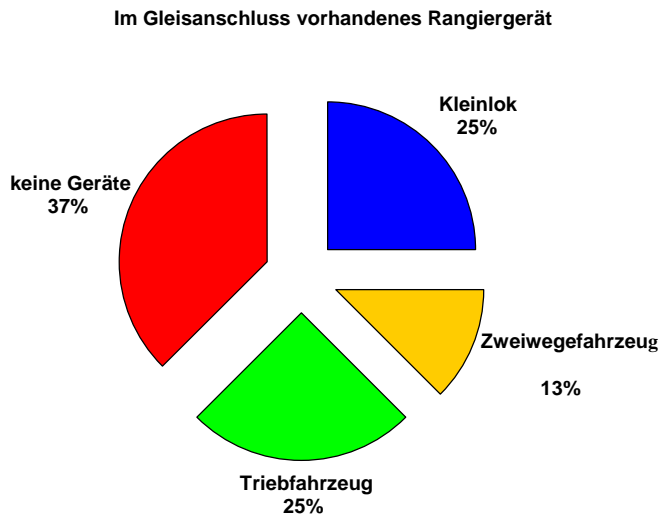


Abbildung 35 In den Gleisanschlüssen vorhandene Rangiergeräte

In der Hälfte der Gleisanschlüsse (4 von 8) sind bereits Kräne für die Entladung der Güterwagen vorhanden. Diese Kräne können, eine ausreichende Tragfähigkeit vorausgesetzt, für das Umsetzen von Containern von den Tragwagen auf Straßenfahrzeuge verwendet werden. Damit ist es in der Hälfte der Gleisanschlüsse bereits heute möglich, die Container flexibel von den Tragwagen abzunehmen und auf andere Fahrzeuge für den innerbetrieblichen Transport umzusetzen.

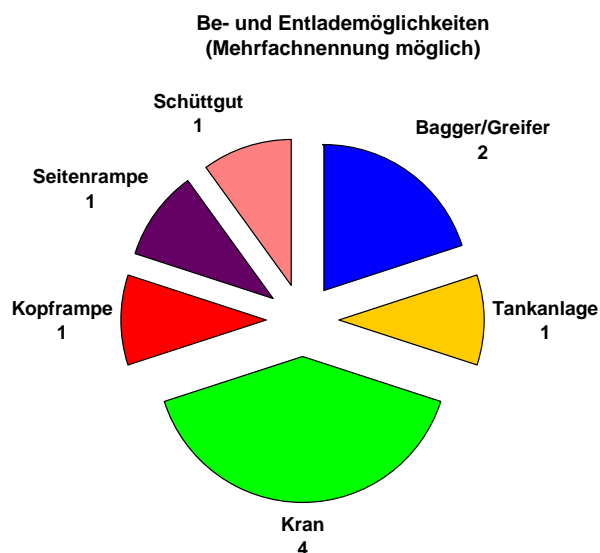


Abbildung 36 Entlademöglichkeiten in den Gleisanschlüssen

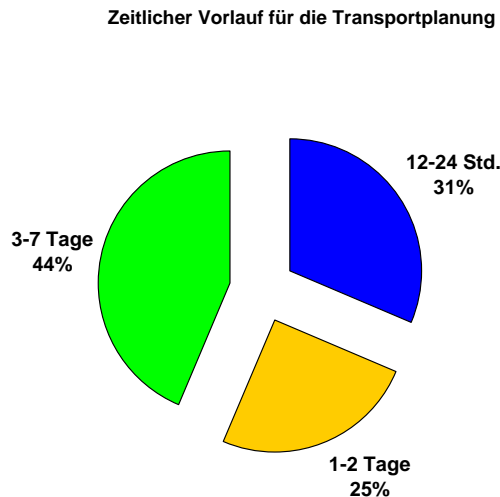


Abbildung 37 Zeitlicher Vorlauf für die Transportplanung

Der zeitliche Vorlauf für die Transportplanung ist (vgl. Abbildung 37) bei den befragten Unternehmen größer als es die Befragung des Bundesverbandes der Deutschen Industrie ergeben hat. Ursache hierfür kann die ausschließliche Befragung zu den heute im Schienenverkehr durchgeführten Transporten sein. Diese sind auf die zeitlichen Randbedingungen des heutigen Schienenverkehrs ausgerichtet.

Die Wagen verbleiben in der Hälfte der Fälle mehr als einen Tag im Gleisanschluss. Hierin können die geringen Laufleistungen der Güterwagen begründet liegen. Andererseits ergeben sich durch den längeren Verbleib der Wagen in den Gleisanschlüssen auch Flexibilitätsvorteile für die Verlader, da diese die Eisenbahnwagen zeitlich flexibel beladen können.



Abbildung 38 Dauer des Verbleibs der Güterwagen in den Gleisanschlüssen

5.1.2.5 Bereitschaft der Verlader zur Einführung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs

Die Bereitschaft zur Einführung des containerisierten Einzelwagenverkehrs ist bei den Verladern nur dann vorhanden, wenn dieser für den Verlader nicht teurer ist als das heutige Einzelwagensystem. Eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft für eine zunehmende Flexibilität der Transporte ist im Allgemeinen nicht vorhanden. Die Bereitschaft zur Umstellung ließe sich durch längere Ladefristen und eine flexiblere Bedienung vergrößern.

5.1.3 Gespräche mit den Marktbereichen von Stinnes

Aufgrund der geringen Anzahl eingegangener Fragebögen erfolgte zur Absicherung der Übergangswahrscheinlichkeiten für die Containerisierbarkeit eine Gesprächsrunde mit den fünf Marktbereichen der Stinnes AG¹⁴¹ (Automotive, Baustoffe, Chemie, Kaufmannsgüter und Landwirtschaft und Montan). Dabei wird vorrangig das Ziel verfolgt, im Gesamtblick aller Kunden des jeweiligen Marktbereiches die Auswirkungen der Containerisierung zu ermitteln. Im Vordergrund stehen dabei folgende Fragestellungen:

- Gibt es Produkte, bei denen eine Containerisierung von vorne herein unmöglich ist, weil die technischen oder logistischen Anforderungen mit Containertransporten keinesfalls erfüllt werden können?
- Wie wirkt sich eine Containerisierung auf die Gleisanschlusslogistik aus? Welche Randbedingungen werden von den Kunden vorgegeben und müssen auch bei containerisierten Verkehren erfüllt werden?
- Ergeben sich durch die Produktionsform oder die Produktabmessungen Schwierigkeiten bei der Containerisierung, weil zum Beispiel die Produktabmessungen auf die Abmessungen der Einzelwagen abgestimmt sind? Wären die Kunden bereit, sich an einen containerisierten Einzelwagenverkehr anzupassen?
- Ergeben sich Probleme bei der Be- und Entladung?
- Werden spezielle Anforderungen an die Ladungssicherung gestellt?

¹⁴¹ Die Stinnes AG ist der größte Anbieter von Einzelwagenverkehren in Deutschland (Marktanteil >99%)

- Können durch eine Containerisierung Mehrverkehre gewonnen werden? Ergeben sich Vorteile in der Kundenlogistik durch die Trennung Wagen – Ladungsträger?
- Haben die Kunden Vorteile durch eine flexiblere, häufigere Bedienung?
- Sind die nicht containerisierbaren Verkehre bündelungsfähig oder anderweitig weiter zu betreiben, sofern der herkömmliche Einzelwagenverkehr eingestellt wird?

5.1.3.1 Marktbereich Agrar und Kaufmannsgüter

Die vom Marktbereich Agrar und Kaufmannsgüter beförderten Güter lassen sich in drei Gütergruppen einteilen:

- Holz (Roh- und Schnittholz)
- Konsumgüter
- Pulp and Paper
- Schüttgut

Holz

Bei Holztransporten ist zwischen den Produktarten Rohholz und Schnittholz zu unterscheiden.

Die für den Rohholztransport eingesetzten Wagen sind optimal auf diese Einsätze abgestimmt. Bei einer Containerisierung können sich Probleme bei der Be- und Entladung mit Krangreifern ergeben, da bereits heute häufig an den Wagen Schäden durch die Krangreifer verursacht werden und Container möglicherweise nicht robust genug sind.

Schnittholz wird in Längen von 1,5 m bis 18 m gefahren. Die kurzen Längen sind problemlos zu containerisieren, die großen Längen passen nicht in Container und müssten ggf. weiter geschnitten werden. Prinzipiell ist Schnittholz aber containerisierbar.

Konsumgüter

Der Bereich Konsumgüter ist weitgehend für Container geeignet. Allerdings ist die Kundenlogistik darauf ausgerichtet, dass die Fahrzeuge eine Bodenhöhe von 1.200 mm besitzen. Die Losgröße bei der Fertigung der Kunden ist bislang auf die Kapazität der Güterwagen ausgerichtet, bei einer Containerisierung

muss die Losgröße an das geringere Fassungsvermögen eines Containers angepasst werden.

Das geringere Fassungsvermögen der Container kann bei hoch ausgelasteten Gleisanschlüssen zu Platzproblemen führen. Bereits heute werden Gleisanschlüsse aus Platzgründen mehr als einmal täglich bedient. Die Kunden sind allerdings nicht bereit, eine häufigere Bedienung finanziell zu honorieren. Im Gegenteil können zu kurze Standzeiten der Wagen im Gleisanschluss zu Problemen führen, weil die Güterwagen bislang bei der Ladetätigkeit mit niedrigster Priorität behandelt werden und die Zeiträume (Mittag) genutzt werden, in denen wenig Lkw-Aufkommen vorhanden ist.

Grundsätzlich wären die Kunden zu einer Containerisierung bereit, wenn für sie die Kosten je Palette (bzw. je Tonne Ladung) gegenüber der heutigen Situation nicht steigen.

Da Konsumgüter häufig nässeempfindlich sind, können sich durch das Abnehmen des Containers vom Tragwagen und das innerbetriebliche Verfahren des Containers Vorteile und zusätzliche Aufkommenspotenziale ergeben.

Pulp and Paper

Im Bereich Pulp and Paper werden überwiegend Papierrollen befördert. Diese sind containerisierbar. Allerdings ist zu beachten, dass diese besonderen Anforderungen hinsichtlich der Ladungssicherung gegen Verrutschen unterliegen. Daher müssen in den Containern ähnliche Einrichtungen zur Ladungssicherung (Mulden) vorhanden sein wie bei den heute verwendeten Güterwagen.

Getreide (Schüttgut)

Die Getreidetransporte sind grundsätzlich containerisierbar. Besondere Anforderungen werden an den Nässeschutz gestellt. Diese können aber durch die Verwendung oben verschließbarer Schüttgutcontainer eingehalten werden. Bei der Entladung muss eine Schüttentladung nach unten möglich sein.

5.1.3.2 Marktbereich Automotive

Der Marktbereich Automotive befördert überwiegend Fahrzeuge und Fahrzeugteile. Dabei lassen sich hinsichtlich der Transportanforderungen drei Gruppen differenzieren:

- Personenkraftwagen (Pkw),
- Großfahrzeuge, wie Lastkraftwagen (Lkw), Busse, Transporter und landwirtschaftliche Fahrzeuge,
- Fahrzeugteile für die Automobilindustrie.

Personenkraftwagen

Personenkraftwagen sind aus logistischen Gründen nicht für Container geeignet, da die logistischen Vorgänge in der Automobilindustrie wie Beladung etc. auf spezielle Autotransportwagen (Lae und ähnliche) abgestimmt sind. Grundsätzliche technische Probleme bei der Containerisierung bestehen allerdings nicht. Dem Marktbereich wurde vor 2 Jahren ein finnisches Containersystem vorgestellt, das eine Containerisierung von Pkw-Transporten ermöglicht. Die Einführung wurde jedoch nicht weiter verfolgt.

Die Einzelwagenverkehre streuen stark. Es gibt keine Bündelungsmöglichkeiten der Restverkehre, um auf wenigen Relationen einen Resteinzelnwagenverkehr anzubieten. Sehr viele Sendungen umfassen nur einen oder wenige Wagen, darunter auch internationale Transporte.

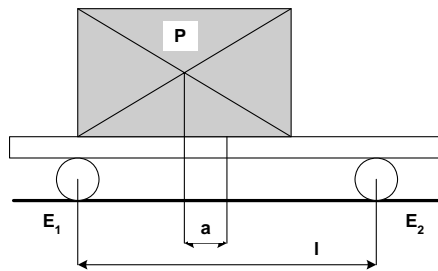
Großfahrzeuge

Die Großfahrzeuge werden nahezu ausschließlich auf Flachwagen befördert. Für diese Transporte ist prinzipiell der Einsatz von Containern möglich, allerdings muss beachtet werden, dass bereits jetzt bei einem Teil der Transporte das Ladeprofil vollkommen ausgenutzt wird und teilweise auch Lademaßüberschreitungen beachtet werden müssen. Es werden auch Spezialwagen mit abgesenktem Boden (800 mm) verwendet. Die Containerisierung ist in derartigen Fällen eher schwierig.

Kfz-Teile

Bei den Kfz-Teilen ist eine Containerisierung prinzipiell zu 100 % möglich, wenn nachfolgende Rahmenbedingungen eingehalten werden:

- Das Innenmaß der Transportbehälter (Container) muss mindestens 2.600 mm Breite und 3.050 mm Höhe betragen, da die Abmessungen der Ladungsträger (Ladegestelle) der Kunden (insbesondere deren Breite von 1.300 mm) auf diese Maße abgestimmt sind. Die Behälter sollen eine Ladelänge von mindestens 12.500 mm besitzen. Die maximale Zuladung muss für Motoren- und Getriebetransporte bei dieser Ladelänge mindestens 27 t betragen. Die Fußbodenhöhe muss zur einfachen Be- und Entladung auf Rampenhöhe (1.200 mm) liegen.
- Die derzeit verwendeten Wagen besitzen zur Ladungssicherung verschiebbare Trennwände. Sie dienen derzeit primär zur Absicherung der Ladung beim Ablaufstoß. Sie ermöglichen aber auch ansonsten eine einfache und kostengünstige Sicherung der Ladung und müssen auch bei ersatzweise eingesetzten Containern vorhanden sein.
- Die Kunden beladen bisher die Wagen bis zur zulässigen Grenze (siehe Abbildung 39) außermittig. Bei Containern muss für eine sichere Kranung der Schwerpunkt der Ladung in Querrichtung genau mittig liegen, in Längsrichtung ist eine Abweichung von maximal 60 cm bzw. 90 cm zulässig. Hier können Akzeptanzprobleme auftreten, da der Beladevorgang komplizierter wird.
- Die Seitenwände der Behälter müssen auf mindestens 50 % der Länge zu öffnen sein. Die bisherigen Schiebewände der Güterwagen sind bei den Öffnungsmaßen und im Ablauf des Öffnungsvorgangs optimal. Andere Systeme sind schwieriger zu handhaben, der daraus resultierende Mehraufwand muss berücksichtigt werden.

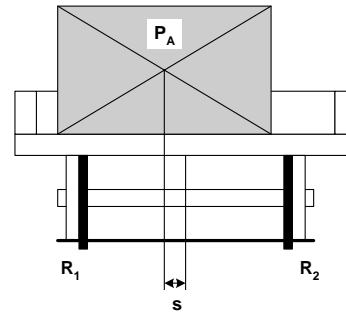


Grenze für die außermittige Beladung in Längsrichtung:

$$E_1/E_2 < 2/1 \text{ mit } E_1 = P \cdot a/l + T/2 \text{ und } E_2 = (P+T) - E_1$$

mit:

- E_1, E_2 Radsatzlast
- a, l Abstände im [m]
- T Eigengewicht des Wagens
- P Gewicht der Ladeinheit



Grenze für die außermittige Beladung in Querrichtung:

$$R_1/R_2 < 10/8 \text{ bzw. } s < 1/12 \cdot (1 + T/2 \cdot P_A)$$

mit:

- R_1, R_2 Radsatzlast
- s Abstand des Schwerpunkts der Ladeinheit von der Wagenmitte [m]
- T Eigengewicht des Wagens
- P_A Gewicht der Ladeinheit auf der Achse bzw. dem Drehgestell

Abbildung 39 Grenzen der zulässigen außermittigen Beladung bei Eisenbahnwagen¹⁴²

Vorteile / Nachteile der Containerisierung bei der Kundenlogistik:

Es gibt durchaus Kunden, die durch eine Containerisierung Vorteile in ihren Logistikabläufen erzielen können, da in diesem Fall zum Beispiel die Laderampen für Lkw mitbenutzt werden können. Allerdings fehlen zumeist die Ausstattung zum Abnehmen der Behälter und Fahrzeuge für den werksinternen Transport. Die Bereitschaft, diese Mehrkosten zu tragen, ist gering.

Auf der Lieferantenseite (Zulieferer der Automobilindustrie) kann eine Containerisierung nennenswerte Effekte erzeugen, da dort häufig keine Gleisanschlüsse vorhanden sind.

Durch eine Erhöhung der Bedienhäufigkeit ergeben sich keine Vorteile für die Kunden. Vielmehr kann eine zu kurze Standzeit im Gleisanschluss zu Nachteilen führen, da die Kunden bislang die Zeiträume für die Be- und Entladung flexibel handhaben (können).

Die sequentielle Bedienung bietet bei der Automobilindustrie keine Vorteile, da dort Gleisanschlüsse mit umfangreicher Gleisinfrastruktur vorhanden sind und eigene Triebfahrzeuge vorgehalten werden. Die Wagen werden zumeist nur an

¹⁴² RailCargo Austria (Hrsg.) (2006)

die Werkseisenbahn übergeben. Bei den Zulieferern sind häufig einfache Gleisanschlüsse vorhanden, dort könnte eine sequentielle Bedienung Vorteile bieten.

Leertransporte und Aufkommensschwankungen

Das Verkehrsaufkommen ist tages- und saisonabhängig stark schwankend. Es müssen unter anderem Betriebsferien berücksichtigt werden. Probleme ergeben sich auch durch von den Eisenbahnverkehrsunternehmen verursachte Übermengen, wenn sich bei verspäteter Ankunft von Fernzügen das Aufkommen mehrerer Tage kumuliert.

Das Verhältnis von Leer- zu Volltransporten beträgt etwa 1:2, da Ladegestelle zurückgeführt werden müssen. Diese lassen sich zusammenklappen und benötigen dann nur 50 % des ursprünglichen Raumes. Die Ladegestelltransporte werden frachtpflichtig abgerechnet.

5.1.3.3 Marktbereich Baustoffe

Der Marktbereich Baustoffe ist verantwortlich für die Produktgruppen Schotter, Kies, Sand, Baumaterialien und Baustoffe sowie den Produktbereich Abfälle.

Schotter, Kies, Sand

Schotter, Kiese, Sande und andere schütffähige Baustoffe besitzen einen im Vergleich zu den Transportkosten geringen Wert. Daher sind sie empfindlich gegenüber bereits sehr geringen Transportkostensteigerungen, so dass Kostensteigerungen bei einer Containerisierung nicht an die Endkunden weiter gegeben werden können. Ansonsten ist eine Containerisierung dann ohne Probleme möglich, wenn die Container auch per Kippentleerung nach unten entladen werden können.

Baumaterialien

Baumaterialien werden entweder auf Paletten oder als Flüssigkeit bzw. staubförmig transportiert. Für die palettierten Güter gelten dieselben Einschränkungen, die bereits für die Containerisierung palettierter Kaufmannsgüter beschrieben wurden. Flüssigkeiten können ohne Probleme in Tankcontainern befördert werden, allerdings müssen bestimmte Produkte für die Papierindustrie mit besonderer Vorsicht gekrant werden, damit diese sich nicht entmischen. Staubbörmige Baustoffe, wie Gips oder Zement können in Tankcontainern mit Druckentleerung befördert werden.

Abfälle

Abfälle sind ähnlich wie Schotter, Kies und Sand sehr empfindlich gegenüber Transportkostensteigerungen. Im Übrigen ist eine Containerisierung zumeist unproblematisch.

5.1.3.4 Marktbereich Chemie

Der Marktbereich Chemie ist für den Transport von Triebstoffen und chemischen Produkten in fester, flüssiger bzw. gasförmiger und ggf. staubförmiger Form verantwortlich.

Flüssige und gasförmige chemische Produkte

Flüssige und gasförmige chemische Stoffe werden zum Teil unter Druck in Tankwagen befördert. Da es sich überwiegend um Gefahrstoffe handelt, sind die entsprechenden Gefahrgutvorschriften einzuhalten. Eine Containerisierung ist zum großen Teil unproblematisch, da für alle flüssigen und gasförmigen Chemikalien entsprechende Tankcontainer zur Verfügung stehen.

Feste chemische Produkte

Diese Stoffe werden überwiegend in palettierte Form transportiert. Hier gilt das im Bereich Kaufmannsgüter für palettierte Ware gesagte.

Staubförmige chemische Produkte

Staubförmige chemische Produkte können in Schüttgutcontainern mit Druckentleerung befördert werden.

5.1.3.5 Marktbereich Montan

Der Marktbereich Montan ist verantwortlich für die Produkte Schüttgut (Eisenerz und Kohle), Stahl und Schrott.

Schüttgut (Eisenerz und Kohle)

Schüttgut wird nahezu ausschließlich in Ganzzügen befördert, die im Einzelwagenverkehr beförderten Mengen sind sehr gering. Die Transporte sind prinzipiell containerisierbar, allerdings ist bei vielen Empfängern eine Schüttentladung nach unten erforderlich.

Stahl

Stahltransporte lassen sich in die Produktgruppen Brammen, Bleche und Fertigprodukte aufteilen. Brammen und Bleche werden in großen Sendungseinheiten von Stahlwerken zur weiterverarbeitenden Stahlindustrie befördert. Dabei werden sowohl Ganzzüge als auch Wagengruppen eingesetzt. Die Sendungen verfügen über hohe Ladungsgewichte je Wagenlänge. Für einen sechssachsigen Güterwagen, der mit 100 t Stahlbrammen beladen ist, müssen beispielsweise 4 Container eingesetzt werden. Dieses führt jedoch zu einer größeren Zuglänge und damit zu größeren erforderlichen Gleislängen in den Stahlwerken. Grundsätzlich ist jedoch eine Containerisierung möglich.

Bei den Fertigprodukten wird unterschieden zwischen Drähten, Rohren und kalt gewalzten Blechen (Coils). Bei Drähten und Coils ist zu beachten, dass die Wagen zumeist bis zur Ladegrenze ausgelastet sind und damit dieselben Probleme auftreten, wie bei Blechen und Brammen. Bei Rohren besteht die Schwierigkeit, die Ladevolumina der heutigen Güterwagen adäquat durch Container zu ersetzen.

Bisher werden Stahlprodukte nur in geringem Umfang in Containern befördert. Die Stückgewichte der Brammen und Coils ermöglichen auch ohne Container einen rationellen Umschlag mit Kranen. Allerdings sind Containerkrane wegen der verwendeten Ladegeschrirre nicht für den Umschlag von Stahlprodukten geeignet.

Schrott

Die Schrottverkehre sind unproblematisch containerisierbar. Allerdings sind die Wagen bisher bei der Be- und Entladung durch Kräne einem hohen Beschädigungsrisiko durch die Kräne und Krangreifer ausgesetzt, so dass gegebenenfalls Container eingesetzt werden müssen, die dieser erhöhten mechanischen Belastung standhalten.

Die Wagen werden bislang häufig von Schrotthändlern und Stahlwerken als rollende Lager verwendet und erst bei Bedarf geleert. Hierdurch entstehenden zusätzliche Standzeiten in den Gleisanschlüssen und die Produktivität der Wagen ist gering. Bei einer Containerisierung ist es möglich, die Container von den Wagen abzunehmen und gegebenenfalls auch gestapelt zu lagern, während die

Wagen sofort wieder in den Umlauf zurückkehren können. Hieraus ergeben sich Vorteile bei der Produktivität der Fahrzeuge im Einzelwagenverkehr.

5.2 Ableitung der Übergangswahrscheinlichkeiten für den Entscheidungsbaum

Als Ergebnis der Unternehmensbefragung und der Befragung der Marktbereiche kann festgehalten werden, dass aufgrund der Vielzahl der auftretenden unterschiedlichen technischen und logistischen Anforderungen eine vollständig auf alle potenziellen Entscheidungskriterien differenzierte Ermittlung der Übergangswahrscheinlichkeiten eine Befragung aller Verlader in Deutschland erfordern würde. Da allerdings die grundsätzlichen Hindernisse bei der Containerisierung identifiziert werden konnten, lassen sich dennoch Übergangswahrscheinlichkeiten im Bereich der technischen und logistischen Containerisierbarkeit ableiten, die die Summe aller Entscheidungskriterien abbilden.

5.2.1 Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit

Die Übergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit p_{techn} setzt sich aus zwei Teilübergangswahrscheinlichkeiten zusammen:

- Der Übergangswahrscheinlichkeit für die Wagengattung.
- Der Übergangswahrscheinlichkeit für die transportierte Gutart.

5.2.1.1 Übergangswahrscheinlichkeit für die eingesetzte Wagengattung

Eine Analyse der Eigenschaften der Wagengattungen zeigt, dass eine Containerisierung bei bestimmten Wagengattungen von vorne herein unmöglich ist. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Schienenfahrzeuge, die auf eigenen Achsen befördert werden (zum Beispiel Überführungsfahrten), aber auch um Spezialwagen für Lademaßüberschreitungen und ähnliches. Die sich daraus ergebende Übergangswahrscheinlichkeit wird als Übergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit der bei einem Transport eingesetzten Wagengattung j mit $p_{\text{techn,Wagen}}^j$ bezeichnet. Diese Übergangswahrscheinlichkeit kann nur den Wert 0 oder 1 annehmen, wobei nicht containerisierbare Wagengattungen den Wert 0 erhalten, alle übrigen Wagengattungen den Wert 1. Die Übergangswahrscheinlichkeiten der einzelnen Wagengattungen können Anhang 3 entnommen werden.

5.2.1.2 Übergangswahrscheinlichkeit für die transportierte Gutart

Die Ermittlung des technisch containerisierbaren Aufkommens einer Gutart orientiert sich ausschließlich an den technischen Kriterien Abmaße (Länge, Breite, Höhe) der beförderten Güter, Teilbarkeit der Ladung sowie den weiteren technischen Anforderungen der Transporte. Zur Ermittlung der containerisierbaren Anteile werden die qualitativen Angaben, die aus der Unternehmensbefragung, der Analyse der Wagen auf einem Rangierbahnhof und den Gesprächen mit den Marktbereichen stammen, für jede Gutart in Anteile technisch containerisierbarer Transporte umgewandelt. Der Anteil technisch containerisierbarer Transporte einer Gutart i entspricht der Übergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit dieser Gutart und wird als $p_{\text{techn,Gut}}^i$ bezeichnet. Die technischen Übergangswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Gutarten sind in Anhang 4 aufgeführt.

5.2.1.3 Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit

Die Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit einer Gutart i , die in einem Wagen der Wagengattung j befördert wird, ergibt sich dann zu:

$$p_{\text{techn}}^{i,j} = p_{\text{techn,Gut}}^i \cdot p_{\text{techn,Wagen}}^j \quad (4/7)$$

$p_{\text{techn,Gut}}^i$	technisch containerisierbarer Aufkommensanteil der Gutart i
$p_{\text{techn,Wagen}}^j$	technisch containerisierbarer Aufkommensanteil der mit der Wagengattung j beförderten Güter
$p_{\text{techn}}^{i,j}$	technisch containerisierbarer Aufkommensanteil der Gutart i , die in der Wagengattung j befördert wird

Das technisch containerisierbare Aufkommen $Q_{techn}^{i,j}$ einer Gutart i, die in der Wagengattung j befördert wird ist dann:

$$Q_{techn}^{i,j} = Q_{ges}^{i,j} \cdot p_{techn}^{i,j} \quad (4/8)$$

$Q_{techn}^{i,j}$ technisch containerisierbares Aufkommen
der Gutart i in der Wagengattung j

$Q_{ges}^{i,j}$ Gesamtaufkommen der Gutart i in der Wagengattung j

Das gesamte technisch containerisierbare Gesamttransportaufkommen ergibt sich dann zu:

$$Q_{techn} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ges}^{i,j} \cdot p_{techn}^{i,j} \quad (4/9)$$

Q_{techn} technisch containerisierbares Gesamtaufkommen

$Q_{ges}^{i,j}$ Gesamtaufkommen der Gutart i in der Wagengattung j

5.2.2 Übergangswahrscheinlichkeiten für die logistische Containerisierbarkeit

Die logistische Containerisierbarkeit eines Transportes orientiert sich an den logistischen Abläufen, die bei der Be- und Entladung dieser Gutart anstehen, und den Erfordernissen der Ladungssicherung während des Transportes sowie an weiteren logistischen Anforderungen, die für bestimmte Gutarten einzuhalten sind. Grundlage für die Ermittlung der Anteile logistisch containerisierbarer Transporte sind die Gespräche mit den Marktbereichen von Railion. Grundlage für die Betrachtung der logistischen Containerisierbarkeit ist das nach der Untersuchung der technischen Containerisierbarkeit verbleibende technisch containerisierbare Aufkommen.

Dabei wurde von den Marktbereichen, wie bereits dargestellt, eine Einschätzung abgegeben, inwiefern die von ihnen betreuten Produktbereiche containerisierbar sind. Die qualitativen Einschätzungen werden für jeden Produktbereich in containerisierbare Anteile des Transportaufkommens umgewandelt.

Die Gutarten werden dann einem Produkt- und Marktbereich zugeordnet. Die Übergangswahrscheinlichkeit p_{log}^i für die logistische Containerisierbarkeit der

Güterart i entspricht dann dem logistisch containerisierbaren Anteil p_{\log}^k des Markt- und Produktbereiches k , dem diese Güterart zugeordnet ist.

Damit ergibt sich für jede Gutart i , die einem Markt- und Produktbereich k zugeordnet ist, folgende Übergangswahrscheinlichkeit für die logistische Containerisierbarkeit:

$$p_{\log}^i = p_{\log}^k \quad (4/10)$$

Das logistisch containerisierbare Aufkommen einer Gutart lässt sich dann aus dem technisch containerisierbaren Aufkommen berechnen:

$$Q_{\log}^{i,j} = Q_{\text{techn}}^{i,j} \cdot p_{\log}^i \quad (4/11)$$

$Q_{\text{techn}}^{i,j}$ technisch containerisierbares Aufkommen der Gutart i in der Wagengattung j

$Q_{\log}^{i,j}$ logistisch containerisierbares Aufkommen der Gutart i in der Wagengattung j

Das logistisch containerisierbare Gesamtaufkommen ergibt sich dann zu:

$$Q_{\log} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{\text{techn}}^{i,j} \cdot p_{\log}^i \quad (4/12)$$

Q_{\log} logistisch containerisierbares Gesamtaufkommen

Die Übergangswahrscheinlichkeiten für die logistische Containerisierbarkeit der einzelnen Produktbereiche sind in Anhang 5 dargestellt.

5.2.3 Übergangswahrscheinlichkeiten für die wirtschaftliche Containerisierbarkeit

Eine Aussage zur wirtschaftlichen Containerisierbarkeit einzelner Transporte lässt sich erst nach einer Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs treffen, da erst im Rahmen der Simulation die Kosten für einzelne Transporte ermittelt werden können. Hierzu müssen die wirtschaftlich nicht containerisierbaren Transporte, bei denen die Kosten für die einzelnen Transporte eine später zu definierende Grenze übersteigen, ermittelt werden. Eingangsgröße für die Simulation kann daher zunächst nur das logistisch containerisierbare Aufkommen sein. Da im Rahmen dieser Arbeit keine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbe-

trachtung einzelner Transporte erfolgen soll, wird die wirtschaftliche Containerisierbarkeit nicht näher betrachtet.

5.2.4 Ermittlung einer Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für die Containerisierbarkeit

Die Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für die Containerisierbarkeit eines Transportes der Gutart i in der Wagengattung j ergibt sich, wie bereits dargestellt, als Produkt der Einzelübergangswahrscheinlichkeiten:

$$p_{con}^{i,j} = p_{techn,Gut}^i \cdot p_{techn,Wagen}^j \cdot p_{log}^i \quad (4/13)$$

$p_{con}^{i,j}$	Gesamtübergangswahrscheinlichkeit für einen Transport der Gutart i in der Wagengattung j ,
$p_{techn,Gut}^i$	Übergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit der Gutart i ,
$p_{techn,Wagen}^j$	Übergangswahrscheinlichkeit für die technische Containerisierbarkeit der Wagengattung j ,
p_{log}^i	Übergangswahrscheinlichkeit für die logistische Containerisierbarkeit der Gutart i .

Das Gesamtaufkommen der containerisierbaren Transporte einer Gutart i in der Wagengattung j ist dann:

$$Q_{con}^{i,j} = Q_{ges}^{i,j} \cdot p_{con}^{i,j} \quad (4/14)$$

$Q_{con}^{i,j}$	containerisierbares Aufkommen der Gutart i in der Wagengattung j
-----------------	--

Und das Gesamtaufkommen ergibt sich zu:

$$Q_{con} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ges}^{i,j} \cdot p_{con}^{i,j} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ges}^{i,j} \cdot p_{techn,Gut}^i \cdot p_{techn,Wagen}^j \cdot p_{log}^i \quad (4/15)$$

Q_{con}	gesamtes containerisierbares Aufkommen
-----------	--

5.2.5 Ermittlung des containerisierbaren Aufkommens

Unter Anwendung der Gesamtübergangswahrscheinlichkeiten für die Containerisierung ergibt sich damit bei Anwendung des Entscheidungsbaumverfahrens ein containerisierbarer Anteil der Transporte von 83,9 % der Verkehrsmenge,

62,3 % des Wagenaufkommens und 80,8 % der Verkehrsleistung. Der deutlich geringere Anteil containerisierbarer Transporte beim Wagenaufkommen ist, wie bereits dargestellt, auf die generell nicht containerisierbaren Leerwagentransporte zurückzuführen, die keine Verkehrsmenge und Verkehrsleistung besitzen.

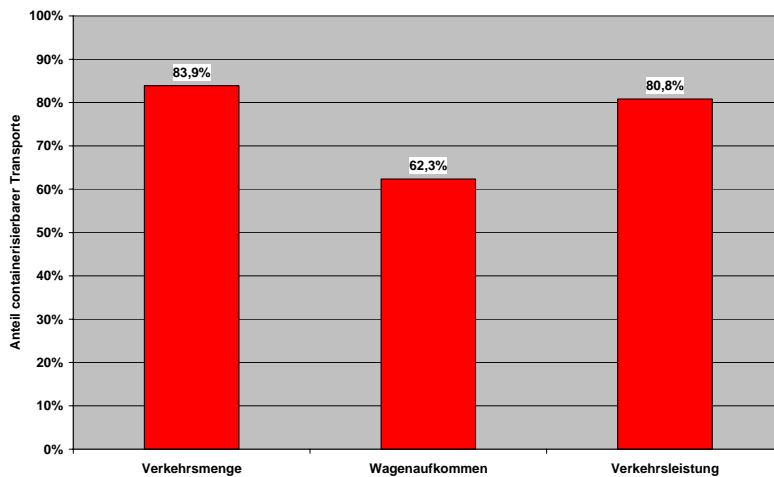


Abbildung 40 Ergebnis des Entscheidungsbaumverfahrens: containerisierbare Anteile der Verkehrsmenge, des Wagenaufkommens und des Verkehrsaufkommens.

5.3 Möglichkeiten zum Umgang mit Auslandsverkehren

Für den Umgang mit den Auslandsverkehren ist zwischen den eingehenden und den ausgehenden Verkehren sowie Transitverkehren zu unterscheiden. Bei der Betrachtung der Auslandsverkehre ist zu beachten, dass die Disposition und Organisation der internationalen Verkehre überwiegend den Bahngesellschaften obliegen, die am Ausgangspunkt des Transportes ihr Verkehrsgebiet haben.

5.3.1 Ausgehende Auslandsverkehre

Bei den ausgehenden Verkehren unterliegt die Transportorganisation nahezu ausschließlich beim jeweils versendenden Eisenbahnverkehrsunternehmen in Deutschland. Damit hat das versendende Eisenbahnverkehrsunternehmen maßgeblichen Einfluss, in welchen Wagengattungen und Transportbehältern die Bedienung der Gleisanschlüsse erfolgt. Eine Containerisierung ist bei Vorliegen der technischen und logistischen Voraussetzungen unproblematisch.

Für die ausgehenden Verkehre erfolgt die Beförderung der Wagen bis zu einem für jedes Land als Grenzübergangs- und -abfertigungspunkt festzulegenden grenznahen Bahnhof bzw. Megahub im System des containerisierten Einzelwagenverkehrs. In diesem Grenzübergangs- und -abfertigungspunkt werden die für das Ausland bestimmten Container auf einen aus Containertragwagen bestehenden grenzüberschreitenden Zug umgeladen. Dieser Zug wird anschließend über die Grenze gefahren und im Ausland in einem grenznahen Rangierbahnhof in das dort jeweils bestehende Einzelwagensystem eingespeist.

Bei der Zugzusammenstellung der ins Ausland abgehenden Züge muss beachtet werden, dass die Containertragwagen im Ausland im herkömmlichen Rangier- und Ablaufbetrieb behandelt werden. Daher müssen in diesen Zügen ausschließlich Containertragwagen mit Einrichtungen zum Stoßverkehr eingesetzt werden.

5.3.2 *Eingehende Auslandsverkehre*

Bei einer vollständigen Containerisierung des Einzelwagenverkehrs kann das empfangende Eisenbahnverkehrsunternehmen in Deutschland bei eingehenden Auslandsverkehren in Zukunft ausschließlich Container auf entsprechenden Containertragwagen akzeptieren. Die Auslandsbahnen müssen dies bei der Disposition und Organisation der Transporte berücksichtigen. Die Wagen werden im Ausland in einem herkömmlichen Einzelwagenverkehr befördert und in einem grenznahen Rangierbahnhof zu einem Ganzzug zusammengestellt. Dieser Ganzzug aus Containertragwagen wird zum deutschen Grenzübergangs- und Grenzabfertigungspunkt gefahren und in das System des containerisierten Einzelwagenverkehrs eingespeist.

5.3.3 *Transitverkehre*

Transitverkehre, bei denen komplette Züge ohne rangiertechnische Behandlung durch Deutschland gefahren werden, können auch in Zukunft aus herkömmlichen Güterwagen gebildet werden. Für Transitverkehre, bei denen die Züge in Deutschland zerlegt oder zusammengestellt werden, gelten dieselben Randbedingungen wie für ausgehende bzw. eingehende Verkehre.

5.3.4 Auswirkungen der Containerisierung auf das Aufkommen der Auslandsverkehre

Die bislang ermittelten Übergangswahrscheinlichkeiten berücksichtigen nur die in Deutschland vorherrschenden logistischen Verhältnisse. Durch den hier dargestellten Umgang mit den Auslandsverkehren ergeben sich jedoch zusätzliche Einflüsse auf die logistischen Prozesse der Auslandsverkehre. Damit lassen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten für den Binnenverkehr nicht ohne weiteres auf die Auslandsverkehre übertragen. Grundsätzlich können vom sehr ungünstigen Fall, dass alle Auslandsverkehre entfallen, bis zum sehr günstigen Fall, dass die Auslandsverkehre mit derselben Wahrscheinlichkeit containerisierbar sind wie die Inlandsverkehre, alle Ausprägungen auftreten. Um diese Auswirkungen der Containerisierung auf die Auslandsverkehre ermitteln zu können, ist daher eine detaillierte Untersuchung der Auslandsverkehre erforderlich. Für diese Untersuchung wird zunächst angenommen, dass Auslandsverkehre mit derselben Wahrscheinlichkeit containerisierbar sind, wie Inlandsverkehre mit der jeweils gleichen Wagengattung und Gutart.

5.4 Berücksichtigung von Leerwagentransporten bei der Modellbildung

Bei den Leertransporten wird angenommen, dass der Ausgleich der Leercontainer innerhalb einer Region erfolgt, so dass für die eingehenden Container zielpunktnah eine Neubeladung erfolgen kann. Damit fallen Leertransporte innerhalb einer Region vom Zielbahnhof zum regionalen Sammelpunkt und vom Sammelpunkt zur Neubeladung an. Diese Leertransporte werden in der Simulation berücksichtigt.

Bei dieser Betrachtung der Leertransporte haben diese keinen Einfluss auf die Gestaltung des Fernzugnetzes, da ein überregionaler Leercontainerausgleich (über Fernzüge) nicht vorgesehen ist. Für die Simulation unterschiedlicher Netze des containerisierten Einzelwagenverkehrs wird daher festgelegt, dass der Leerwagenausgleich in den Bahnhöfen der Kategorie 3 erfolgt. Bei dieser Annahme bleibt unberücksichtigt, dass bei zunehmender Spezialisierung der Container eine zielortnahe Wiederbeladung problematisch ist.

5.5 Umgang mit nicht containerisierbarem Aufkommen

Aufgrund des hohen Anteils containerisierbarer Transporte ist das nicht containerisierbare Aufkommen mit 16,1 % der Verkehrsmenge und 19,2 % des Verkehrsaufkommens nicht groß genug, um den Weiterbetrieb eines eigenständigen Einzelwagennetzes mit der heutigen Netzkonfiguration zu rechtfertigen, da eine ausreichende Auslastung der fixkostenintensiven Rangierbahnhöfe nicht mehr gegeben ist. Allerdings bestehen die nicht containerisierbaren Transporte überwiegend aus den zwei Gütergruppen Kraftfahrzeuge und Rohholz. Für beide Gütergruppen wurden mit den Marktbereichen Lösungen diskutiert, die es ermöglichen, diese Transporte auch zukünftig auf der Schiene abzuwickeln.

Pkw-Transporte

Die Aufkommensstruktur der Pkw-Transporte ist nach Aussage des zuständigen Marktbereiches sehr dispers. Die im Einzelwagenverkehr durchgeführten Transporte lassen sich nicht so weit bündeln, dass ein wirtschaftlicher Weiterbetrieb gerechtfertigt wäre. Hier ist eine detaillierte Betrachtung der Transportabläufe erforderlich, um einen Verbleib der Transporte auf der Schiene sicherzustellen.

Rohholztransporte

Die Rohholztransporte lassen sich so weit bündeln, dass bei einer Konzentration auf wenige, technisch gut ausgestattete Verladepunkte und bei einer Abänderung der Produktionsstruktur eine Ganzzugbildung möglich ist. Diese Transportkonzepte werden bereits heute bei vielen privaten Eisenbahnverkehrsunternehmen verwendet und sind damit geeignet, einen wirtschaftlichen Transportablauf außerhalb des Einzelwagenverkehrs sicherzustellen.

6 Auswirkungen der Containerisierung auf die Produktion eines Eisenbahnverkehrsunternehmens

6.1 Untersuchungsgegenstand und Datengrundlagen für die Simulation

6.1.1 Darstellung des Untersuchungsgegenstandes

Der heutige Einzelwagenverkehr wird, wie bereits beschrieben, in Form eines flexiblen Knotenpunktsystems produziert. Durch die Containerisierung des Einzelwagenverkehrs verändern sich die Kosten und der Zeitbedarf für Umschlag und Transport sehr erheblich. Damit ist nicht mehr sichergestellt, dass das heutige flexible Knotenpunktsystem des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs das am besten geeignete Produktionsverfahren für einen containerisierten Einzelwagenverkehr ist. Es werden daher nachfolgend im Rahmen einer Szenarienbetrachtung verschiedene Produktionsverfahren für einen containerisierten Einzelwagenverkehr untersucht und hinsichtlich ihrer Kosten bewertet. Um die einzelnen Produktionsverfahren miteinander vergleichen zu können, wird mit Hilfe einer Optimierung die jeweils günstigste Lösung für die Anordnung der Umschlagpunkte und die Netzgestaltung für die untersuchten Produktionsverfahren ermittelt. Grundlage der Optimierung ist das Netzmodell des Schienengüterverkehrs von Railion sowie die Aufkommensmatrix als Quell-Ziel-Matrix des containerisierten Einzelwagenverkehrs.

6.1.2 Verwendetes Netzmodell

Grundlage der Optimierung ist das von Railion für das Programmsystem SIMTEG verwendete Netzmodell des Schienengüterverkehrsnetzes in Deutschland. Das Netzmodell ist ein Knoten-Kanten-Modell, auf dessen Basis über ein Kostenmodell kostenoptimierte Routen für jeden Transport ermittelt werden.

Die Knoten stellen die verkehrsrelevanten Bahnhöfe in Deutschland dar. Sie werden im Kostenmodell mit den Umschlagkosten bewertet.

Die Kanten sind die Verbindungen zwischen diesen Bahnhöfen und werden mit ihrer tatsächlichen Entfernung im Streckennetz bewertet, auf deren Grundlage über das Kostenmodell belastungsabhängig ein Kostensatz für den Transport eines Wagens auf der Kante berechnet wird. Kanten, die keine Verkehrsbelas-

tung besitzen, besitzen unendlich große Kosten bzw. sind im Netzmodell nicht vorhanden.

6.1.3 Erzeugen der Verkehrsstrommatrix

6.1.3.1 Grundlage der Verkehrsstrommatrix

Grundlage für das Erstellen der Verkehrsstrommatrix für den containerisierten Einzelwagenverkehr ist die Verkehrsstrommatrix des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs für einen durchschnittlichen Tag des Jahres 2004. Wie bereits beschrieben, wurde zunächst mit Hilfe der Übergangswahrscheinlichkeiten das containerisierbare Aufkommen ermittelt. Sämtliche Berechnungen erfolgten relationsbezogen auf der Grundlage des Ladungsgewichtes sowie der Anzahl der beförderten Wagen. Ergebnis der Umrechnung ist eine Verkehrsstrommatrix zwischen den verkehrswichtigen Bahnhöfen mit den Verkehrsmengen in t/Tag und in Wagen/Tag.

6.1.3.2 Umrechnen der Verkehrsstrommatrix auf die Einheit TEU/Tag

Die Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs erfolgt auf Basis von Containern (TEU), so dass eine Umrechnung des verbleibenden containerisierten Aufkommens von t/Tag bzw. von Wagen/Tag in TEU/Tag erforderlich ist. Da Container sowohl in ihrem Volumen als auch beim maximal zulässigen Ladungsgewicht eine geringere Kapazität besitzen als die entsprechenden Eisenbahnwagen, müssen bei der Umrechnung beide Größen berücksichtigt werden. Da keine detaillierten Angaben über die Beladung jedes einzelnen Wagens vorliegen, erfolgt die Umrechnung auf Basis der Wagengattungen. Diese werden zunächst in drei Gruppen unterteilt:

- Wagengattungen für großvolumige Güter,
- Wagengattungen für schwere Güter,
- Wagengattungen mit Sonderkonstruktion.

Die Differenzierung zwischen Wagengattungen für großvolumige Güter und Wagen für schwere Güter erfolgt anhand der mittleren Ausnutzung der maximal zulässigen Ladungsgewichte der einzelnen Wagengattungen. Dabei wird mit Ausnahme der Wagengattungen mit Sonderkonstruktionen folgendermaßen vorgegangen:

1. Definition einer Referenzwagenbauart für die jeweilige Wagengattung.
2. Ermittlung des zulässigen Ladungsgewichtes für die Referenzwagenbauart.¹⁴³
3. Ermittlung des mittleren Ladungsgewichtes der beförderten beladenen Wagen.
4. Wagen mit einer mittleren Auslastung des Ladungsgewichtes von mehr als 80 % werden vorrangig zum Transport schwerer Güter verwendet, dementsprechend ist das Ladungsgewicht maßgebend. Die übrigen Wagen dienen zum Transport großvolumiger Güter.

Wagengattungen mit Sonderbauart sind Wagen, mit denen Güter befördert werden, bei denen sich aufgrund der Gutbeschaffenheit ein fester Umrechnungsfaktor von Wagen in Container ergibt.

Umrechnungsfaktoren für Wagengattungen für schwere Güter

Bei den Wagengattungen für den Transport schwerer Güter ist im Allgemeinen für die Umrechnung das maximal zulässige Ladungsgewicht der Container maßgebend. Dieses ergibt sich aus der maximalen Tragkraft der verwendeten Containerkrane abzüglich des Eigengewichtes der Container. In Deutschland werden derzeit überwiegend Krane mit einer Tragkraft von 35 t verwendet.¹⁴⁴ Um die vorhandenen Umschlaganlagen weiter nutzen zu können, ist daher im containerisierten Einzelwagenverkehr die Containerbruttomasse auf 35 t zu beschränken. Abzüglich eines Containereigengewichtes von 4 t, verbleibt eine Nett Nutzlast von 31 t.

Als weiteres Kriterium für die Umrechnung wird die Ladelänge der Wagen verwendet. Die Untersuchung der Wagen auf dem Rangierbahnhof hat ergeben, dass unabhängig von der Ladungsmasse im Allgemeinen die Ladelänge der Wagen voll ausgenutzt wird. Für eine Containerisierung ist daher davon auszugehen, dass auch weiterhin eine entsprechende Ladelänge zur Verfügung stehen muss. Die Umrechnung der Wagen in Container erfolgt auf Basis der Ladelänge von 6 m für eine TEU.

¹⁴³ Quellen: für Güterwagenbauarten, die im Eigentum von Railion stehen: *Deutsche Bahn AG (Hrsg.) (2005)*, für Kesselwagen: *OnRail (2006)*

¹⁴⁴ *Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr (Hrsg.) (1986)*

Die Berechnung der Umrechnungsfaktoren erfolgt auf Grundlage dieser Formel:

$$U_{schwer} = \max\left(\frac{m_{Wagen}}{31 t}; \frac{l_{Wagen}}{6m}\right) \tag{6/1}$$

- U_{schwer} Umrechnungsfaktor bei Wagengattungen für den Transport schwerer Güter
- m_{Wagen} mittlere tatsächliche Ladungsmasse der beladenen Wagen
- l_{Wagen} Ladelänge der Wagengattung.

Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]	Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]
07 Fak,Fan,Fas	1,69	70 Tbekk	2,12
08 Fc	1,33	73 Tam	2,13
13 Faal(n)	3,70	74 Taems	2,06
27 Habbi,Habbill	3,77	75 T(d)	1,32
29 Ia	2,13	76 Tdg	1,32
30 Iag	2,13	77 Tal	1,80
33 Ibg	2,13	78 Tadg	2,43
34 Ibbd	2,13	79 Taeh	2,43
35 Ibb	2,13	81 Uc	0,85
40 Rils,Rilns,Rins	3,07	82 Uc,Upp	0,77
51 Remm	2,10	83 Uc	1,65
60 Sah	2,53	86 Taoo,Uaoo	2,47
62 Shi	1,80	94 Z	0,77
63 Rhmm,Sh	2,40	95 Za	1,76
65 S(l)p	3,67	97 Zaa	1,67
69 Tad	2,43		

Tabelle 7 Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen für den Transport schwerer Güter

Umrechnungsfaktoren für Wagengattungen für voluminöse Güter

Bei den Wagengattungen für voluminöse Güter ist bei der Umrechnung das maximal zulässige Volumen der Container maßgebend. Dabei wird als Referenzgröße von einem 20-Fuß-Container (6 m lang) ausgegangen, der 2,60 m breit und als High-Cube-Container 9 ft 6 in, entsprechend 2,85 m hoch ist. Daraus ergibt sich ein Ladevolumen von 42,75 m³. Die Umrechnung erfolgt auf Basis des tatsächlichen Ladungsvolumens, da die Gespräche mit den Marktberreichen ergeben haben, dass die Ladungsvolumina und Ladungslängen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle voll ausgenutzt werden.

$$U_{vol} = \max\left(\frac{V_{Wagen}}{42,75m^3}; \frac{l_{Wagen}}{6m}\right) \tag{6/2}$$

- U_{Vol} Umrechnungsfaktor bei Wagengattungen für den Transport voluminöser Güter
- V_{Wagen} maximal mögliches Ladungsvolumen der Wagenbauart
- l_{Wagen} Ladelänge der Wagengattung.

Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]	Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]
05 E, Fb	1,46	28 Ha,Hrr,Haccee, Hi	2,44
09 Fac	1,84	36 lbbg	2,13
10 Ea(l)(n)(o)	2,13	38 Kg,Lg	2,00
11 Fal,Falrr,Fao	2,11	45 K(b)(i)(kk)	2,08
12 F(a)(rr)	2,13	46 K(i)(l)	2,36
14 Hbbi	3,27	50 Re	3,08
16 G, H	2,13	52 Rg,Sg	3,00
17 Hbi	2,13	53 Rgmm,Sgmm	2,43
18 Hbil	2,13	54 Sahi	2,16
19 Hbill	2,13	57 R,S	3,07
20 Gb,Hb	2,13	58 Sa(mm-u)	2,50
22 Hbill-(x)	2,13	64 Rmm,S(l)mm	2,17
23 Hbill	2,67	67 Rb	4,17
24 Ga,Ha	3,93	71 Ti	2,12
25 Habi,Habil	3,93	72 Tbi	2,12
26 Haabi	3,93	80 U	0,70

Tabelle 8 Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen für den Transport voluminöser Güter

Umrechnungsfaktoren für Wagengattungen mit Sonderbauart

Wagengattungen mit Sonderbauart erhalten einen festen Umrechnungsfaktor zugewiesen, der sich aus der Wagenbauart und den mit dieser Bauart im Allgemeinen beförderten Güterarten ergibt.

Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]	Wagengattung	Umrechnungsfaktor [TEU/Wagen]
59 Saa	2,00	44 Le,La, Laa	6,00
37 Ld	3,00	47 Lb	3,00
39 O	2,00	48 Lbm	2,00
41 La,Laa	2,50	55 Sd	3,00
42 Lag,Laag	3,00	61 Se,Sef	8,00
43 Le	6,00	68 Saad	3,00

Tabelle 9 Umrechnungsfaktoren zur Umrechnung von Wagen in Container bei den Wagengattungen mit Sonderbauart

6.2 Umladeprobleme und Verfahren zur Optimierung

In der Aufkommensmatrix werden für jede Quell-Ziel-Relation zwischen zwei Knoten des Netzmodells die Anzahl der zu befördernden Wagen bzw. Container hinterlegt. Der Verkehrsstrom zwischen einer Quelle i und einem Ziel j wird dabei mit $f_{i,j}$ bezeichnet. Wobei gilt:

$$\sum_i f_{i,j} = \sum_j f_{i,j} \quad (6/3)$$

mit $f_{i,j}$ Verkehrsaufkommen zwischen dem Quell-Bahnhof i und dem Ziel-Bahnhof j .

Im Rahmen der Optimierung sollen für alle Wagen die Routen im Netz gefunden werden, die zu einer Kostenminimierung aller durchzuführenden Transporte führt.¹⁴⁵ Dabei können neben Direktverbindungen auch Verbindungen über einen oder mehrere Zwischenknoten gewählt werden, an denen ein Umladen der Container erfolgt. Wenn man den Quell-Bahnhof als Anbieter von Wagen und den Ziel-Bahnhof als Nachfrager von Wagen definiert, lässt sich das Problem einer kostenoptimalen Routensuche als Umladeproblem betrachten. Durch die bereits vorhandene Quell-Ziel-Matrix vereinfacht sich das Problem, da eine Zuordnung der Anbieter zu den Nachfragern nicht mehr erforderlich ist. Die Optimierung kann sich auf eine Suche der optimalen Routen und Umladepunkte beschränken.

6.2.1 Arten von Umladeproblemen

Bei Umladeproblemen wird unterschieden in¹⁴⁶:

- kapazitierte und unkapazitierte Umladeprobleme und
- Umladeprobleme mit linearen Kostenfunktionen und Umladeprobleme mit nichtlinearen Kostenfunktionen

6.2.1.1 Kapazitierte und unkapazitierte Umladeprobleme

Sind für die Transportverbindungen keine Kapazitätsbeschränkungen zu berücksichtigen, so wird das Problem als unkapazitiertes Umladeproblem oder allgemein als Umladeproblem bezeichnet. Sofern Kapazitätsbeschränkungen zu beachten sind, spricht man von einem kapazitierten Umladeproblem. Im vorliegenden Fall handelt es sich eigentlich um ein kapazitiertes Umladeproblem, da sowohl die Kapazitäten im Streckennetz als auch die Kapazität der Umschlageinrichtungen beschränkt sind. Allerdings wird für die Optimierung davon ausgegangen, dass diese Kapazitätseinschränkungen nicht vorhanden sind, bzw. durch Infrastrukturausbau beseitigt werden können, so dass die Lösung

¹⁴⁵ Domschke, Wolfgang (1995)

¹⁴⁶ Domschke, Wolfgang (1995)

des Optimierungsproblems auf Grundlage eines unkapazitierten Umladeproblems erfolgt.

6.2.1.2 Umladeprobleme mit linearer und nichtlinearer Kostenfunktion

Bei Umladeproblemen mit linearer Kostenfunktion sind die Transportkosten pro Mengeneinheit konstant, so dass gilt:

$$c(x_{i,j}) = c_{i,j} \cdot x_{i,j} \quad (6/4)$$

mit $c(x_{i,j})$ gesamte Transportkosten zwischen Anbieter i und Nachfrager j
 $c_{i,j}$ Transportkosten pro Mengeneinheit
 $x_{i,j}$ Transportmenge.

Bei nichtlinearen Umladeproblemen sind die Transportkosten je Mengeneinheit abhängig von der transportierten Menge. Im vorliegenden Fall handelt es um ein Transportproblem mit nichtlinearen Kosten, da aufgrund der Zugbildung bis zum Erreichen eines vollständigen Ganzzuges die Kosten je Mengeneinheit mit zunehmender Transportmenge abnehmen. Anschließend erfolgt ein Kosten sprung für die nächste zu transportierende Mengeneinheit, da ein zusätzlicher Zug eingerichtet werden muss. Danach nehmen die Kosten je Mengeneinheit weiter ab, bis zum Erreichen des nächsten vollständigen Ganzzuges.

6.2.1.3 Definition des vorhandenen Umladeproblems

Die Optimierung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs erfordert damit die Lösung eines mehrstufigen, unkapazitierten Umladeproblems. Dieser Spezialfall wird auch als mehrstufiges Transportproblem bezeichnet. Für die Lösung eines derartigen Transportproblems haben MARIN und SALMERON unterschiedliche Lösungsverfahren für eine Netzoptimierung des Schienengüterverkehrs beschrieben.¹⁴⁷ Weitere Lösungsansätze für das Problem lassen sich aus den Verfahren zur Netzoptimierung des öffentlichen Nahverkehrs ableiten.¹⁴⁸

¹⁴⁷ Marin, Angel und Javier Saleron (1996)

¹⁴⁸ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.) (1992)

6.2.2 Verfahren zur Netzoptimierung des Schienengüterverkehrs nach MARIN und SALERON

Das Netzmodell des Schienengüterverkehrsnetzes besteht nach MARIN und SALERON aus dem Streckennetz und den Rangierbahnhöfen, den Zugfahrten zwischen den Rangierbahnhöfen und der Nachfrage. Ziel ist es, das kostenoptimale Netz bei vorgegebenen Randbedingungen zu ermitteln.

6.2.2.1 Modellierung

Netzmodell und Nachfrage

Bei den Knoten, die den Umstellbahnhöfen entsprechen, wird von den Aufgaben her zwischen „classification yards“ (Rangierbahnhöfen), „transfer yards“ (Knotenpunktbahnhöfen) und „simple yards“ (Satelliten) unterschieden. Bei den Zugfahrten werden lokale Angebote zwischen Satellit und Knotenpunktbahnhof und nationale Angebote zwischen den Knotenpunkt- und Rangierbahnhöfen unterschieden. Bei den nationalen Angeboten zwischen den Rangierbahnhöfen gibt es ein Basisangebot mit Zwischenhalten an Knotenpunktbahnhöfen und Direktzüge ohne Zwischenhalte. Die Nachfrage wird durch den Quell- und Zielbahnhof und die transportierte Menge an Güterwagen bestimmt.

Kostenmodell

Im Kostenmodell werden nachstehende Kostenkomponenten berücksichtigt:

- die Betriebskosten der Wagen während der Fahrt,
- die Zeitkosten der Wagen während der Behandlung auf den Rangierbahnhöfen,
- die Kosten für die Zugfahrt, bestehend aus Zeitkosten, Arbeitskosten und Triebfahrzeugkosten,
- die Zugbildungskosten,
- die Zeitkosten für die Zugfahrt für einen Halt an einem Rangierbahnhof,
- gegebenenfalls Investitionskosten, falls nicht genug Züge vorhanden sind und Investitionen in zusätzliche Züge erforderlich sind.

Kapazitätsbeschränkungen

Das Modell berücksichtigt bei der Routensuche und bei der Ermittlung eventuell erforderlicher Erweiterungsinvestitionen folgende Kapazitätsrestriktionen:

- Kapazität der Rangier- und Knotenpunktbahnhöfe
- Kapazität der Strecken
- Kapazität des Wagenparks und der Triebfahrzeuge.

Vergleich mit dem vorliegenden Problem

Das von MARIN und SALERON behandelte Problem ist dem Problem einer Optimierung des containerisierten Einzelwagenverkehrs sehr ähnlich. Allerdings werden bei MARIN und SALERON zusätzliche Modellkomponenten verwendet, die bei der Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs nicht erforderlich sind. Unter anderem sind dies sämtliche Kapazitätsrestriktionen sowie die explizite Berücksichtigung eventuell anfallender Investitionskosten in Wagenpark und Triebfahrzeuge, da bei der Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs diese Einschränkungen zunächst nicht beachtet werden sollen.

6.2.2.2 Formulierung des Problems

Das Problem lässt sich, wenn man die Investitionskosten für Kapazitätserweiterungen des Wagenparks und der Triebfahrzeuge nicht berücksichtigt, mathematisch folgendermaßen darstellen:

Minimiere die Kosten c in folgender Funktion:

$$c = f(h, y) = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} c_r h_r + \sum_{l \in L} v_l y_l \quad (6/5)$$

unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen:

$$\sum_{r \in R_w} h_r = d_w \quad \forall w \in W \quad (6/6)$$

$$\sum_{r \in R_s} h_r - q_l y_l \leq 0 \quad \forall s \in S_l, \quad \forall l \in L, \quad (6/7)$$

$$\sum_{r \in R_w} h_r \leq X_e \quad \forall e \in E \quad (6/8)$$

$$h_r \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall r \in R_w, \quad \forall w \in W, \quad y_l \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall l \in L$$

mit	c	Gesamtkosten
	c_r	Fahrtkosten auf der Route r
	d_w	Anzahl der Wagen der Nachfrage w
	e	Index für Umstellbahnhof
	E	Set der Umstellbahnhöfe
	h_r	Verkehrsstärke (Wagenstrom) auf der Route r
	l	Index für Linie
	L	Set der Linien
	q_l	Kapazität der Züge auf der Linie l
	s	Index für Streckenabschnitt
	S_l	Set der Streckenabschnitte für die Zugfahrt l
	r	Index für Route
	R_e	Set der Routen, die am Umstellbahnhof e hält
	R_s	Set der Routen, die die Strecke s benutzt
	R_w	Set der möglichen Routen für eine Nachfrage w
	v_l	Wartezeitkosten auf der Linie l
	w	Index für Nachfrage
	W	Set der Nachfrage
	X_e	Kapazität des Umstellbahnhofs e
	y_l	Fahrtenhäufigkeit auf der Linie l

6.2.2.3 Heuristische und Exakte Lösungsverfahren

Grundlage aller von MARIN und SALERON untersuchten Lösungsalgorithmen ist ein „General Decomposition Algorithm (GDA)“. Für diesen Algorithmus wird das Gesamtmodell für die Optimierung in zwei Teilmodelle zerlegt: einem Routingmodell und ein Modell für die Zuordnung der Wagen zu Zugfahrten.

Der GDA als übergeordneter Algorithmus läuft folgendermaßen ab:

1. Definiere einen Übergang von der aktuellen Lösung y^k zu einer Nachbarlösung y^{k+1} .
2. Löse das Zuordnungsmodell (y^{k+1}): Ermittle die Wagenströme h^{k+1} und die Fahrtkosten auf den einzelnen Routen c_R^{k+1} für die Nachbarlösung.
3. Löse das Routingmodell (h^{k+1}): Berechne die Nachbarlösung y^{k+1} und die Kosten c_G^{k+1} .

4. Ermittle die Gesamtkosten für (y^{k+1}, h^{k+1}) : $c^{k+1} = c_R^{k+1} + c_G^{k+1}$.
5. Entscheide abhängig von der Kostenveränderung von c^k auf c^{k+1} , ob das Ergebnis übernommen oder verworfen wird.

Für das Routingmodell wird ein dreistufiger Algorithmus verwendet:

1. Finde eine Nachfrage, die noch nicht geroutet wurde. Wenn die gesamte Nachfrage bereits geroutet ist, endet der Algorithmus und das Routingergebnis h^k wird als Grundlage der Zuordnung der Wagen zu Zügen verwendet.
2. Finde die kürzeste Route für jeden Wagen der Nachfrage unter Beachtung der Kapazität der Strecken und der Umstellbahnhöfe.
3. Addiere für alle Strecken der Route die hinzukommenden Wagen. Berechne die Kapazität der Strecken und Umstellbahnhöfe neu.

Für das Modell der Zuordnung der Wagen zu den Zügen wird ein Gruppierungsalgorithmus verwendet, der eine Lösung y^k der Zuordnung der Wagen zu den Zugfahrten liefert.

Die von MARIN und SALERON untersuchten Optimierungsverfahren unterscheiden sich nur in den Schritten 1 und 5 des GDA, das bedeutet, sie unterscheiden sich bei der Definition möglicher Schritte zu einer Nachbarlösung y^{k+1} ausgehend von der aktuellen Zugfahrthäufigkeit y^k sowie bei den Kriterien, nach denen ein Ergebnis übernommen oder verworfen wird. Die Schritte 2, 3 und 4 sind bei allen Heuristiken identisch. MARIN und SALERON haben die Eignung folgender Verfahren geprüft und bewertet:

- Descending Method,
- Simulated Annealing Method,
- Tabu Suche
- und als Vergleichsverfahren das enumerative Branch-and-Bound-Verfahren.

Descending Method

Die Descending Method ist ein Verbesserungsverfahren, das ausgehend von einer bestehenden Lösung der Zielfunktion in verschiedenen Richtungen nach weiteren, besseren Nachbarlösungen der Zielfunktion sucht. Die Auswahl des konkreten Schrittes basiert dabei auf der Erfahrung des Programmierers und der internen Logik der Programmapplikation. Im vorliegenden Fall können mög-

liche Schritte für eine Veränderung der Fahrtenzahl auf den einzelnen Linien sein:

- Reduktion der Fahrtenanzahl auf einer Linie um eine Fahrt,
- Reduktion der Fahrtenanzahl auf einer Linie um eine Fahrt, Erhöhung der Fahrtenzahl aller übrigen Linien um eine Fahrt,
- Reduktion der Fahrtenzahl einer Linie auf 0, Erhöhung der Fahrtenzahl auf allen anderen Linien,
- Verminderung der Fahrtenzahl auf zwei Linien um eine Fahrt, Erhöhung der Fahrtenzahl auf den übrigen Linien um eine Fahrt.

Grundsätzlich können eine Vielzahl unterschiedlicher Schritte definiert und geprüft werden. Bei jeder Iteration werden alle zulässigen und definierten Schritte geprüft. Für die Fortführung der Optimierung wird der Schritt ausgewählt, der bei der vorgegebenen Ausgangssituation zum kostenminimalen Ergebnis führt. Das Verfahren ist ein reines Verbesserungsverfahren und endet, sobald keine verbessernde Nachbarlösung mehr existiert.¹⁴⁹ Damit kann sich dieses Suchverfahren nicht aus lokalen Optima befreien.

Simulated Annealing Method

Der Name der Simulated Annealing Method kennzeichnet die Analogie des Verfahrens zum physikalischen Verhalten fester Stoffe beim Abkühlen und überträgt dieses Verhalten auf ein Optimierungsverfahren.¹⁵⁰ Auch dieser Ansatz basiert darauf, Schritte in die Nachbarschaft der vorhandenen Lösung zu prüfen. Dabei geht die Simulated Annealing Method nicht von festen Schrittfolgen oder Schrittweiten aus, sondern legt mögliche Schritte in Abhängigkeit von der vermuteten Qualität der aktuell vorhandenen Lösung fest. Danach wird ein Schritt ausgewählt, der von einer zulässigen Lösung zu einer zulässigen Nachbarlösung führt.

Erfüllt diese Nachbarlösung die Zielfunktion schlechter als die vorhergehende Lösung, so wird der Übergang zur Nachbarlösung nicht generell abgelehnt. Die Verschlechterung wird vielmehr mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit akzeptiert. Dabei gilt: Je größer der vermutete Abstand von der global optimalen Lösung ist, desto größere Schrittweiten zu einer Nachbarlösung und desto größe-

¹⁴⁹ Domschke, Wolfgang (1997)

¹⁵⁰ Domschke, Wolfgang (1997)

re Verschlechterungen werden noch zugelassen. Erst wenn eine, von der vermuteten Qualität der Lösung abhängige Grenze der Verschlechterung überschritten wird, wird die Nachbarlösung verworfen. Wenn der aktuelle Schritt angenommen wird, bildet er die Basis für die nachfolgende Suche.

Im Gegensatz zur Descending Method ist die Simulated Annealing Method in der Lage, sich aus lokalen Minima zu befreien, indem unter bestimmten Voraussetzungen auch Schritte zugelassen werden, die zu einer schlechteren Gesamtlösung führen. Allerdings führen Simulated Annealing Algorithmen in der Praxis nicht in endlicher Zeit zum absoluten Optimum.

Im Fall der Optimierung der Zuordnung der Wagen zu den Zugfahrten wird im Rahmen des Simulated Annealing Verfahrens die Anzahl der Zugfahrten auf den Linien variiert.¹⁵¹ Dabei werden unter bestimmten Randbedingungen auch Lösungen mit höheren Kosten akzeptiert und für die weitere Optimierung verwendet.

Tabu Suche

Die Tabu-Suche beginnt, wie andere lokale Suchverfahren ebenfalls mit einer zulässigen Lösung und untersucht die Nachbarschaft dieser Lösung. Im Gegensatz zur Descending Method gibt es dabei jedoch Einschränkungen bei den zulässigen Schritten. Es sind nur Schritte zulässig, die nicht in einer Tabu-Liste gespeichert sind.

Die Tabu-Liste umfasst die letzten T durchgeführten Schritte, wobei T die Größe der Tabu-Liste ist und in Abhängigkeit des zu lösenden Problems festgelegt werden muss. Über die Einschränkungen der Tabu-Liste ist es möglich, dass der Algorithmus ein lokales Minimum verlässt, sofern die Tabu-Liste ausreichend groß ist.

Ausgehend von einer zulässigen Lösung, wird bei der Tabu-Suche wie bei der Descending Method die beste zulässige Nachbarlösung für das Weiterrechnen verwendet.

¹⁵¹ Marin, Angel und Javier Saleron (1996)

Branch-and-Bound-Verfahren

Das Branch-and-Bound-Verfahren ist ein exaktes Verfahren, bei dem in einem Suchbaum alle möglichen Lösungen untersucht und die beste mögliche Lösung ausgewählt wird.

6.2.2.4 Bewertung der Lösungsverfahren

Die Lösungsverfahren wurden von MARIN und SALMON an unterschiedlich großen Netzen getestet und die Güte der Lösungen miteinander verglichen. Das exakte Branch-and-Bound-Verfahren ist bereits bei kleinen Netzen sehr rechenzeitintensiv und daher für größere Netze nicht geeignet. Die Descending Method liefert bei 3 von den 4 untersuchten Netzen die schlechtesten Ergebnisse. Das Verfahren bleibt offensichtlich in lokalen Minima hängen, da sich bei zunehmender Rechenzeit die Lösung nicht mehr verbessert. Bei kleinen Netzen sind die Simulated Annealing Methode und die Tabu-Suche näherungsweise gleichwertig, bei großen Netzen erzeugt jedoch die Simulated Annealing Methode, wie die in Tabelle 10 dargestellten Modellrechnungen zeigen, deutlich bessere Ergebnisse.

		Netz 1	Netz 2a ¹	Netz 2b ²	Netz 2c ³	Netz 3	Netz 4
Streckenabschnitte		9	42	42	42	182	262
Linien		6	26	26	26	58	82
Umstellbahnhöfe		6	10	10	10	39	61
Linien pro Umstellbahnhof		2,5	6,6	6,6	6,6	6,1	5,6
Nachfragerelationen		3	10	10	10	90	150
Branch-and-Bound-Verfahren	CPU-Zeit [s]	60	400	400	400		
	Lösung [GE]	9.990	163.938	55.111	123.151		
Descending Method	CPU-Zeit [s]	20	150	100	150	21.600	43.200
	Lösung [GE]	10.370	181.216	56.616	141.216	27.663	485.067
Simulated Annealing Method	CPU-Zeit [s]	20	500	500	500	21.600	43.200
	Lösung [GE]	9.990	175.856	56.797	136.346	26.840	475.896
Tabu-Suche (Tabu-Liste 8 Schritte)	CPU-Zeit [s]	10	150	150	200	21.600	43.200
	Lösung [GE]	10.370	175.677	56.547	135.677	28.450	503.918
Tabu-Suche (Tabu-Liste 3 Schritte)	CPU-Zeit [s]	10	100	60	100		
	Lösung [GE]	10.370	174.595	56.677	134.595		
Fußnoten:							
¹ ohne Anfangsbestand an Zügen. Investitionskosten werden berücksichtigt.							
² Die Zahl der Züge ist groß genug, um die Nachfrage zu decken. Investitionskosten fallen nicht an							
³ Die Zahl der Züge ist nicht groß genug um die Nachfrage zu decken. Investitionskosten werden berücksichtigt							

Tabelle 10 Vergleich der Rechenzeiten und Ergebnisse der unterschiedlichen Optimierungsverfahren für Eisenbahngüterverkehrsnetze. (Das für ein bestimmtes Netz jeweils beste Verfahren ist grün markiert)

6.2.3 Verfahren der Liniennetzoptimierung des öffentlichen Verkehrs

Ziel der Linienplanung und Liniennetzoptimierung des öffentlichen Personennahverkehrs ist es, trotz eingeschränkter räumlicher und zeitlicher Verfügbarkeit diese Verkehrsmittel einem möglichst großen Nutzerkreis optimal verfügbar zu machen.¹⁵² Zu diesem Zweck muss das Angebot hinsichtlich seiner räumlichen, mengenmäßigen und zeitlichen Gestaltung der Nachfrage angepasst und optimiert werden.

Hinsichtlich der eingeschränkten Verfügbarkeit und der Optimierungsnotwendigkeit bestehen durchaus Parallelen zwischen dem öffentlichen Nahverkehr und dem Eisenbahngüterverkehr. Allerdings bestehen Unterschiede hinsichtlich der Netzgestaltung. Das Eisenbahngüterverkehrsnetz besteht ausschließlich aus Direktverbindungen zwischen zwei Knoten ohne weitere Zwischenhalte, während im öffentlichen Nahverkehr eine Linienbildung stattfindet, bei der die Aneinanderreihung von mehreren Verbindungen zwischen jeweils zwei Knoten zu einer Linie den Regelfall darstellt.

Für die Liniennetzoptimierung werden folgende Arten von Verfahren verwendet:

- Intuitivverfahren
- Reduktionsverfahren
- Progressivverfahren
- Verkehrsstromverfahren
- Fahrtensummenverfahren

Die Progressivverfahren, Verkehrsstromverfahren und Fahrtensummenverfahren sind für eine Optimierung des Schienengüterverkehrs nicht geeignet, da sie ausschließlich die Aneinanderreihung von Strecken zu Linien optimieren. Die Intuitivverfahren und die Reduktionsverfahren lassen sich jedoch durchaus auf den Schienengüterverkehr übertragen.

6.2.3.1 Intuitivverfahren zur Liniennetzoptimierung

Das Intuitivverfahren basiert auf einer manuellen Festlegung der Strecken und Linien durch den Planer. Es erfordert ein Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten.

¹⁵² *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.) (1992)*

ten. Es eignet sich insbesondere für kleine überschaubare Netze und kleine Netzanpassungen in großen Netzen. Bei größeren Netzen empfiehlt sich eine Unterstützung durch die EDV.

Die Qualität der Ergebnisse des Intuitivverfahrens hängt sehr stark von den Kenntnissen und Erfahrungen des verantwortlichen Planers ab und führt nicht immer zu optimalen Ergebnissen.

6.2.3.2 Reduktionsverfahren zur Liniennetzoptimierung

Für das Reduktionsverfahren wird zunächst ein Maximalnetz aller befahrbarer Strecken erzeugt. Anschließend erfolgt eine Umlegung der Verkehrsstrommatrix auf dieses Maximalnetz. Dabei werden die Verkehrsströme auf den jeweils kostengünstigsten Weg im unbelasteten Netz umgelegt. Über die sich daraus ergebenden Belastungen werden die Kosten auf den einzelnen Strecken ermittelt. In einer erneuten Umlegung werden die unter den geänderten Randbedingungen kostenoptimalen Routen gesucht. Strecken mit hohen Kostensätzen werden im Routensuchalgorithmus gemieden und besitzen damit nur noch eine geringe oder gar keine Belastung mehr. Die Strecken mit geringer oder fehlender Belastung können aus dem Netz entfernt werden.

Das Reduktionsverfahren gestattet keine interaktiven Eingriffe durch den Benutzer. Durch die Eliminierung von unbelasteten Strecken aus dem Netz besteht außerdem das Risiko, dass nur ein lokales Optimum gefunden und das globale Optimum nicht erreicht wird.

6.3 Das Programmsystem SIMTEG zur Optimierung des Einzelwagenverkehrs

Die Auswirkungen einer Containerisierung auf die Produktion eines Eisenbahnverkehrsunternehmens werden mit dem Simulationsmodell SIMTEG¹⁵³ der Deutschen Bahn AG untersucht. Das Programmsystem simuliert allerdings nur den Produktionsablauf zwischen den Knotenpunkten. Die Leistungserbringung zwischen Knotenpunkt und Güterverkehrsstelle wird nicht simuliert. Daher ist zusätzlich eine getrennte Betrachtung der Auswirkungen einer Containerisierung auf die Betriebsabläufe der Zustellfahrten vom Knotenpunkt zum Satelliten

¹⁵³ DB Systemtechnik (Hrsg.) (2005)

und zum Gleisanschluss erforderlich. Zusätzlich zur Simulation werden daher die Veränderungen der Abläufe bei den Bedienfahrten untersucht. Die Simulationsergebnisse ermöglichen dann zusammen mit der Untersuchung der Gleisanschlussbedienung eine Abschätzung der Auswirkungen auf die gesamte Transportkette.

Das Programmsystem SIMTEG ist von der Railion Deutschland AG entwickelt worden, um die strategische Planung von Produktionssystemen im Einzelwagenverkehr durchzuführen. Das System bildet die komplette Produktionsstruktur des Einzelwagenverkehrs in einem Rechenmodell ab. Eine Simulation des kompletten Systems Einzelwagenverkehr ist erforderlich, da die Auswirkungen struktureller Veränderungen, die nicht nur den örtlichen Knotenpunktbahnhof-internen Verkehr betreffen, nur über eine Bewertung des Gesamtsystems Einzelwagenverkehr ermittelt werden können. Das Programmsystem ist im Rahmen einer Betrachtung des Gesamtsystems zur Behandlung folgender Einzelfragestellungen ausgelegt:

- Optimierung von Zuglängen und Zugbildung
- Optimierung der Anbindung von Aufkommenspunkten an die Zugbildungsbahnhöfe
- Optimierung der Anzahl der Zugbildungsbahnhöfe sowie deren Leistungsfähigkeiten

Ziel dieser Arbeit ist primär die Optimierung der Zugbildungsbahnhöfe bzw. Umschlagbahnhöfe und deren Leistungsfähigkeit. Die beiden anderen Optimierungen sind nur eine notwendige Voraussetzung, um diese Optimierung durchführen zu können.

6.3.1 Modellbildung und Infrastrukturdarstellung in SIMTEG

Die Infrastruktur, bestehend aus den Knotenbahnhöfen und den sie verbindenden Strecken, wird über ein Knoten-Kanten-Modell abgebildet. Die Knoten des Modells sind die (Knoten-) Bahnhöfe im Güterverkehrsnetz. Die Kanten sind die Strecken zwischen den Knotenbahnhöfen.

6.3.1.1 Knoten

Im Netzmodell werden als kleinste Einheit die Satelliten mit Rangiermittel sowie darauf aufbauend sämtliche Bahnhöfe mit Umstellfunktionen als Knoten vor-

gehalten. Eine Abbildung der einzelnen Güterverkehrsstellen erfolgt nicht. Die Behandlung der Güterverkehrsstellen im Netzmodell wird bei den Anbindungen beschrieben.

Den Knoten im Netzmodell werden folgende Daten hinterlegt:

- Die Kapazität in Wagenumstellungen pro Tag.
- Der Kostensatz pro Wagenumstellung für den jeweiligen Knoten. Der Kostensatz ist fest vorgegeben, eine auslastungsabhängige Anpassung der Kosten ist nicht möglich.
- Eine Kategorisierung der Knoten in vier Bahnhofskategorien. Die Kategorisierung dient nur der Festlegung, ob an dem betreffenden Knoten eine Fern-Fern-Umstellung möglich ist.

Die Anzahl der Knoten und die Lage der Knoten ist programmseitig im Netzmodell fest vorgegeben und kann vom Benutzer nicht verändert werden. In SIMTEG sind 225 Knoten vorhanden, die sich benutzerdefiniert auf vier Bahnhofskategorien aufteilen lassen. Der Benutzer kann keine zusätzlichen Knoten einfügen. Allerdings können bei der Modellrechnung vorgegebene Knoten durch Veränderung der Bahnhofskategorie für bestimmte Umstellvorgänge gesperrt werden, um alternative Szenarien mit einer geringeren Anzahl von Knotenbahnhöfen zu rechnen.

Im Rahmen der Simulation kann die Modellbildung mit festen, nicht von der Auslastung der Umschlagbahnhöfe abhängigen Kostensätzen für die Umstellungen problematisch werden. Die hohen auslastungsunabhängigen Fixkosten bei Rangierbahnhöfen und Umschlaganlagen führen bei Anlagen mit geringer Auslastung zu ergebnisrelevanten Steigerungen der Kosten pro Umschlag, die aufgrund der Modellbildung in der Simulationsrechnung nicht berücksichtigt werden.

Um die daraus resultierenden Fehler zu reduzieren, wird bei den Modellrechnungen ein iteratives Verfahren angewendet, bei dem die Kostensätze manuell angepasst werden. Dabei werden nach einem Rechenlauf die Kostensätze für den Umschlag entsprechend der aktuellen Auslastung des jeweiligen Knotenpunktes angepasst. Anschließend wird mit den neuen Kostensätzen eine weitere Modellrechnung durchgeführt. Bei diesem Vorgehen nähert man sich asymptotisch dem Grenzwert für die tatsächlichen Kosten an. Daher muss die Iteration so lange fortgeführt werden bis die Veränderung der Kostensätze zwischen

zwei aufeinander folgenden Simulationsläufen eine vorher definierte Größe nicht mehr übersteigt. Allerdings ist eine solche Vorgehensweise mit der derzeitigen Programmversion sehr zeitaufwändig, da die neuen Kostensätze vor jedem Simulationslauf von Hand eingegeben werden müssen.

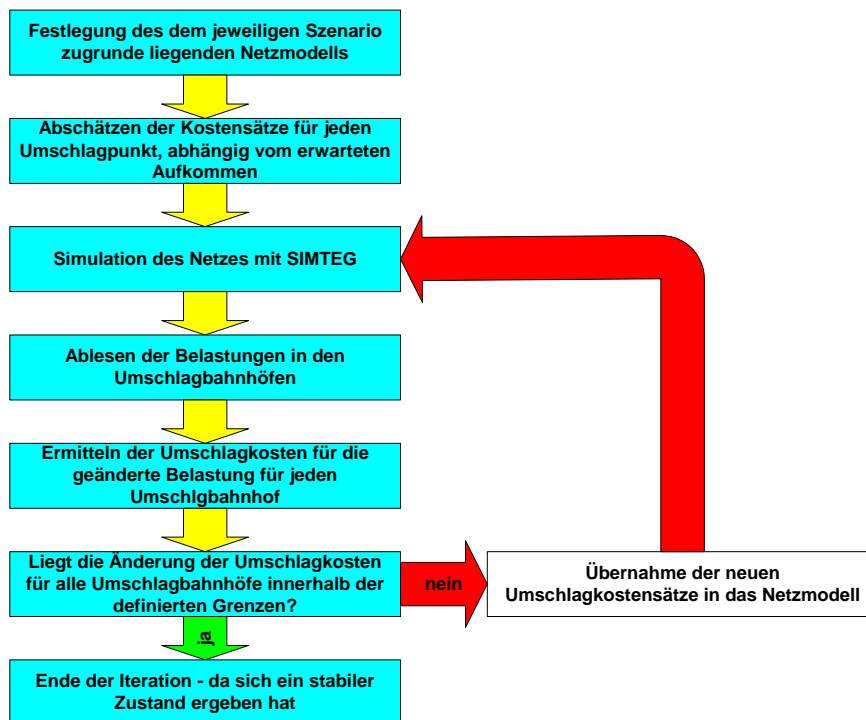


Abbildung 41 Iteratives Vorgehen zur Berücksichtigung auslastungsabhängiger Kostenveränderungen in den Knotenpunkten.

6.3.1.2 Kanten

Im Modell können grundsätzlich alle möglichen Verbindungen zwischen zwei Knoten als Kanten definiert werden. Allerdings sind im tatsächlichen Netzmodell von vorne herein nur diejenigen Kanten vorgesehen, die eine Verkehrsbelastung besitzen. Kanten, die keine Verkehrsbelastung besitzen, sind im Netzmodell für die Optimierung nicht vorhanden. Das Netzmodell verzichtet auf eine topographische Modellierung des Streckennetzes. Allerdings werden die Kanten getrennt für Hin- und Rückrichtung mit ihren Distanzen, basierend auf den realen Entfernungen im Streckennetz, bewertet.

6.3.1.3 Anbindungen und Einspeisepunkte

Die Einspeisung des Wagenaufkommens erfolgt an den Güterverkehrsstellen, die unmittelbar einem Satelliten mit Rangiermittel (Netznoten im Netzmodell) zugeordnet werden. Eine Modellierung dieser Anbindung mit den tatsächlich vor

Ort vorhandenen Verhältnissen erfolgt nicht. Die Anbindungen sind mit netzweit einheitlichen durchschnittlichen Entfernungen und damit mit einem netzweit einheitlichen durchschnittlichen Kostensatz attribuiert.

Diese Vorgehensweise ist problematisch, da sie die im Einzelfall sehr unterschiedlichen Entfernungen zwischen jeder einzelnen Güterverkehrsstelle und dem jeweils im Netzmodell zugeordneten Netzknoten nicht berücksichtigt. Regional differenzierte Aussagen sind damit nicht möglich, obwohl beispielsweise zu erwarten ist, dass im ländlichen Raum aufgrund der geringeren Knotendichte höhere mittlere Entfernungen zu den Knoten auftreten werden.

6.3.2 Kostenmodell in SIMTEG

Das Kostenmodell berücksichtigt über die in Tabelle 11 dargestellten Kostensätze hinaus, die in den einzelnen Teilen der Produktionserstellung entstehenden Kostenkomponenten:

Produktionsprozess	Berücksichtigte Kosten	Einheit
Sammelverkehre von Satelliten	werden im Modell nicht berücksichtigt	
Zugbildung Nah-Fern	Mietkosten für Wagen Umstellkosten für Wagen	€/h*Wagen €/Wagen
Zugfahrt (Fern)	Mietkosten für das Triebfahrzeug Mietkosten für Wagen Trassenkosten Energiekosten	€/h*Lok €/h*Wagen €/(Zugkm) €/(1000 tkm)
Fern-Fern-Umstellung (fakultativ)	Mietkosten Wagen Umstellkosten Zugfahrt-Vorbereitungskosten	€/h*Wagen €/Wagen €/Wagen
Fern-Nah-Zugbildung	Mietkosten für Wagen Umstellkosten	€/h*Wagen €/Wagen
Verteilung auf die Satelliten	werden im Modell nicht berücksichtigt	

Tabelle 11 Produktionskostenkomponenten im SIMTEG-Modell

Die Kosten für das Sammeln und Verteilen der Wagen im Nahbereich bleiben im Modell unberücksichtigt. Diese Vorgehensweise ist bei der Simulation des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs unproblematisch, da diese Kosten unabhängig von der Produktionsstruktur immer im selben Umfang anfallen und damit für einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Produktionsstrukturen nicht berücksichtigt werden müssen. Für die Simulation eines alternativen Produktions-

konzepts, wie es der containerisierte Einzelwagenverkehr darstellt, können sich allerdings Veränderungen bei den Kosten für das Sammeln und Verteilen ergeben. Diese werden hier jedoch, bedingt durch die Möglichkeiten des Programmsystems, vernachlässigt.

Tendenziell sind bei der Gleisanschlussbedienung im containerisierten Einzelwagenverkehr allerdings höhere Kosten zu erwarten als im herkömmlichen Einzelwagenverkehr, weil für dieselbe Transportmenge eine größere Anzahl an Wagen erforderlich ist. Ein Teil der Mehrkosten kann durch die zusätzliche Flexibilität der Container kompensiert werden. Die genauen Mehrkosten müssen aber in einer getrennten Detailuntersuchung ermittelt werden.

6.3.3 Optimierungsalgorithmus von SIMTEG

SIMTEG verwendet zur Netzoptimierung eine Kombination der aus der Liniennetzoptimierung des öffentlichen Nahverkehrs bekannten Intuitivverfahren und Reduktionsverfahren.

Zu Beginn der Simulation muss der Benutzer Parameter für die Netzgestaltung, wie beispielsweise die Zuordnung der Bahnhöfe zu Bahnhofskategorien oder Einschränkungen in der Netzgestaltung, wie festgelegte Anbindungen bestimmter Bahnhöfe an andere Bahnhöfe intuitiv festlegen. Da diese Festlegungen das spätere Simulationsergebnis maßgebend beeinflussen, erfordern die Festlegungen entsprechende Kenntnisse des Programmبنutzers hinsichtlich der örtlichen Verhältnisse.

Nach der Festlegung der Parameter für die Netzgestaltung optimiert das Programmsystem das Netz mit Hilfe eines Reduktionsverfahrens. Es werden nach bestimmten Kriterien Strecken aus dem Gesamtnetz entfernt und die über diese Strecken verlaufenden Verkehre auf die im Netz verbleibenden Strecken umgelegt. Dabei wird für die Suche von Nachbarlösungen ein reines Verbesserungsverfahren verwendet. Damit besitzt der Algorithmus von SIMTEG zwar sehr kurze Rechenzeiten. Aber er kann sich nicht mehr aus lokalen Minima befreien.

6.3.4 Möglichkeiten zur Netzgestaltung in SIMTEG

Das Programmsystem ermöglicht es dem Benutzer, vorab Randbedingungen hinsichtlich der Netzgestaltung festzulegen. Dies sind:

- Zuordnung der Bahnhöfe zu Bahnhofskategorien,
- Anbindung von Bahnhöfen,
- Festlegung von Vorrangkanten und
- Einrichtung von Wegzweigen.

6.3.4.1 Zuordnung der Bahnhöfe zu Bahnhofskategorien

Mit Hilfe der Zuordnung der Bahnhöfe zu Bahnhofskategorien lassen sich die Aufgaben von Bahnhöfen beschreiben und Einschränkungen in der Simulation vornehmen. SIMTEG unterscheidet die in Tabelle 12 dargestellten 4 Bahnhofskategorien.

Bahnhofskategorie	Zulässige Umstellvorgänge
Kategorie 1	Fern-Fern Fern-Nah Nah-Nah
Kategorie 2	Fern-Nah Nah-Nah
Kategorie 3	Nah-Nah
Kategorie 4	Keine Umstellungen möglich

Tabelle 12 Bahnhofskategorien und ihre Aufgaben im SIMTEG-Modell

Die Zuordnung der Bahnhöfe zu Bahnhofskategorien beeinflusst die Ergebnisse der Routensuchen, da auf einer Route nur einmal ein Wechsel von einer absteigenden zu einer aufsteigenden Folge von Bahnhofskategorien zulässig ist und eine Kette von mehr als zwei Bahnhöfen derselben Kategorie nicht zulässig ist. Beispiele für zulässige und unzulässige Reihungen von Bahnhofskategorien sind in Abbildung 42 dargestellt.

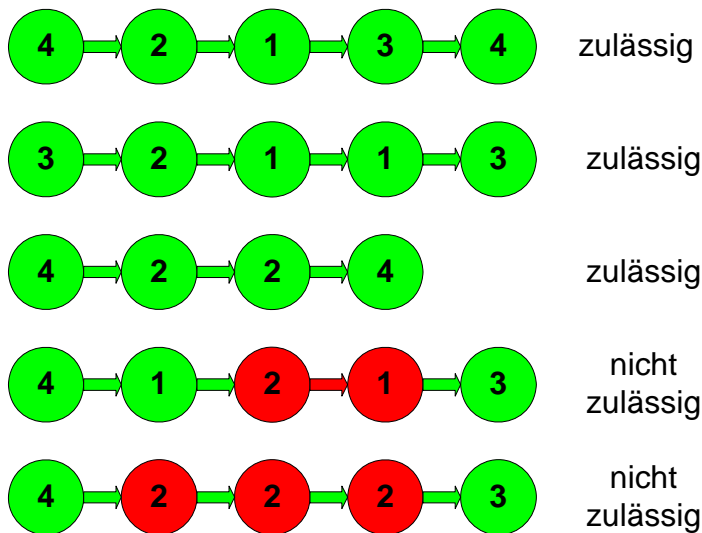


Abbildung 42 Beispiele für in SIMTEG zulässige und unzulässige Reihenfolgen von Bahnhofskategorien (rot dargestellt sind nicht zulässige Reihenfolgen von Bahnhofskategorien)

6.3.4.2 Anbindung von Bahnhöfen

Mit Hilfe der Anbindung von Bahnhöfen an andere Bahnhöfe lassen sich die Aufkommen von nahe beieinander liegenden Bahnhöfen zusammenfassen. Das Aufkommen des angebotenen Bahnhofs wird dem Bahnhof zugeschlagen, an den angebinden wird. Bei der Simulation bleiben die Wegekosten zwischen den beiden Bahnhöfen unberücksichtigt.

6.3.4.3 Festlegung von Vorrangkanten

Vorrangkanten sind Kanten, die im Rahmen der Simulation unabhängig von ihrer Belastung auf jeden Fall im Modell bleiben müssen und mit mindestens einer Zugfahrt bedient werden. Mit Hilfe der Vorrangkanten lassen sich feste Netzbildungen erzeugen. So kann beispielsweise sichergestellt werden, dass Bahnhöfe der Kategorie 1 auf jeden Fall untereinander mit Direktzügen verbunden werden.

6.3.4.4 Einrichtung von Wegzwängen

Mit Hilfe von Wegzwängen lassen sich Vorgaben für die Routenwahl innerhalb des Netzes machen. Bei einem Wegzwang wird für einen Bahnhof vorgegeben, dass dessen Aufkommen auf jeden Fall über einen anderen Bahnhof abgefahren werden muss. Durch die Aneinanderreihung von Wegzwängen lassen sich beispielsweise bestimmte Linienbildungen simulieren.

6.3.5 Datenhaltung in SIMTEG

6.3.5.1 Verkehrsaufkommensmatrix (Originalmatrix)

Das Verkehrsaufkommen wird für jede mögliche Knoten-Knoten-Relation in einer Matrix, der so genannten Originalmatrix, gespeichert. Die Verkehrsmengen für jede Knoten-Knoten-Relation ist die Summe der Verkehrsmengen zwischen den an den beiden betrachteten Knoten angebotenen Güterverkehrsstellen. Zu Beginn der Simulation werden alle Knoten-Knoten-Relationen über Direktverbindungen bedient. Die Simulation nimmt eine Bündelung und Optimierung der Verkehre vor.

Die Originalmatrix enthält keine Daten über die zeitlichen Randbedingungen, wie zum Beispiel die frühesten möglichen Abfahrtszeiten der einzelnen Wagen an den Güterverkehrsstellen. Eine Berücksichtigung von zeitlichen Randbedingungen ist daher bei der Simulation nicht möglich. Bei der Bündelung kann im Prinzip jede Relation an jedem im Netzmodell vorhandenen Knoten gebrochen werden und auf die über diesen Knoten führende Relation mit Umstellen gelegt werden.

6.3.5.2 Iterationsmatrix

Die Iterationsmatrix ist eine Arbeitsmatrix, in der alle Veränderungen vorgenommen werden. Am Ende der Simulation ist das Ergebnis der Iterationsmatrix zu entnehmen.

In der Iterationsmatrix wird das Aufkommen aller Knoten-Knoten-Relationen vorgehalten. Die Optimierung geschieht durch die Auflösung von Direktverbindungen in Verbindungen mit Umstellung an Zwischenknoten. In der Iterationsmatrix wird dann dem Feld für die aufgelöste Direktverbindung der Wert 0 zugewiesen und das Aufkommen für die beiden Verbindungen Startknoten-Zwischenknoten und Zwischenknoten-Endknoten zu dem auf diesen Verbindungen vorhandenen Aufkommen addiert.

6.3.5.3 Umstellungsmatrix

In der Umstellungsmatrix werden für jede Verbindung mit Umstellung die Umstellknoten gespeichert.

Beispiel: Zwei Optimierungsschritte

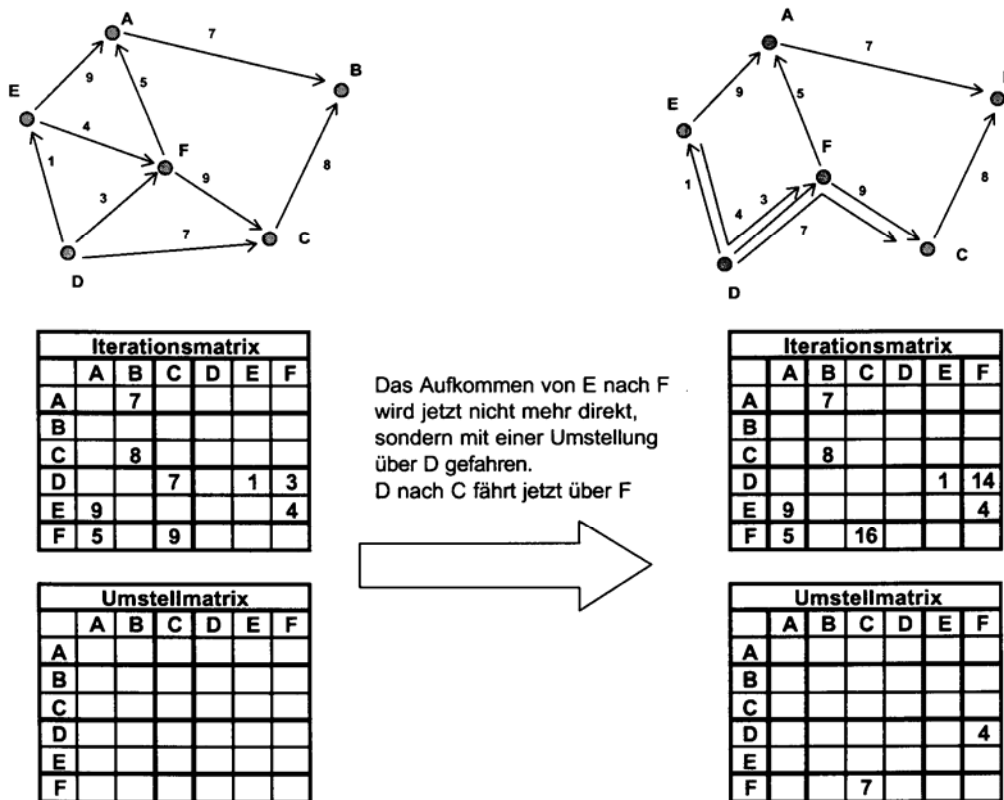


Abbildung 43 Beispiel für die Optimierung in SIMTEG und die Darstellung in der Iterations- und Umstellungsmatrix (SIMTEG-Handbuch)¹⁵⁴

6.3.5.4 Kostenberechnung auf den Kanten

Die Gesamtkosten auf einer Kante bestehen aus den Zugbildungskosten für die Nah-Fern-Umstellung, den Zugbildungskosten für die Fern-Fern-Umstellung, den Zugfahrtvorbereitungskosten und den Kosten für die Zugfahrt.

6.3.6 Ausgabeoptionen für das Simulationsergebnis

Das Programm kann folgende Daten ausgeben:

Für jeden Knoten:

- Anzahl der Wagen im Versand und Empfang
- Anzahl der umgestellten Wagen und Wagengruppen
- Auslastung des Knotens
- Die Laufwege aller Relationen, die den jeweiligen Knoten berühren.

¹⁵⁴ Quelle: DB Systemtechnik (Hrsg.) (2005)

Für den gesamten simulierten Raum:

- Anzahl der Zugbildungen, Wagen und Züge
- Anzahl der durchgeführten Umstellungen
- Summe der Zugkilometer, der Wagenkilometer, der Zug- und der Wagenzeiten
- Kosten für Triebfahrzeuge, Personal, Energie, Trassen, Wagen und Zugbildung
- Gesamtkosten und spezifische Gesamtkosten.

Weiterhin können alle Aufkommensmatrizen und eine Leitwegdatei für Auswertungen ausgelesen werden.

6.3.7 Ablauf der Optimierung in SIMTEG

Der Ablauf der Optimierung sieht folgendermaßen aus:

1. Auswahl der spezifisch teuersten, noch nicht bearbeiteten Kante.
2. Ermittlung aller Relationen, die über die ausgewählte Kante verlaufen.
3. Entfernen aller dieser Relationen aus den Netzbelastungen.
4. Festlegen einer Reihenfolge, in der die Relationen auf das Netz umgelegt werden, diese hängt von der Anzahl der bereits gerechneten Optimierungsläufe ab. Die Reihung erfolgt entweder in aufsteigender Quelle-Ziel-Distanz oder nach absteigender Wagenzahl.
5. Es erfolgt die Umlegung der Relationen auf den jeweils kostengünstigsten Weg.
6. Ermittlung der Gesamtkosten unter Verwendung der neuen Routen.
7. Sofern sich die Gesamtkosten reduzieren, werden die neuen Routen beibehalten. Anderenfalls werden sie verworfen.
8. Die bearbeitete Kante wird als bearbeitet markiert. Die Kanten, deren Aufkommen sich verändert hat, werden als unbearbeitet markiert. Sofern noch nicht alle Kanten als bearbeitet markiert sind, wird die Optimierung bei Punkt 1 fortgesetzt.

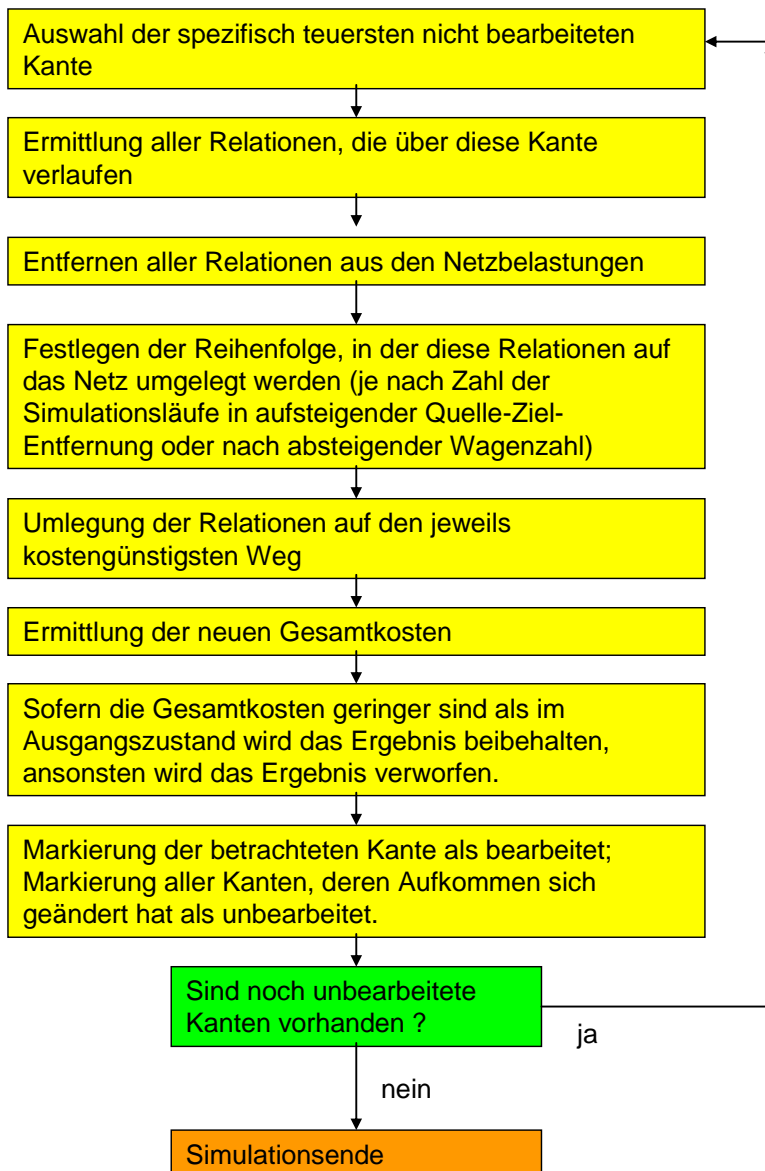


Abbildung 44 Schematische Darstellung des Simulationsablaufs in SIMTEG

6.4 Bewertung des Algorithmus in SIMTEG

Um die Ergebnisse der Simulationsrechnungen mit SIMTEG beurteilen zu können und deren Aussagefähigkeit abschätzen zu können, erfolgt zunächst eine Bewertung des in SIMTEG verwendeten Optimierungsalgorithmus und der im Rahmen der Optimierung gefundenen Lösungen. Der SIMTEG-Algorithmus führt in der Regel nicht zum Auffinden des globalen Kostenoptimums bei der Netzgestaltung. Da es sich bei dem SIMTEG-Algorithmus, wie bereits dargestellt, um ein reines Verbesserungsverfahren handelt, wird der Algorithmus in der Mehrzahl der Fälle nur ein lokales Minimum finden. Neben dem generellen Problem der reinen Verbesserungsverfahren, lokale Minima nicht verlassen zu können, werden durch die Datenmodellierung und den Simulationsablauf von

vornherein bestimmte Lösungen ausgeschlossen. Drei wichtige Gründe für das Verhalten von SIMTEG werden nachstehend anhand von einfachen Netzmodellen kurz erläutert und es werden Lösungsansätze für diese Probleme kurz skizziert:

- Fehlen von nicht nachgefragten Relationen im Netzmodell
- Löschen von Strecken im Rahmen des Optimierungsverlaufes
- Zu hohe Kosten für schwach nachgefragte Relationen.

6.4.1 Fehlen von nicht nachgefragten Relationen im Netzmodell

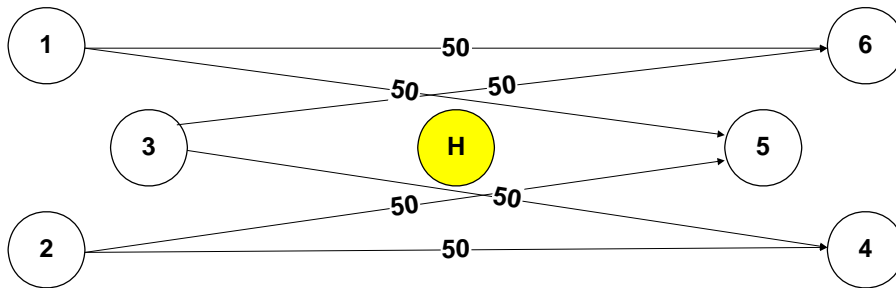
Wie bereits dargestellt, werden im SIMTEG-Netzmodell nur diejenigen Kanten vorgehalten, die über eine Belastung verfügen. Damit werden jedoch von vornherein bestimmte Lösungen für die Optimierung ausgeschlossen. Abbildung 45 zeigt ein einfaches Netzbeispiel, an dem dieses Problem dargestellt und erläutert werden soll. Das Ausgangsnetz besteht aus sechs Bahnhöfen als Knoten, von denen jeweils drei in einer Ausgangs- bzw. Zielregion nah beieinander liegen, sowie einem zentralen Knoten als potenziellen Standort für einen Megahub. Die nachgefragten Relationen, die als Kanten im SIMTEG-Netzmodell vorgehalten werden, sind sämtlich überregional. Das Programmsystem kann bei diesem Umladeproblem keine Optimierung durchführen, da SIMTEG in einem derartigen Netzmodell keine alternativen Routen findet.

Dennoch lassen sich bereits intuitiv zwei Lösungsalternativen ermitteln, die mit großer Wahrscheinlichkeit zu geringeren Kosten führen als das Ausgangsnetz. Eine Alternative ist die in Variante 1 dargestellte Einrichtung eines zentralen Hubs im Knoten H. Die Verkehre werden sämtlich über den zentralen Hub gefahren und dort umgeladen. Eine andere Möglichkeit (Variante 2) ist die Bündelung der Verkehre in der Ausgangsregion in einem Knoten, die Direktbedienung von diesem Knoten zu einem Knoten in der Zielregion und die Verteilung der Verkehre von diesem Zielknoten aus. Beide Lösungsalternativen würden von SIMTEG nicht gefunden werden.

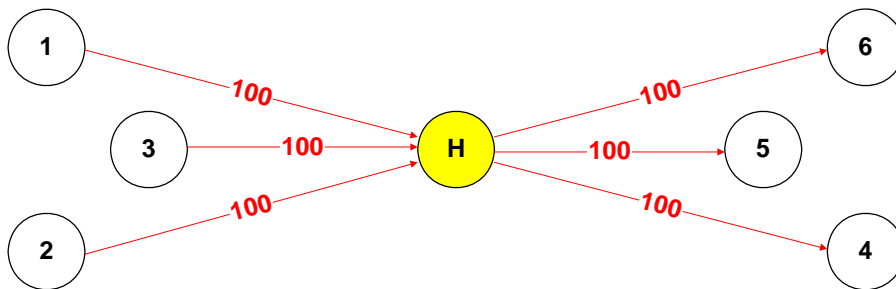
In der praktischen Anwendung von SIMTEG tritt dieses Problem nur in abgeschwächter Form auf, da zumindest bei Simulationsbeginn ein großer Teil der Relationen zwischen den Bahnhöfen im Netz mit einer Belastung versehen ist und daraus resultierend ein großer Teil der Kanten im Netzmodell vorhanden ist. Dieses gilt insbesondere für die als Standorte der Megahubs vorgesehenen Rangierbahnhöfe. So besitzt der Bahnhof Gremberg eine Belastung auf 123

von 139 potenziell möglichen Verbindungen. Für die zentralen Knoten ist damit nur eine begrenzte Menge möglicher Lösungen ausgeschlossen. Bei Bahnhöfen mit geringem Aufkommen ist jedoch der Lösungsraum stark eingeschränkt. So besitzt der Bahnhof Aalen nur auf 32 von 139 potenziellen Relationen eine Belastung.

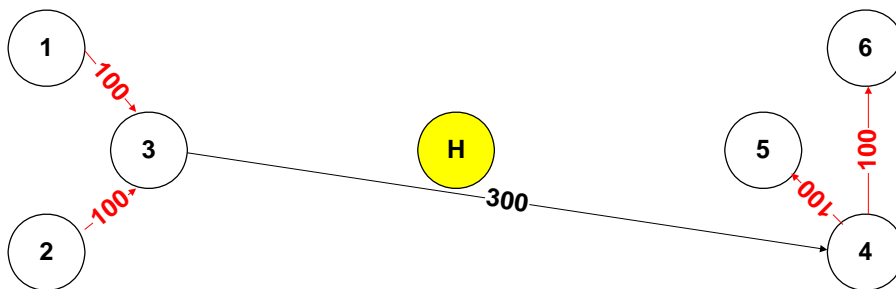
Ausgangsnetz



Variante 1 (Hub)



Variante 2 (Korridor)



Legende





-  Knoten mit Nummer
-  möglicher zentraler Hub
-  Kante mit Belastung - nicht vorhanden im SIMTEG-Netzmodell
-  Kante mit Belastung - vorhanden im SIMTEG-Netzmodell

Abbildung 45 Netzbeispiel für das Nichtauffinden einer optimalen Lösung wegen fehlender Kanten im SIMTEG-Netzmodell

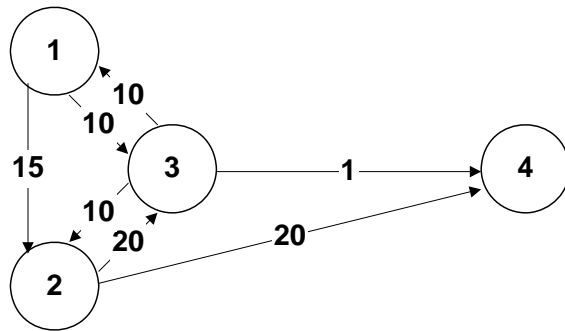
Optimierung des Suchalgorithmus durch eine Korridorsuche

Eine Möglichkeit, das Fehlen bestimmter Kanten im Netzmodell zu kompensieren, ist eine Veränderung des Suchalgorithmus, bei dem zunächst alle möglichen, das heißt auch die nicht belasteten Kanten im Netzmodell vorgehalten werden. Da eine enumerative Suche über alle Kanten aus Rechenzeitgründen nicht sinnvoll erscheint, muss die Menge der möglichen Lösungen durch eine Heuristik eingeschränkt werden. Eine mögliche Variante für die Heuristik wäre es, abhängig von der jeweils untersuchten Kante einen räumlichen Lösungskorridor zu definieren. In diesem Korridor wird dann enumerativ geprüft, inwiefern der aktuell betrachtete Verkehr mit anderen Verkehren bündelungsfähig ist. Dabei werden auch alle unbelasteten Kanten in die Routensuche einbezogen. Diese Vorgehensweise würde im Beispiel von Abbildung 45 zu Lösungen führen, die Variante 2 ähnlich sind. Da bei dieser Optimierung keine Zufallsprozesse verwendet werden, führt sie ebenso wie der SIMTEG-Algorithmus zu eindeutigen, reproduzierbaren Lösungen.

6.4.2 Löschen von Strecken im Rahmen des Optimierungsverlaufes

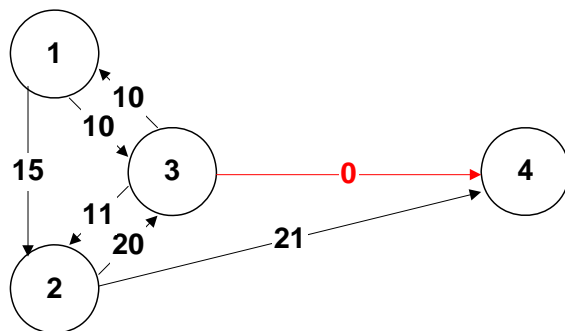
Der beschriebene iterative Optimierungsprozess in SIMTEG löscht im Rahmen der Bündelung von Verkehren Kanten, die keine Belastung mehr haben. Die Auswahl der zu löschenden Kanten ist anhängig von Bearbeitungsreihenfolge der Kanten. Damit kann der Fall eintreten, dass im Rahmen der Simulation Kanten gelöscht werden, die in einem späteren Simulationsschritt im Netzmodell vorhanden sein müssten, um eine Verbesserung des Ergebnisses zu erzielen. Ein Beispiel für dieses Problem ist in Abbildung 49 dargestellt.

Ausgangszustand



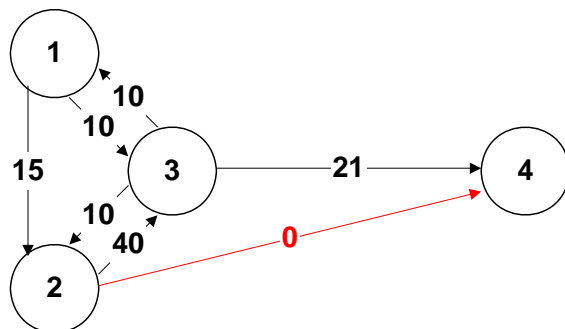
Belastung					Gesamtkosten (50 + Länge * Belastung)				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1		15	10		1		65	60	
2			20		2			70	130
3	10	10		1	3	60	60		53
4					4				
					Summe	498			
Routenwahl (über Knoten)					Kosten je Wagen				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1					1		4,3	6,0	
2					2			3,5	6,5
3					3	6,0	6,0		53,0
4					4				

Lösung bei Optimierung mit SIMTEG



Belastung					Gesamtkosten (50 + Länge * Belastung)				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1		15	10		1		65	60	
2			20	21	2			70	134
3	10	11		0	3	60	61		
4					4				
					Summe	450			
Routenwahl (über Knoten)					Kosten je Wagen				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1					1		4,3	6,0	
2					2			3,5	6,4
3				2	3	6,0	5,5		
4					4				

bessere Lösung - wird von SIMTEG nicht gefunden



Belastung					Gesamtkosten (50 + Länge * Belastung)				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1		15	10		1		65	60	
2			40	0	2			90	
3	10	10		21	3	60	60		113
4					4				
					Summe	448			
Routenwahl (über Knoten)					Kosten je Wagen				
von/nach	1	2	3	4	von/nach	1	2	3	4
1					1		4,3	6,0	
2				3	2			2,3	
3					3	6,0	6,0		5,4
4					4				

Legende



Knoten mit Nummer



Kante mit Belastung

Kantenlängen				
von/nach	1	2	3	4
1		1	1	4
2			1	1
3	1	1	1	3
4	4	4	3	

Abbildung 46 Ablauf der Optimierung bei SIMTEG und mögliche optimale Lösung bei einem einfachen Netzmodell (rot dargestellte Kanten werden bei SIMTEG im Rahmen der Optimierung gelöscht)

Die von MARIN und SALERON untersuchte Simulated Annealing Method oder die Tabu-Suche können das Problem vermeiden, indem dort auch bereits aus dem Netzmodell entfernte bzw. im Netzmodell gar nicht vorhandene Kanten wieder aktiviert werden können. Diese Algorithmen besitzen gegenüber dem in SIMTEG verwendeten Algorithmus jedoch andere Nachteile. Die Simulated Annealing Method führt aufgrund der Verwendung von Zufallsprozessen im Rahmen der Simulation zu nicht eindeutigen und nicht reproduzierbaren Ergebnissen. Unter denselben Startbedingungen kann die Simulated Annealing Method zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Bei der Tabu-Suche ist, wie bei dem in SIMTEG verwendeten Algorithmus, nicht in jedem Fall sicher gestellt, dass sich das System aus einem lokalen Minimum befreit. Weiterhin ist zu beachten, dass sowohl die Simulated Annealing Method als auch die Tabu-Suche deutlich längere Rechenzeiten benötigen als der bei SIMTEG verwendete Algorithmus.

6.4.3 Zu hohe Kosten für schwach nachgefragte Relationen

In der Nachfragematrix für SIMTEG verfügt ein großer Teil der Relationen nur über eine Belastung von weniger als einem Wagen bzw. einer TEU pro Tag. Im Rahmen der SIMTEG-Optimierung erfolgt für diese Kanten die Kostenberechnung für eine Zugfahrt mit weniger als einem Wagen bzw. weniger als einer TEU. Damit werden jedoch die fixen Kosten einer Zugfahrt auch auf weniger als einen Wagen aufgeteilt.

Zum Beispiel werden für eine Relation mit einer Belastung von 0,5 Wagen/Tag und Kosten von 400 Euro für die Zugfahrt bei SIMTEG spezifische Kosten pro Wagen von $400 \text{ Euro} / 0,5 \text{ Wagen}$ entsprechen 800 Euro/Wagen berechnet. In der Realität wird diese Relation jedoch nur alle 2 Tage mit einem ganzen Wagen bedient, so dass dort maximal Kosten von 400 Euro pro Wagen auftreten können. Die spezifischen Kosten pro Wagen sind daher für alle Kanten entsprechend der spezifischen Kosten für die Zugfahrt mit einem Wagen nach oben hin zu beschränken. Höhere spezifische Kosten pro Wagen können in der Realität nicht auftreten.

Die überhöhten Kosten, die SIMTEG für diese Relation ermittelt, führen bei der Umlegung dazu, dass diese Relation gemieden wird und versucht wird, die über diese Relation fahrenden Wagen auf andere Relationen umzulegen. Wenn man die realen Kosten zugrunde legen würde, könnte sich jedoch ergeben, dass sogar weitere Verkehre auf dieser Relation gebündelt werden können.

Um diesen Fehler in der Kostenmodellierung zumindest zu verringern, sollten daher die spezifischen Kosten pro Wagen auf einer Relation mit weniger als einem Wagen pro Tag auf die spezifischen Kosten eines Zuges mit einem Wagen beschränkt werden. Ergänzend kann man auch allen Kanten, die keine Belastung bzw. Nachfrage besitzen, diesen spezifischen Kostensatz pro Wagen zuordnen. Damit würden diese Kanten im Netzmodell vorgehalten werden und die Möglichkeit, dass durch Bündelung von Verkehren auf schwach oder gar nicht nachgefragten Kanten eine Verbesserung erzielt wird, würde grundsätzlich erhalten bleiben.

In einem weiteren Schritt wäre zu prüfen, ob es sinnvoll ist, nicht ganzzahlige Aufkommenswerte in der Nachfragematrix als Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einer Nachfrage zu werten. Abhängig von dieser Wahrscheinlichkeit wird dann im Rahmen eines Monte-Carlo-Prozesses für jede Relation entweder eine Nachfrage von einem ganzen Wagen bzw. einer ganzen TEU erzeugt oder die Nachfrage auf 0 gesetzt. Der Vorteil wäre eine bessere Abbildung der realen Nachfrage, die nur in ganzen Einheiten erfolgen kann.

Von Nachteil für das Simulationsergebnis wäre allerdings die Einführung von Zufallsprozessen bei der Erzeugung der Aufkommensdatei für die Simulation, die zu nicht reproduzierbaren Simulationsergebnissen führt. Außerdem könnten durch diesen Zufallsprozess in der Realität nachgefragte Relationen in der Aufkommensdatei gelöscht werden, so dass für diese keine Route gesucht wird. Ein darauf aufbauend erzeugtes Netz wird für diese Relationen keine Route enthalten.

6.4.4 Bewertung der Ergebnisse aus SIMTEG

Das Programmsystem SIMTEG bearbeitet, wie bereits beschrieben, bei der Optimierung die Kanten in absteigender Kostenfolge. Das bedeutet, dass die spezifisch teuerste Kante zuerst bearbeitet wird. Damit werden zu Beginn der Simulation nur Kanten mit sehr geringen Aufkommen und damit auch sehr geringem Bündelungspotenzial bearbeitet und ggf. gelöscht. Kanten mit hohem Aufkommen (und hohem Bündelungspotenzial) bleiben im Netzmodell erhalten. Damit ist der Fehler, der durch das frühzeitige Löschen von Kanten aus dem Netzmodell entsteht, noch beherrschbar. Das Programm ist zwar aufgrund seines Algorithmus für eine detaillierte Festlegung von Standorten für Umschlagpunkte weniger geeignet, es kann aber für eine vergleichende Beurteilung von

Produktionssystemen durchaus verwendet werden. Allerdings sollten dabei folgende Einschränkungen beachtet werden:

- Die im Algorithmus bedingte Schwankungsbreite der Lösungen bei gleichen Randbedingungen kann aus den Kostenschwankungen in Abhängigkeit des Umwegfaktors abgeschätzt werden (vgl. Abbildung 49). Die Bandbreite der dort erzeugten Lösungen ist durch die Mängel des Algorithmus bedingt. Ein optimal arbeitender Algorithmus muss bei zunehmendem Umwegfaktor das selbe oder ein besseres Ergebnis erzeugen, da der Lösungsraum durch die Vergrößerung des zulässigen Umwegfaktors erweitert wird. Insofern kann die Bandbreite der Ergebnisschwankungen von bis zu 3 % als Anhaltspunkt für die durch den Algorithmus bedingte Abweichung vom Optimum verwendet werden. Bei Produktionssystemen und Netzstrukturen, deren Kosten sich nur geringfügig voneinander unterscheiden, ist aufgrund der Schwankungsbreite der Ergebnisse eine belastbare Aussage, welches Produktionssystem besser ist, nicht möglich.
- Um bei der Untersuchung der Lage potenzieller Umschlagpunkte zu vermeiden, dass eine Vielzahl von Relationen von vorneherein ausgeschlossen wird, sollte der Bahnhof einer Region als Umschlagpunkt gewählt werden, der das höchste Eigenaufkommen an Wagen bzw. TEU und die größte Anzahl an nachgefragten Relationen besitzt. Damit lässt sich aber die Lage der Umschlagpunkte nur regional eingrenzen, eine detaillierte Untersuchung der Standorte ist nicht möglich.
- Die Simulation erfolgt nur mit dem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen eines Tages. Infolge des täglich schwankenden Verkehrsaufkommens, ergeben sich in der Realität aber für jeden Tag veränderte Verkehrsströme, für die eine andere Netzgestaltung optimal wäre. Die Simulation liefert jedoch nur das für den Durchschnittstag optimale Netz.

SIMTEG ist zwar grundsätzlich geeignet, unterschiedliche Produktionssysteme miteinander zu vergleichen. Aufgrund der beschriebenen Einschränkungen ist aber eine räumlich detaillierte Optimierung der Standorte von Umschlagpunkten und eine Optimierung der Leitwege und der Linienwege in einem Netz des containerisierten Einzelwagenverkehrs nicht möglich. Für eine detaillierte Untersuchung ist die Entwicklung eines für diesen Zweck geeigneten Algorithmus erforderlich.

6.5 Die Modellierung des containerisierten Einzelwagenverkehrs in SIMTEG

6.5.1 Eignung der Algorithmen und Programmstrukturen von SIMTEG für den containerisierten Einzelwagenverkehr

Das Simulationsprogramm SIMTEG ist ursprünglich auf die Simulation des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs ausgelegt. Da durch die Containerisierung die grundlegenden Einzelschritte bei der Produktionserbringung nicht verändert werden, kann das Programm aber auch für die Simulation eines containerisierten Einzelwagenverkehrs verwendet werden. Die Produktion besteht auch weiterhin aus den Teilkomponenten Sammeln und Verteilen, Umstellung (bzw. Umschlag) Nah-Fern und Fern-Fern sowie Transport im Nahbereich und auf der Fernstrecke. Der Optimierungsalgorithmus kann daher ohne Veränderung auch für den containerisierten Einzelwagenverkehr übernommen werden.

Dennoch ist es wichtig, bei der Bewertung der Ergebnisse die zuvor beschriebenen Einschränkungen in der Modellbildung zu beachten. Nachstehend wird daher dargestellt, welche Anpassungen in der Modellierung für einen containerisierten Einzelwagenverkehr erforderlich sind und welche Modellkomponenten unverändert übernommen werden können.

6.5.1.1 Kanten

Die Modellbildung der Kanten einschließlich der Entfernungen zwischen den Netzknoten können auch für einen containerisierten Einzelwagenverkehr verwendet werden. Es ist davon auszugehen, dass die Routenwahl im Schienennetz zwischen zwei Umschlagpunkten durch die Containerisierung keine Änderung gegenüber dem heutigen Zustand erfährt. Im Rahmen des Kostenmodells müssen jedoch die den Kanten zugewiesenen Kostensätze an den containerisierten Einzelwagenverkehr angepasst werden.

6.5.1.2 Knoten

Das Programmsystem enthält nur die durch das heutige Einzelwagensystem fest vorgegebenen Bahnhöfe. Das Netz des containerisierten Einzelwagenverkehrs kann jedoch auch über weitere Bahnhöfe verfügen. Insbesondere müssen die neu zu errichtenden Megahubs und Hubs nicht zwangsläufig an den

Standorten der heutigen Rangierbahnhöfe errichtet werden. Eine Ergänzung des Netzmodells um neue Bahnhöfe ist jedoch nicht möglich.

Da SIMTEG aufgrund der beschriebenen Modellfehler nicht für eine detaillierte Modellierung von Standorten geeignet ist, reicht es für die Modellierung potenzieller Standorte von Megahubs aus, diese einem im Netzmodell vorhandenen nahe gelegenen Bahnhof zuzuweisen.

6.5.1.3 Anbindungen

Für den Vergleich zwischen einem containerisierten Einzelwagenverkehr und den heutigen Produktionsstrukturen ist grundsätzlich eine Berücksichtigung der letzten Meile zwischen Gleisanschluss und Satellit erforderlich, da zu erwarten ist, dass durch die Containerisierung auch Kostenveränderungen auf diesem Teil der Transportkette entstehen werden. Für das Ziel dieser Arbeit, die Anordnung der zentralen Umschlagpunkte zu optimieren, kann diese Kostenveränderung jedoch vernachlässigt werden. Allerdings sollte sie zu einem späteren Zeitpunkt noch detailliert untersucht werden.

6.5.2 Randbedingungen für die Produktion

Für die Simulation sind die Parameter des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs und des containerisierten Einzelwagenverkehrs festzulegen. Hierbei handelt es sich um:

- Wagenlänge und Wagenmasse,
- maximal zulässige Zuglängen,
- Höchstgeschwindigkeit der Züge,
- Netzkapazität.

6.5.2.1 Maximal zulässige Zuglänge

Die maximal zulässige Zuglänge wird durch die Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung auf 700 m beschränkt. Um einen Vergleich des containerisierten Einzelwagenverkehrs mit dem heutigen Produktionsverfahren zu ermöglichen, wird für die Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs ebenfalls eine maximale Zuglänge von 700 m festgelegt.

Es gibt allerdings Versuche, die maximal zulässige Zuglänge auf ausgewählten Relationen auf 1.400 m zu erhöhen. Die erhöhte Zuglänge wird jedoch voraus-

sichtlich nur auf den Hauptabfuhrstrecken ausgenutzt werden können, da eine erhöhte Zuglänge verlängerte Überholgleise erfordert und derartige Investitionen nur auf den hoch belasteten Strecken wirtschaftlich umgesetzt werden können. Um hier in Zukunft keine Einschränkungen zu erzeugen, wird bei der Gestaltung der Megahubs bereits von Zuglängen von 1.400 m ausgegangen.

6.5.2.2 Anzahl der Wechselbehälter je Zug

Neben der zulässigen Zuglänge ist auch die Bauart der Tragwagen maßgebend für die Anzahl der Wechselbehälter, die in einem Zug befördert werden können. Je nach Bauart, Achszahl und Länge der Tragwagen lassen sich mit den in Deutschland verwendeten Containertragwagen zwischen 72 TEU (Bauart Sdgkms 707) und 107 TEU (Bauarten Sgmmns 697) in einem 700 m langen Zug befördern. Für die Simulation wird, da dieser Wert bei den betrachteten Wagengattungen am häufigsten auftritt, von einer mittleren Kapazität von 100 TEU je Zug ausgegangen.

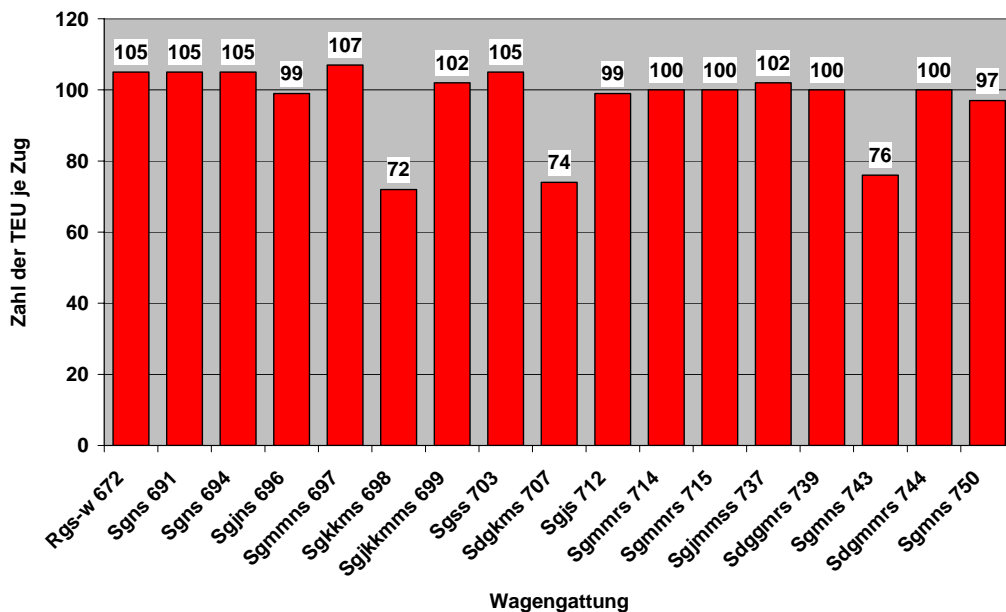


Abbildung 47 Maximale Anzahl der TEU je Zug abhängig von der verwendeten Wagengattung¹⁵⁵

¹⁵⁵ berechnet anhand der Angaben in: Deutsche Bahn AG (Hrsg.) (2005a)

6.5.2.3 Höchstgeschwindigkeit der Züge

Die Höchstgeschwindigkeit der Züge wird von verschiedenen Faktoren bestimmt. Neben der lauf- und bremstechnischen Ausstattung der Fahrzeuge sowie der Infrastrukturausstattung der Strecke sind beim Schienengüterverkehr auch aerodynamische Aspekte zu beachten. Durch den Winddruck besteht bei offenen Ladungen und bei Wagen mit Planenverdeck die Gefahr von Beschädigungen der Planen und von Ladungsverlust. Aus aerodynamischen Gründen ist daher bei Zügen mit gemischten Containern auch weiterhin eine Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit der Züge auf 100 km/h oder 120 km/h wie beim herkömmlichen Einzelwagenverkehr erforderlich. Damit ergibt sich kein signifikanter Geschwindigkeitsvorteil gegenüber dem heutigen Einzelwagenverkehr. Im Rahmen der Simulation erfolgt daher keine Veränderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit der Züge.

Im Rahmen eines containerisierten Einzelwagenverkehrs können auf stark belasteten Relationen Spezialzüge für geschlossene Behälter mit höheren Geschwindigkeiten verkehren. Hierdurch lassen sich Premium-Angebote für bestimmte Gutarten schaffen. Allerdings werden diese Möglichkeiten im Rahmen der Dissertation nicht weiter untersucht.

6.5.2.4 Netzkapazität

Das Programmsystem SIMTEG berücksichtigt im Rahmen der Optimierung keine Restriktionen bei der Kapazität des Schienenverkehrsnetzes. Gleichzeitig sind jedoch heute wesentliche Teile des Schienennetzes stark ausgelastet oder überlastet.

Bis zur Umsetzung eines Konzeptes für den containerisierten Einzelwagenverkehr vergehen jedoch mindestens 10 Jahre. Innerhalb dieser Zeit sollen durch den Ausbau des Schienenverkehrsnetzes alle relevanten Engpässe beseitigt sein.¹⁵⁶ Insofern werden Beschränkungen der Netzkapazität bei der Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs nicht berücksichtigt.

6.5.3 Weitere Kosten und andere Parameter für die Simulation

Zur Durchführung der Simulationen werden zusätzlich Werte für folgende Kostenkomponenten und Simulationsparameter benötigt:

- Wagenkosten / Containerkosten
- Traktionskosten
- Trassenkosten
- Energiekosten
- Sonstige Eingangsgrößen

6.5.3.1 Wagenkosten / Containerkosten

Die Wagenkosten werden auf Grundlage eines Wagenneuwertes von 120.000 Euro berechnet.¹⁵⁷ Bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren, einer Verzinsung von 8,0 % pro Jahr und Wartungskosten von 5,0 % des Neuwertes pro Jahr ergeben sich Jahreskosten von 18.800 Euro. Bei 260 Nutzungstagen und 24 Stunden Nutzung an jedem Nutzungstag ergeben sich Wagenkosten von 3,01 Euro pro Stunde. Für die Simulation des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs wird dieser Wert für die Wagenkosten verwendet.

Die Kosten für Container und Wechselbehälter lassen sich analog zu den Wagenkosten ermitteln. Bei einem Neuwert von 8.750 Euro für einen Standard-Wechselbehälter¹⁵⁸ ergeben sich bei einer Abschreibung auf 8 Jahre mit einer Verzinsung von 8,0 % pro Jahr und Wartungskosten von 10 % der Anschaffungskosten pro Jahr Jahreskosten von 3.413 Euro. Bei 260 Nutzungstagen und 24 Stunden Nutzung pro Tag ergeben sich Kosten von 0,55 Euro pro Nutzungsstunde.

Für die Simulation ist eine Umrechnung der Wagenkosten und der Wechselbehälterkosten auf Kosten je TEU erforderlich. Für die Wagen wird eine durchschnittliche Beladung von 2,5 TEU unterstellt, so dass sich Wagenkosten von 1,20 Euro pro TEU und Nutzungsstunde ergeben. Die Container besitzen, wie

¹⁵⁶ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2005)

¹⁵⁷ Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999), Seite 19: Kosten für einen Wagen nach Preisstand 1999: 205.000 DM, das entspricht 104.814 Euro. Hochgerechnet auf Basis des Preisindex der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Statistisches Bundesamt (2006)) auf das Jahr 2006 entsprechend das: 119.594 Euro

¹⁵⁸ Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999), Seite 17: Kosten für einen Standard-Wechselbehälter mit Kofferaufbau nach Preisstand 1999: 15.000 DM, das entspricht 7.669 Euro. Hochgerechnet auf Basis des Preisindex der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Statistisches Bundesamt (2006)) auf das Jahr 2006 entsprechend das: 8.751 Euro

bereits dargestellt, eine durchschnittliche Kapazität von 1,4 TEU – damit ergeben sich Kosten von 0,39 Euro pro TEU und Nutzungsstunde. In der Summe aus Wagen- und Containerkosten ergeben sich Kosten von 1,59 Euro pro TEU und Nutzungsstunde. Dieser Kostensatz wird für die Simulation des containerisierten Einzelwagenverkehrs verwendet.

6.5.3.2 Traktionskosten

Die Traktionskosten setzen sich aus den Kosten für Triebfahrzeuge und für den Triebfahrzeugführer zusammen. Die Triebfahrzeugkosten basieren auf einem Anschaffungspreis von 2.330.000 Euro für ein Triebfahrzeug.¹⁵⁹ Bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren, 8,0 % Verzinsung pro Jahr und Reparaturkosten von 8,0 % der Anschaffungskosten pro Jahr ergeben sich Jahreskosten von 434.933 Euro. Bei 260 Nutzungstagen und 24 Stunden Nutzung am Tag ergeben sich Kosten von 69,70 Euro pro Stunde.

Der Triebfahrzeugführer wird auf Grundlage eines Gehalts von 30.000 Euro, 50 % Zuschlägen und 1.000 produktiven Arbeitsstunden im Jahr mit Kosten von ca. 46 Euro pro Stunde angesetzt.

6.5.3.3 Trassenkosten

Der Trassenkostensatz stellt einen Mittelwert der von DB Netz AG für die Nutzung unterschiedlicher Trassenarten verrechneten Kosten dar und beträgt ca. 2,20 Euro pro km.

6.5.3.4 Energiekosten

Der Energiekostensatz wurde abgeleitet auf Grundlage eines Triebfahrzeuges mit 3.800 kW Leistung, die für einen Zug mit einer Masse von 1.000 t im Durchschnitt zu 25 % eingesetzt wird und einer mittleren Geschwindigkeit von 60 km/h. Damit beträgt der Energieverbrauch 15,8 kWh / 1000 Lasttonnenkilome-

¹⁵⁹ *Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999)*, Seite 20: Kosten für ein Triebfahrzeug nach Preisstand 1999: 4.000.000 DM, das entspricht 2.045.168 Euro. Hochgerechnet auf Basis des Preisindex der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (*Statistisches Bundesamt (2006)*) auf das Jahr 2006 entsprechend das: 2.333.536 Euro

ter. Bei einem Preis von 0,097 Euro/kWh¹⁶⁰ ergibt sich damit ein Energiekostensatz von ca. 1,55 Euro/1000 Lasttonnenkilometer und wird mit diesem Wert für die Simulation verwendet.

6.5.3.5 Sonstige Eingangsgrößen

Unter die sonstigen Eingangsgrößen für die Simulation fallen der Zeitbedarf für die Zugfahrtvorbereitung, der Zeitbedarf für Umstellungen bzw. den Umschlag Fern-Fern und Nah-Fern sowie der maximal zulässige Umwegfaktor für die Wegsuche.

Zeitbedarf für die Zugfahrtvorbereitung

Der Zeitbedarf für die Zugfahrtvorbereitung umfasst unter anderem den Zeitbedarf für das Bereitstellen des Triebfahrzeuges, die Bremsprobe etc.. Durch den Einsatz fest gekuppelter Tragwagenverbände beim containerisierten Einzelwagenverkehr lässt sich durch die Beschleunigung der Bremsprobe der Zeitbedarf von 30 Minuten beim herkömmlichen Einzelwagenverkehr auf 20 Minuten reduzieren.

Zeitbedarf für die Umstellungen / den Umschlag

Der Zeitbedarf für die Umstellung bzw. den Umschlag Fern-Fern lässt sich durch den Einsatz von Megahubs, wie bereits dargestellt, von 300 Minuten im herkömmlichen Einzelwagenverkehr auf 70 Minuten im containerisierten Einzelwagenverkehr reduzieren.

Der Zeitbedarf für den Umschlag Nah-Fern orientiert sich am Zeitbedarf für den Fern-Fern-Umschlag. Aufgrund der geringeren Komplexität der Umschlaganlagen und der geringeren Menge abzufertigender Züge wird für den containerisierten Einzelwagenverkehr ein mittlerer Zeitbedarfswert von 60 Minuten angesetzt. Der herkömmliche Einzelwagenverkehr besitzt entsprechend den Angaben im SIMTEG-Referenzprojekt einen Zeitbedarfswert von 120 Minuten für die Umstellung Nah-Fern.

¹⁶⁰ Mittelwert der Preisspanne aus *DB Energie GmbH(2006)*: Die Preisspanne inklusiv der Mehrbelastungen durch das Erneuerbare Energien Gesetz liegt je nach Entnahmezeitpunkt zwischen 0,080 Euro/kWh und 0,116 Euro/kWh.

Umwegfaktoren

Durch den maximal zulässigen Umwegfaktor werden bei der Wegsuche im Netz Routen ausgeschlossen, deren Wegeentfernung um einen festzulegenden Faktor größer ist als der kürzeste Weg. Zu kleine zulässige Umwegfaktoren schließen bei der Optimierung zu viele potenzielle Routen aus und führen nicht zu optimalen Suchergebnissen, bei zu großen zulässigen Umwegfaktoren werden die Ströme nicht ausreichend gebündelt. Außerdem nimmt bei großen zulässigen Umwegfaktoren die Rechenzeit deutlich zu, da die Menge der möglichen Routen größer wird.

Um einen geeigneten Wert für den maximalen Umwegfaktor bei der Szenarienuntersuchung zu ermitteln, werden mit der Aufkommensdatei des containerisierten Einzelwagenverkehrs und dem Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs Modellrechnungen durchgeführt, bei denen der Umwegfaktor zwischen 1,7 und 5,0 variiert wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass die besten Kostenwerte bei einem Umwegfaktor von 1,7 und bei Umwegfaktoren ab 2,7 bis 3,3 erreicht werden. Die Ursache für diese Ergebnisse könnten in dem im Programmsystem SIMTEG verwendeten Optimierungsalgorithmus begründet liegen. Bei sehr kleinen zulässigen Umwegfaktoren wird verhindert, dass in einer frühen Phase der Simulation bereits Strecken gelöscht werden, die erst zu einem späteren Zeitpunkt durch die Bündelung von Verkehren hohe Belastungen erhalten. Bei größeren zulässigen Umwegfaktoren wird dieser Effekt durch die Möglichkeit einer wesentlich flexibleren Routenwahl kompensiert. Da bei Netzen mit nur einem oder wenigen zentralen Hubs tendenziell höhere Umwegfaktoren zu erwarten sind und bei Umwegfaktoren über 3,3 die Simulationsergebnisse schlechter werden, wird für die Simulation der Szenarien ein Grenzwert von 3,3 für den Umwegfaktor festgelegt.

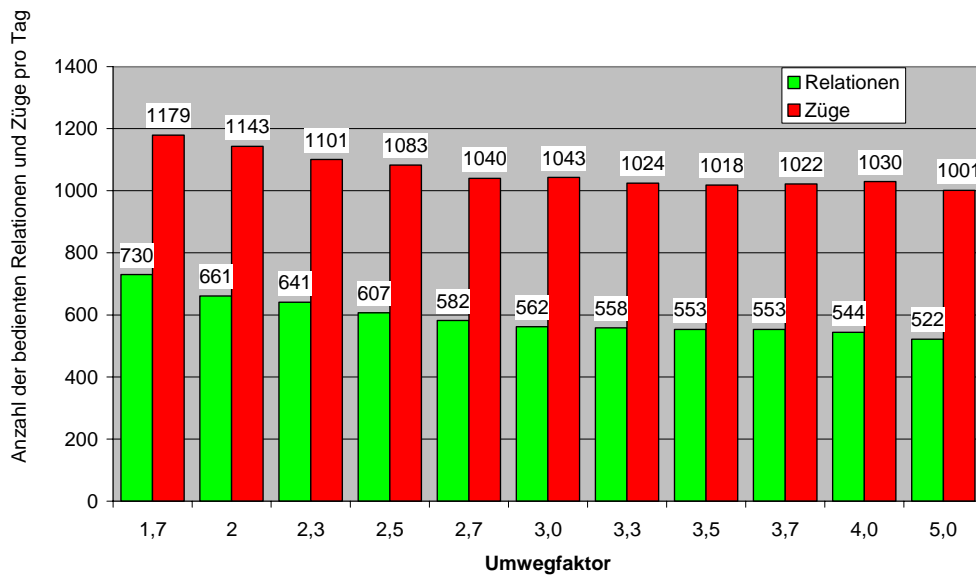


Abbildung 48 Anzahl der Zugfahrten und bedienten Verbindungen in Abhängigkeit vom Umwegfaktor

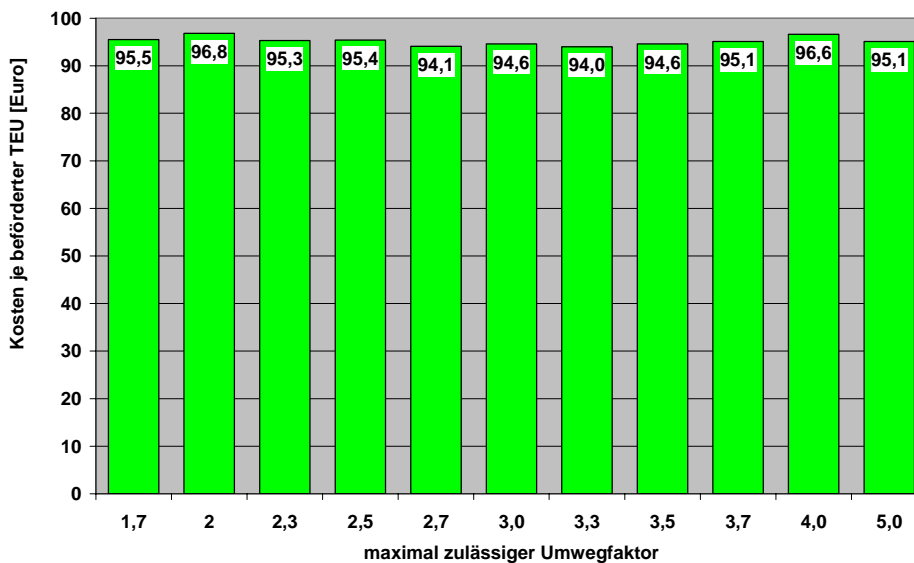


Abbildung 49 Kosten pro beförderten Wagen in Abhängigkeit vom Umwegfaktor

6.6 Definition und Untersuchung von Szenarien für die Netzgestaltung des containerisierten Einzelwagenverkehrs

Um zu einer optimalen Netzgestaltung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs zu gelangen, werden zunächst grundsätzlich mögliche Szenarien definiert, die sich hinsichtlich ihrer Netzgestaltung deutlich unterscheiden. Dabei werden hier zunächst nur die Anzahl der Hubs festgelegt. Die weitere Definition

der Szenarien erfolgt erst während der Simulationsrechnungen. Damit ist es möglich, die Erkenntnisse aus zuerst simulierten Szenarien in die Gestaltung der später zu simulierenden Szenarien einfließen zu lassen.

Für die Simulation werden hinsichtlich der Anzahl der Hubs folgende Szenarien definiert:

- Ein containerisierter Einzelwagenverkehr auf Grundlage des Netzes des heutigen Einzelwagenverkehrs,
- Ein Netz mit einem zentralen Megahub,
- Ein Netz mit ca. 150 dezentralen Hubs (entsprechend allen Bahnhöfen im Netzmodell),
- Ein Netz mit 50 dezentralen Hubs (entsprechend ca. einem Drittel aller Bahnhöfe im Netzmodell),
- Ein Netz mit 3 bis 10 zentralen Megahubs.

Um die Simulationsergebnisse für diese Szenarien miteinander vergleichen zu können, ist es zunächst erforderlich, identische Simulationsparameter für alle Szenarien zu definieren. Die Simulation aller Szenarien erfolgt auf Grundlage dieser gemeinsamen Simulationsparameter, die nicht mehr verändert werden.

6.6.1 Gemeinsame Simulationsparameter für alle Szenarien

Gemeinsame Grundlage für die Simulation aller Szenarien sind neben den bereits beschriebenen Kostensätzen für Fahrzeuge und Umschlag sowie der Aufkommensdatei für den containerisierten Einzelwagenverkehr identische Steuerdaten für das Simulationsprogramm. Diese sind im Einzelnen:

- Die mittlere Fahrgeschwindigkeit der Züge, die abhängig von der Fahrtweite der Züge 45 km/h bei Fahrweiten bis 50 km, 55 km/h bei Fahrweiten zwischen 50 und 200 km und 65 km/h bei Fahrweiten über 200 km beträgt.
- Kanten, auf denen im Rahmen der Simulation eine Belastung von mehr als 300 TEU/Tag (entsprechend 3 vollen Zügen pro Tag) gebündelt wird, werden nicht mehr weiter optimiert.
- Die Zuglast eines Zuges wird auf 2000 t, der Zuglänge wird auf 700 m und der Containerzahl je Zug wird auf 100 Stück beschränkt.
- Der Leerwagenrücklauf wird bis zum nächsten Bahnhof der Kategorie 3 durchgeführt. Dort findet der Leerwagenausgleich statt.

- Die Kostensätze für Umschläge, die nicht in Megahubs stattfinden, betragen unabhängig von der Anzahl der Umschlagvorgänge in einem Hub einheitlich 15,90 pro TEU.
- Der Zeitbedarf für die Zugfahrtvorbereitung im Umschlagbahnhof beträgt 20 Minuten. Ein Nah-Fern-Umschlag dauert 60 Minuten und ein Fern-Fern-Umschlag dauert 70 Minuten.

6.6.2 Szenario 1: Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs

Als erstes Szenario wird das Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs mit seinen Bahnhofskategorien auf den containerisierten Einzelwagenverkehr übertragen. Nicht übernommen werden die Leitwege und Zugbildungen des heutigen Einzelwagenverkehrs, da diese Bestandteil der Optimierung sein sollen. Die im heutigen Netz des Einzelwagenverkehrs vorhandenen 11 Rangierbahnhöfe werden als Standorte für Megahubs im containerisierten Einzelwagenverkehr übernommen. Maschen (Hamburg), Seelze (Hannover), Gremberg (Köln), Bebra, Engelsdorf (Leipzig), Seddin (Berlin), Dresden-Friedrichstadt, Mannheim Rbf, Nürnberg Rbf und München-Nord.

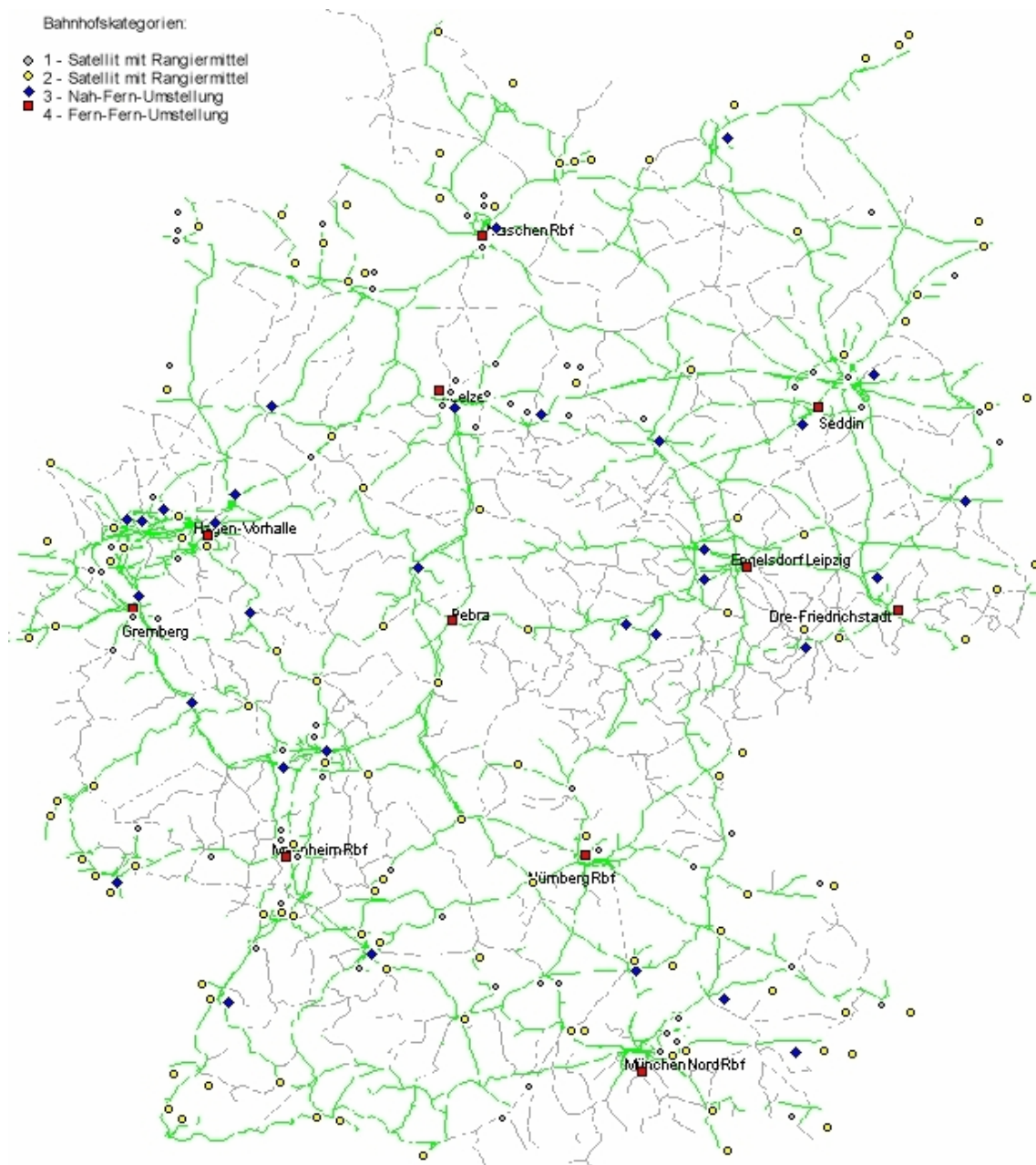


Abbildung 50 Szenario 1: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz des heutigen EWW (rote Quadrate = Megahubs)

Als Startwert für die erste Simulationsrechnung werden für alle Megahubs einheitlich Umschlagkosten von 15,90 Euro je umgestellter TEU angesetzt. Diese werden dann bei den weiteren Simulationsrechnungen abhängig von den tatsächlichen Belastungen der Bahnhöfe verändert bis sich ein stabiler Zustand einstellt. Im vorliegenden Fall tritt der stabile Zustand nach sechs Iterationen ein.

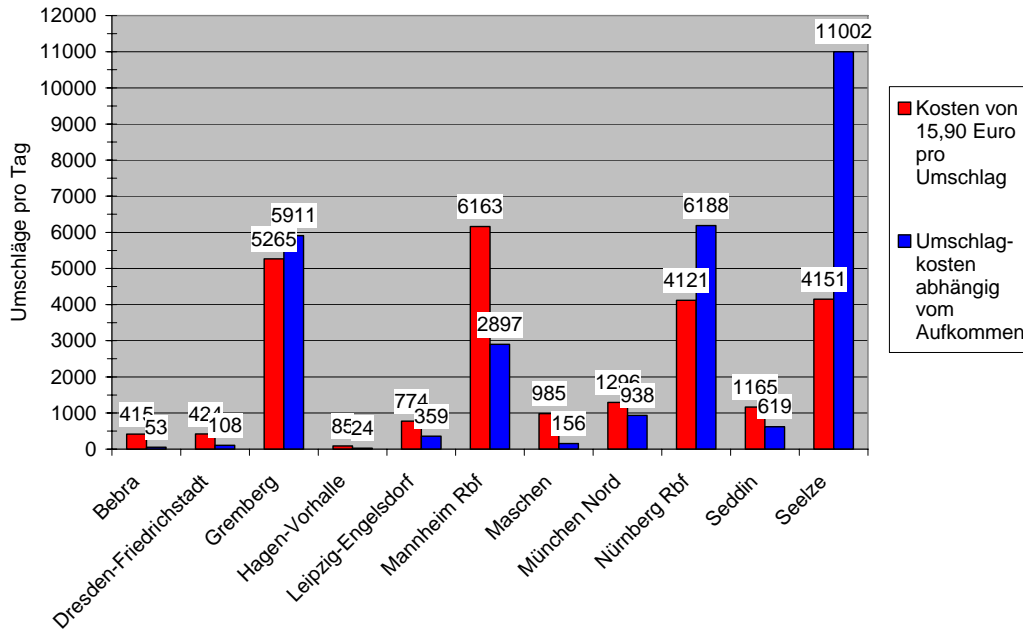


Abbildung 51 Szenario 1: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten

Ergebnis

Schon im ersten Simulationslauf bei Umschlagkosten von 15,90 Euro pro TEU unabhängig vom Umschlagvolumen in den Megahubs findet eine Konzentration der Umschlagvorgänge auf 4 große Megahubs statt, die ein Umschlagvolumen von mehr als 4.000 TEU pro Tag aufweisen. Daneben verbleiben 7 kleine Megahubs mit einem Umschlagvolumen von weniger als 1.300 Umschlägen pro Tag. Insbesondere fallen drei Megahubs auf, die ein Aufkommen von weniger als 500 Umschlägen pro Tag aufweisen. Der Megahub Hagen-Vorhalle hat nur ein Aufkommen von 85 Umschlägen pro Tag. Wie bereits in Kapitel 3.3.5.6 beschrieben wurde, ist erst ab einer Grenze von 1.300 Umschlägen ein Kostenvorteil für einen Megahub gegenüber einem herkömmlichen Hub vorhanden.

Werden die Umschlagkosten in Abhängigkeit des Umschlagvolumens angepasst (siehe Abbildung 22), so nimmt die Konzentration der Umschläge auf die bereits identifizierten stark belasteten Megahubs weiter zu. Es verbleiben drei sehr stark belastete Megahubs (Gremberg, Nürnberg und Seelze) mit mehr als 5000 Umschlägen pro Tag sowie ein stark belasteter Megahub in Mannheim mit 2897 Umschlägen am Tag. Alle übrigen Megahubs sind nur schwach belastet und besitzen nur ein Umschlagaufkommen von weniger als 1000 Umschlägen

pro Tag. Damit erreichen Sie das für einen Megahub erforderliche Umschlag-aufkommen nicht.

Das Aufkommen zwischen den sehr stark und stark belasteten Megahubs ist so groß, dass auf allen Relationen zwischen diesen Megahubs mindestens 4 Zug-fahrten pro Tag angeboten werden müssen. Die Relationen von und zu sowie zwischen den schwach belasteten Megahubs weisen vielfach kein Aufkommen mehr auf, so dass ein großer Teil der Megahub-Megahub-Relationen nicht mehr mit Direktzügen bedient wird, so dass zwischen diesen Megahubs ein zusätzli-cher Umschlag erforderlich wird.

Die mittleren spezifischen Kosten für die Beförderung einer TEU betragen in diesem Szenario 87,4 Euro, die TEU werden im Durchschnitt 0,873mal umge-stellt. Die mittlere Auslastung der Züge beträgt 62,79 TEU.

Aufkommen zwischen Megahubs [TEU/Tag]												
	Bebra	Dresden-Friedrichstadt	Engelsdorf (Leipzig)	Gremberg	Hagen-Vorhalle	Mannheim Rbf	Maschen Rbf	München Nord Rbf	Nürnberg Rbf	Seddin	Seelze	Summe
Bebra							51		82			133
Dresden-Friedrichstadt			204								671	875
Engelsdorf (Leipzig)									176	164		340
Gremberg					267	794	202	516	558		1052	3389
Hagen-Vorhalle				162								162
Mannheim Rbf				660				295	883		392	2230
Maschen Rbf									387		985	1372
München Nord Rbf									969			969
Nürnberg Rbf	30		110	724		448		812		309	1235	3668
Seddin		129	44						148		363	684
Seelze	88	417	154	1153		1011	555	675		641		4694
Summe	118	546	512	2699	267	2253	808	2298	3203	1114	4698	18516

Tabelle 13 Szenario 1: Wagenaufkommen zwischen den Megahubs

Züge zwischen Megahubs [Züge/Tag]												
von / nach	Bebra	Dresden-Friedrichstadt	Engelsdorf (Leipzig)	Gremberg	Hagen-Vorhalle	Mannheim Rbf	Maschen Rbf	München Nord Rbf	Nürnberg Rbf	Seddin	Seelze	Summe
Bebra							1		1			2
Dresden-Friedrichstadt			3								7	10
Engelsdorf (Leipzig)									2	2		4
Gremberg					3	8	3	6	6		11	37
Hagen-Vorhalle				2								2
Mannheim Rbf				7				3	9		4	23
Maschen Rbf									4		10	14
München Nord Rbf									10			10
Nürnberg Rbf	1		2	8		5		9		4	13	42
Seddin		2	1						2		4	9
Seelze	1	5	2	12		11	6	7		7		51
Summe	2	7	8	29	3	24	10	25	34	13	49	204

Tabelle 14 Szenario 1: Zugzahlen zwischen den Megahubs

6.6.3 Szenario 2: Netz mit einem zentralen Megahub

Im zweiten Szenario werden Netzvarianten untersucht, die nur einen zentralen Megahub aufweisen. Wenn man die entsprechenden Produktionskonzepte im Straßengüterverkehr zugrunde legt, sind für die Einrichtung eines zentralen Megahubs Standorte in der geographischen Mitte Deutschlands prädestiniert.¹⁶¹ Im Netz des Schienengüterverkehrs kommen für einen derartigen Standort die Bahnhöfe Kassel Rbf, Bebra und Eisenach infrage. In diesem Szenario wird zusätzlich untersucht, ob sich einer der im Szenario 1 sehr aufkommensstarken Megahubs in Nürnberg Rbf, Seelze oder Gremberg als zentrale Drehscheibe eignet. Da zu erwarten ist, dass sich das Umschlagaufkommen in dem jeweils untersuchten Megahub-Standort stark bündeln wird, wird für diesen Standort der geringste mögliche Umschlagkostensatz von 6,36 Euro pro TEU als Eingangsgröße für die Simulation verwendet.

¹⁶¹ Arnold, Dieter; Isermann, Heinz und andere (Hrsg.) (2002)

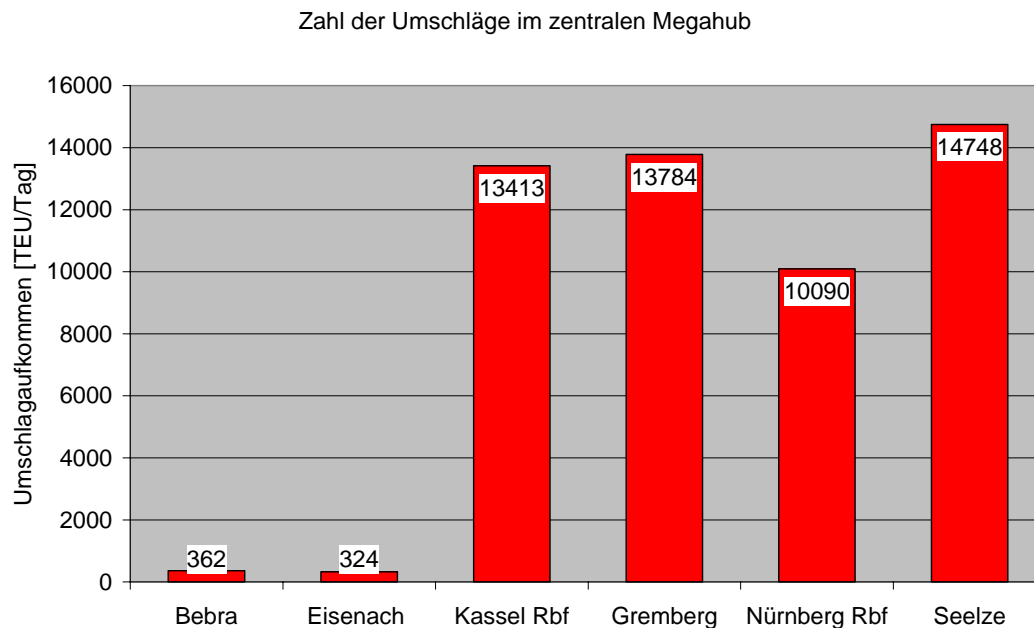


Abbildung 52 Szenario 2: Belastungen des zentralen Megahubs

Ergebnis

Selbst unter diesen für die potenziellen Megahubstandorte sehr günstigen Randbedingungen können Bebra und Eisenach als Standorte für einen zentralen Megahub nur weniger als 400 Umschläge pro Tag auf sich ziehen. Damit fallen diese Orte als Standorte für einen zentralen Megahub aus. Die übrigen potenziellen Standorte können allerdings mehr als 10.000 Umschläge pro Tag auf sich ziehen, wobei die Standorte Kassel Rbf, Gremberg und Seelze mit 13.400 bis 14.700 Umschlägen ein annähernd gleiches Umschlagaufkommen besitzen. Bei Betrachtung der mittleren Wagenkosten ist Seelze der günstigste Standort, da die mittleren Wagenkosten mit 91,3 Euro pro TEU für diesen Standort im Vergleich zu den anderen Standorten am geringsten sind. Bei einem zentralen Hub Seelze werden die Container im Durchschnitt 0,835mal umgeschlagen und die Züge sind im Durchschnitt mit 63,46 TEU beladen.

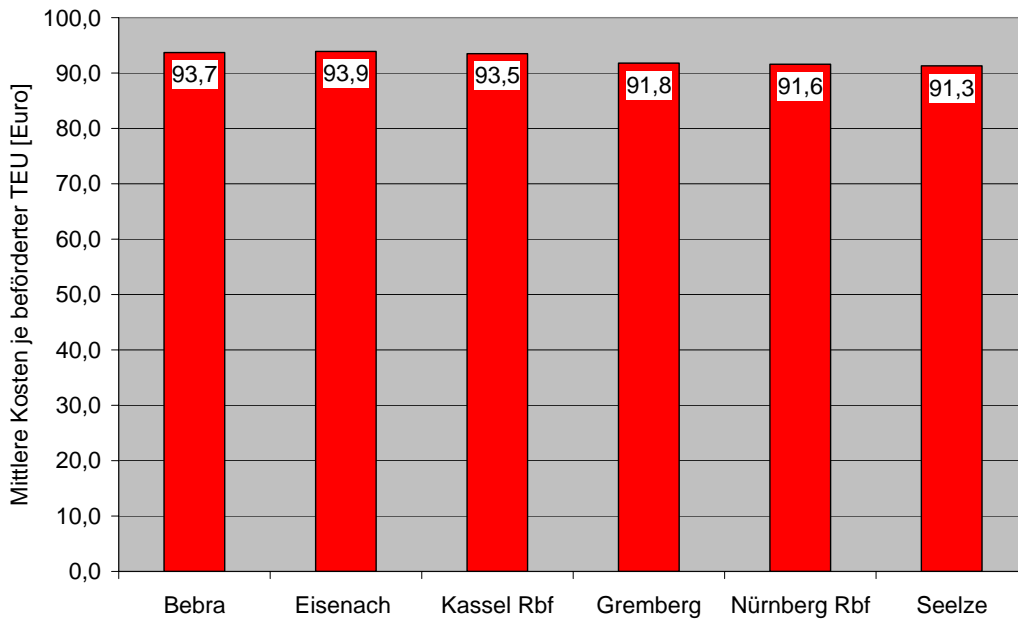


Abbildung 53 Szenario 2: mittlere Kosten je TEU für verschiedene Standorte des zentralen Megahubs

6.6.4 Szenario 3: Netz mit ca. 150 dezentralen Hubs

Für die Netzvariante mit ca. 150 dezentralen Hubs erhalten alle 154 Bahnhöfe, die im Netzmodell nicht an einen anderen Bahnhof angebunden sind, die Möglichkeit Fern-Fern-Umstellungen durchzuführen. Für die erste Simulation wird allen Bahnhöfen ein Umschlagkostensatz von 15,90 Euro pro TEU zugewiesen. Im Rahmen der weiteren Simulationsrechnungen wird dieser Kostensatz pro Umschlag für stark belastete Hubs entsprechend den Kostensätzen der Megahubs angepasst. Nach vier Iterationen wird ein stabiler Zustand erreicht.

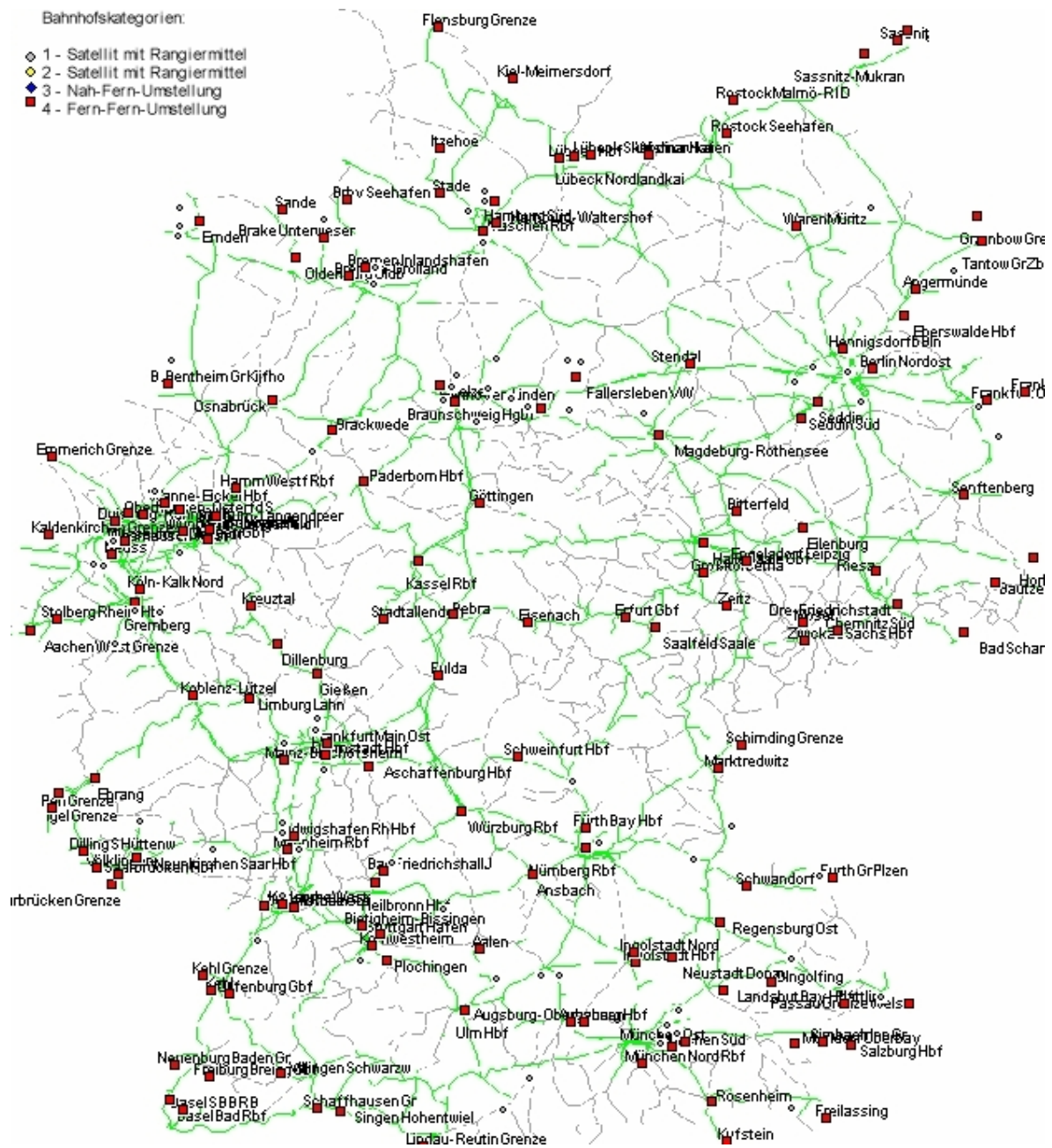


Abbildung 54 Szenario 3: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei ca. 150 dezentralen Hubs (rote Quadrate = Hubs)

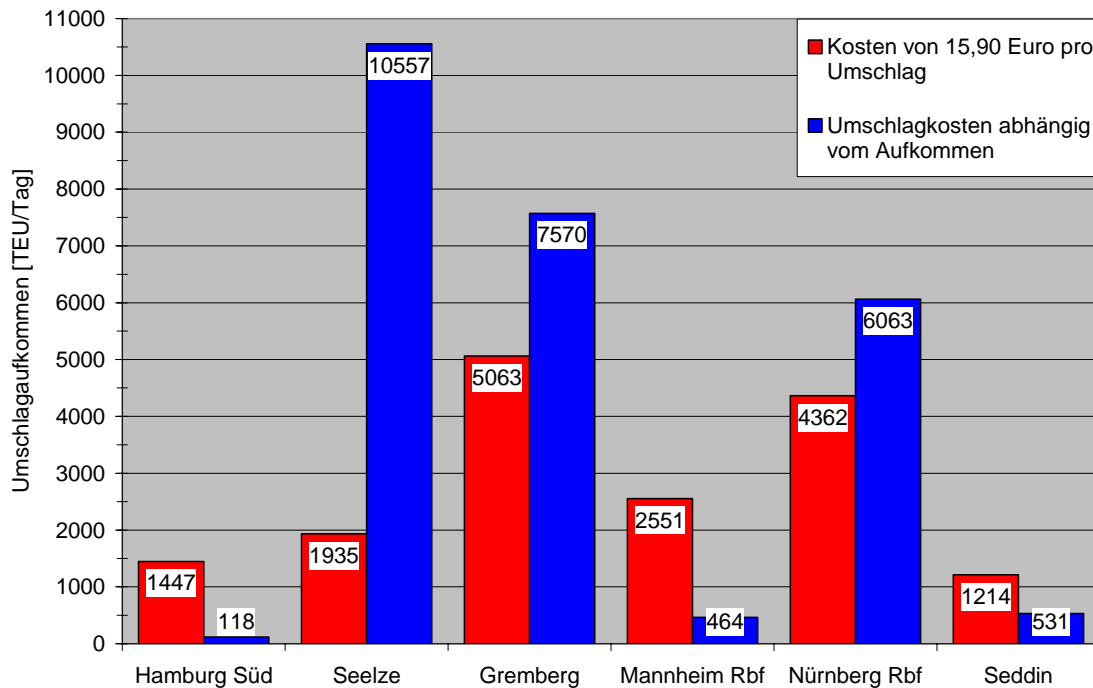


Abbildung 55 Szenario 3: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten

Ergebnis

Bereits die erste Simulation mit einem festen Umschlagkostensatz von 15,90 Euro zeigt, dass nur in 80 der 154 Hubs tatsächlich Fern-Fern-Umstellungen stattfinden. Die übrigen 74 Bahnhöfe verlieren schon bei der ersten Optimierung ihre Funktion als Hub mit Fern-Fern-Umschlag. Bei Anpassung der Umschlagkostensätze reduziert sich die Anzahl der Bahnhöfe mit Fern-Fern-Umschlag weiter bis auf 71 Bahnhöfe. Ein Netz mit 100 oder mehr dezentralen Hubs ist damit nicht sinnvoll, da bei einer großen Anzahl von Hubs ein Fern-Fern-Umschlag zulässig ist, diese Funktion also bei mehr als der Hälfte der Hubs gar nicht genutzt werden würde.

Insgesamt besitzen nur 29 Hubs ein Fern-Fern-Umschlagaufkommen von 100 TEU oder mehr pro Tag, so dass mindestens ein voll ausgelasteter abgehender Zug pro Tag gebildet werden kann. Für die Bahnhöfe mit weniger als 100 TEU Fern-Fern-Umschlagaufkommen ist daher eine Einstufung als Hub nicht gerechtfertigt. Insofern zeigen die Ergebnisse, dass in Deutschland maximal eine Anzahl von etwa 30 Hubs sinnvoll zu betreiben ist.

Das Umschlagaufkommen konzentriert sich bereits bei der ersten Iteration auf zunächst sechs Hubs (Hamburg Süd, Seelze, Gremberg, Mannheim Rbf, Nürnberg Rbf und Seddin) mit mehr als 1000 TEU Umschlagaufkommen pro Tag. Wenn man eine Kostendegression entsprechend den Megahubs mit hohem Umschlagaufkommen berücksichtigt, erfolgt, wie Abbildung 55 zeigt, eine weitere Konzentration des Umschlagaufkommens auf drei stark belastete zentrale Hubs (Gremberg, Seelze und Nürnberg Rbf), während die übrigen Hubs deutlich weniger als 1000 TEU Umschlagaufkommen pro Tag besitzen.

Die mittleren Kosten je transportierter TEU liegen ohne Anpassung der Umschlagkosten an das Umschlagaufkommen bei 93,2 Euro. Die Container werden im Durchschnitt 0,724mal umgestellt. Die Züge befördern im Durchschnitt 60,71 TEU.

6.6.5 Szenario 4: Netz mit 50 dezentralen Hubs

Aufbauend auf Szenario 3 wird in Szenario 4 in einem iterativen Prozess ein Netz entwickelt, das nur noch aus 50 dezentralen Hubs besteht. Dabei werden in aufeinander folgenden Schritten jeweils die Hubs, die keine Fern-Fern-Umschläge mehr aufweisen, manuell von der Bahnhofskategorie 1 in die Bahnhofskategorie 3 verschoben, so dass keine Fernzugbildungen mehr möglich sind. Anschließend erfolgt erneut die Simulation des so erzeugten neuen Netzes mit SIMTEG und die Ermittlung eines neuen Umschlagaufkommens in den Hubs. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis nur noch 50 Hubs in der Bahnhofskategorie 1 verbleiben.

Auch hier erfolgt, sofern keine aufkommensabhängige Kostenanpassung durchgeführt wird, eine Konzentration der Umschlagvorgänge auf sechs Hubs mit einem Umschlagvolumen von mehr als 1.000 TEU pro Tag. Wenn bei der Simulation die aufkommensabhängigen Veränderungen der Kosten je Umschlag berücksichtigt werden, findet eine weitere Konzentration auf drei aufkommensstarke Hubs mit jeweils mehr als 5.000 TEU Umschlagvolumen pro Tag statt.

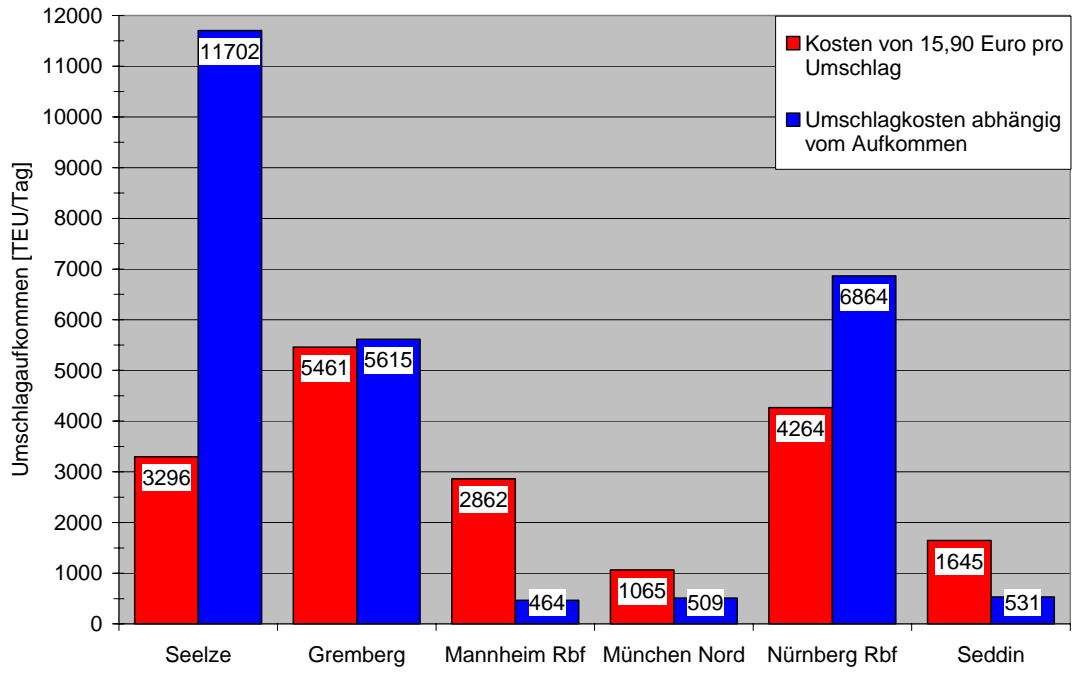


Abbildung 56 Szenario 4: Belastungen der Hubs bei Umschlagkosten von einheitlich 15,90 Euro und bei belastungsabhängigen Umschlagkosten

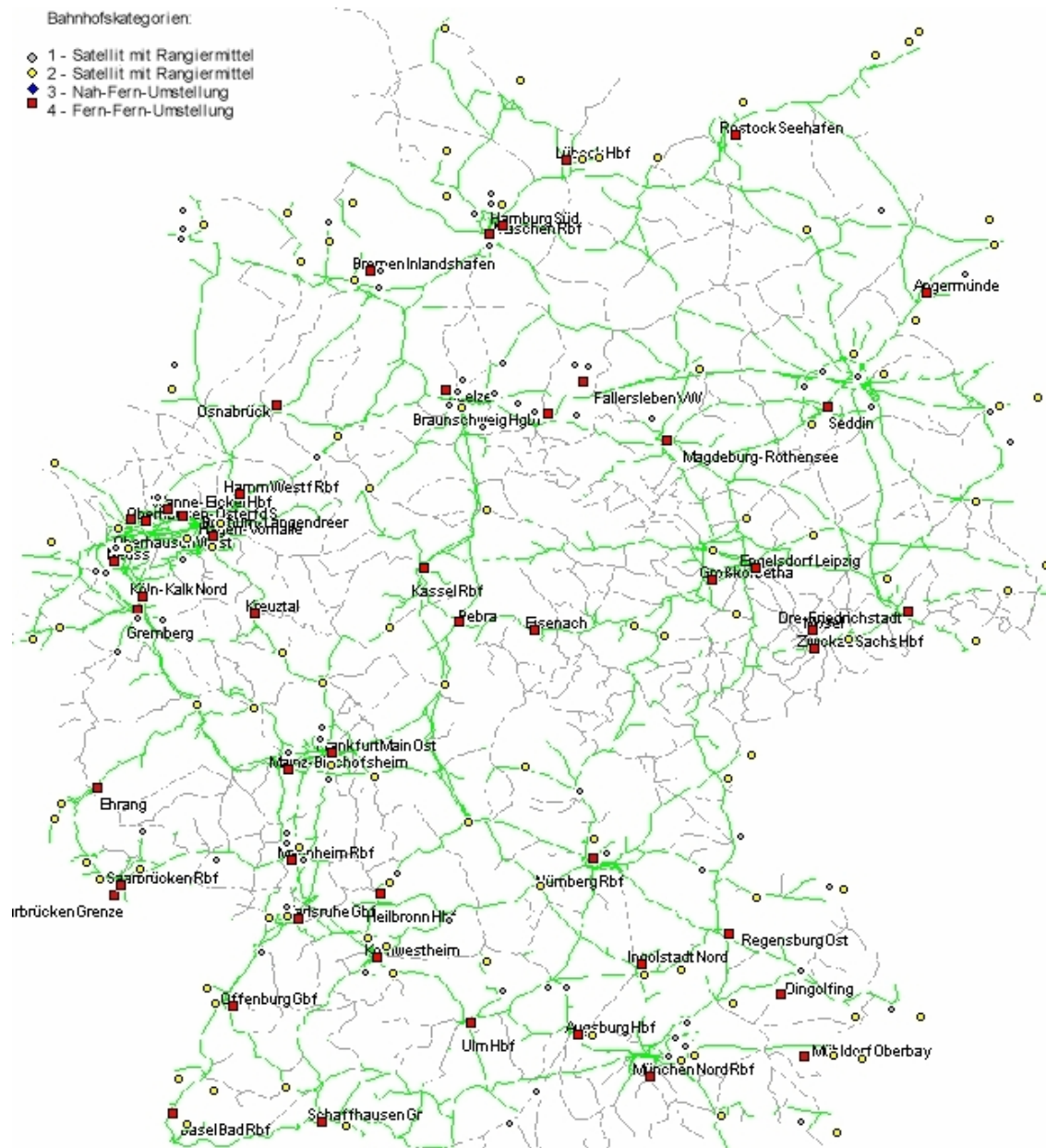


Abbildung 57 Szenario 4: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei 50 dezentralen Hubs (rote Quadrate = Hubs)

Die spezifischen Kosten je beförderter TEU betragen in diesem Szenario 93,3 Euro. Die Container werden im Durchschnitt 0,742mal umgestellt. Die Züge sind im Mittel mit 61,58 TEU ausgelastet.

6.6.6 Szenario 5: Netz mit 3 bis 10 zentralen Megahubs

Die Randbedingungen zur Untersuchung eines Szenarios mit 3 bis 10 zentralen Megahubs werden auf Grundlage der Ergebnisse der vorher untersuchten Szenarien festgelegt. Es hat sich gezeigt, dass unabhängig von den Ausgangsbedingungen bei allen vorher untersuchten Szenarien eine Konzentration der Um-

schlagvorgänge auf die drei potenziellen Standorte für einen Megahub in Gremberg, Seelze und Nürnberg Rbf stattfindet. Für die Untersuchung des Szenarios 5 werden daher diese 3 Megahubs als „sichere“ Standorte gesetzt. Im Rahmen von Variantenuntersuchungen wird dann geprüft, ob sich in Ergänzung zu diesen drei Megahubs an weiteren Bahnhöfen ein ausreichendes Umschlagvolumen konzentrieren lässt, um dort einen Megahub zu betreiben. Dabei werden folgende potenzielle Standorte für zusätzliche Megahubs untersucht:

- Der Standort Mannheim Rbf
- Ein Standort im Zentrum Deutschlands: Kassel Rbf bzw. Bebra
- Ein Standort im Osten Deutschlands: Engelsdorf, Großkorbetha bzw. Seddin

6.6.6.1 Variante 1: 3 Megahubs

Zunächst wird die Variante mit 3 Megahubs simuliert. Diese dient als Referenz für die Entscheidung, ob sich die Einrichtung zusätzlicher Megahubs positiv oder negativ auf die Kosten des Gesamtsystems containerisierter Einzelwagenverkehr auswirkt.

6.6.6.2 Variante 2: zusätzlicher Megahub in Mannheim Rbf

Die Simulation des Netzes mit den drei Megahubs aus Variante 1 und einem zusätzlichen Megahub in Mannheim Rbf zeigt, dass ein zusätzlicher Megahub in Mannheim Rbf durchaus sinnvoll sein kann. Das Aufkommen dieses Megahubs ist zwar mit 1.545 TEU Umschlagaufkommen deutlich geringer als das der drei anderen Megahubs. Allerdings ist Mannheim Rbf aufgrund seiner Lage im Netz als zentraler Umschlagpunkt für die Bündelung der Verkehre aus dem Bereich Schweiz und Oberrhein sehr gut geeignet, da diese Verkehre auf jeden Fall die Region Mannheim / Rhein-Neckar passieren. Gleichzeitig führt ein Megahub in Mannheim Rbf mit Umstellkosten von 15,90 Euro pro TEU nicht zu höheren mittleren Kosten je beförderten Wagen im Gesamtnetz. Wenn man Mannheim Rbf als Megahub mit geringerer technischer Infrastruktur betreiben kann, besitzt ein Netz mit dem zusätzlichen Megahub Mannheim Rbf geringere Gesamtkosten als das Referenznetz mit nur drei Megahubs.

6.6.6.3 Variante 3: zusätzlicher Megahub im Zentrum Deutschlands

Beide untersuchten potenziellen Standorte für zusätzliche Megahubs im Zentrum Deutschlands (Kassel Rbf und Bebra) können selbst unter günstigsten Be-

dingungen bei Umschlagkosten von 8 Euro nur einen geringen Teil des gesamten Umschlagaufkommens in Deutschland auf sich ziehen. Kassel Rbf würde ein Umschlagaufkommen von 443 TEU pro Tag auf sich ziehen, Bebra ein Umschlagaufkommen von 290 TEU pro Tag. In beiden Fällen ist das Umschlagaufkommen nicht ausreichend, um den wirtschaftlichen Betrieb eines zentralen Megahubs zu ermöglichen. Ein zentraler Megahub in der Mitte Deutschlands ist daher nicht sinnvoll.

6.6.6.4 Variante 4: zusätzlicher Megahub im Osten Deutschlands

Als weitere Variante werden zusätzliche Megahubs im Osten Deutschlands untersucht. Dabei werden als alternative Standorte die Bahnhöfe Seddin, Großkorbetha und Leipzig-Engelsdorf betrachtet. Leipzig-Engelsdorf mit 474 TEU Umschlagaufkommen scheidet als Standort für einen Megahub aus, da dort keine ausreichende Menge an Umschlagvorgängen gebündelt wird, um einen Megahub auszulasten. Bei den beiden anderen Standorten Seddin mit 1.027 TEU Umschlagaufkommen pro Tag und Großkorbetha mit 1.476 TEU Umschlagaufkommen pro Tag werden ausreichend Umschlagvorgänge gebündelt, um eine Einstufung als Megahub zu rechtfertigen. Dabei ist Großkorbetha geringfügig besser zu bewerten, da im Rahmen der Optimierung dort bei gleichen mittleren Kosten pro beförderter TEU ein höheres Umschlagaufkommen als in Seddin zusammengeführt werden kann.

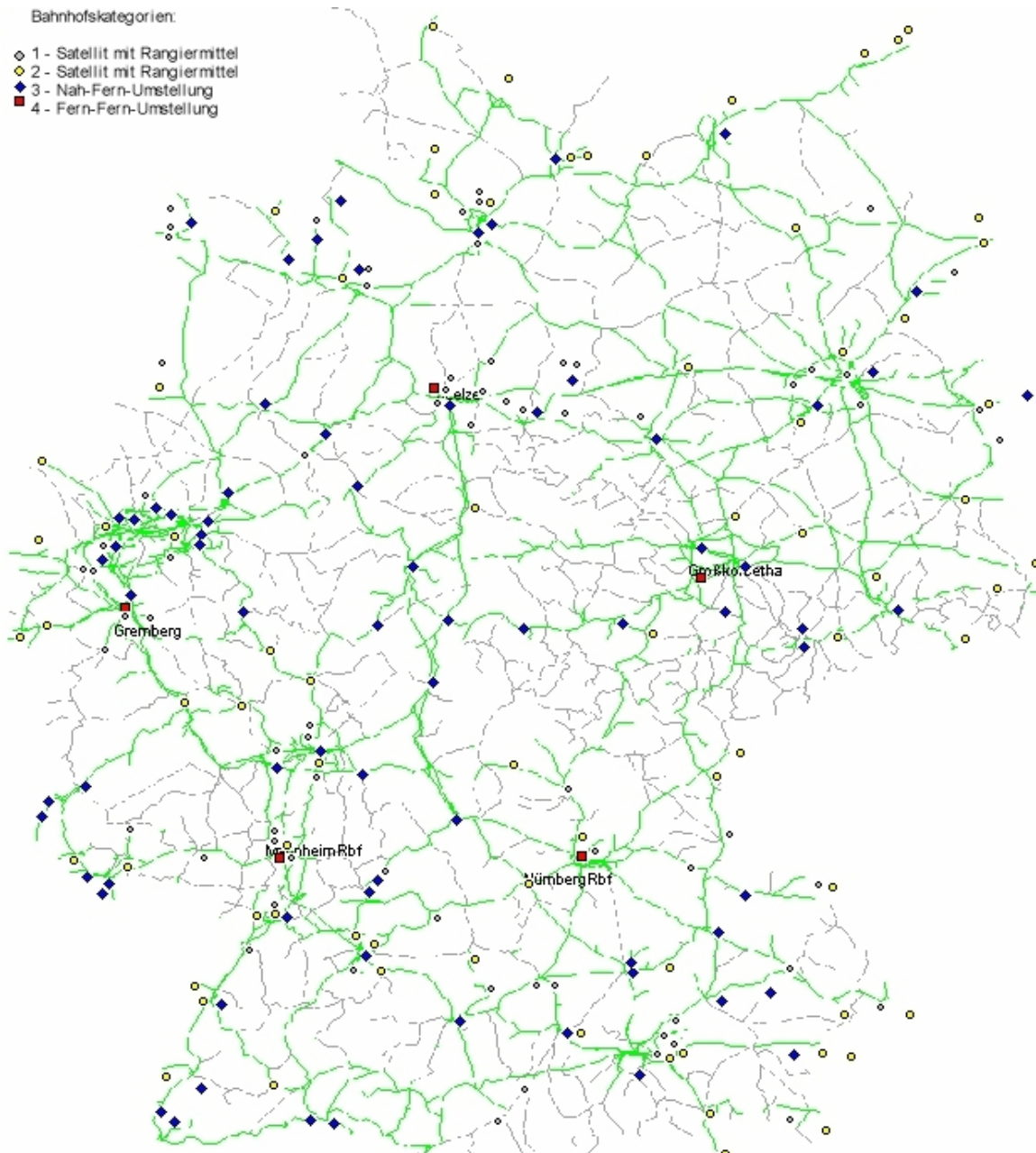


Abbildung 58 Szenario 5: Zuordnung der Bahnhofskategorien und Netz bei 5 zentralen Megahubs (rote Quadrate = Megahubs)

6.6.6.5 Variante 5: zusätzliche Megahubs in Großkorbetha und Mannheim Rbf

Aufbauend auf den Ergebnissen der Varianten 2 und 4 wird eine Kombination der bei getrennter Betrachtung positiv zu bewertenden Megahubs in Großkorbetha und Mannheim untersucht. Bei Umschlagkosten von 15,90 Euro in den beiden zusätzlichen Hubs sind die mittleren Kosten mit 87,6 Euro/TEU geringfügig geringer als bei allen vorhergehenden Varianten. Dabei erhält der Mega-

hub Mannheim Rbf ein Aufkommen von 1.302 TEU/Tag und der Megahub Großkorbetha ein Aufkommen von 1.142 TEU/Tag.

Aufgrund des Umschlagaufkommens sollte geprüft werden, ob die Bahnhöfe Großkorbetha und Mannheim Rbf sich als kleine Megahubs mit geringeren Fixkosten für die Infrastruktur gestalten lassen. Unter der Annahme, dass sich für beide Standorte ein reduzierter Umschlagkostensatz von 12 Euro/TEU realisieren lässt, reduzieren sich die mittleren Wagenkosten auf 86,3 Euro.

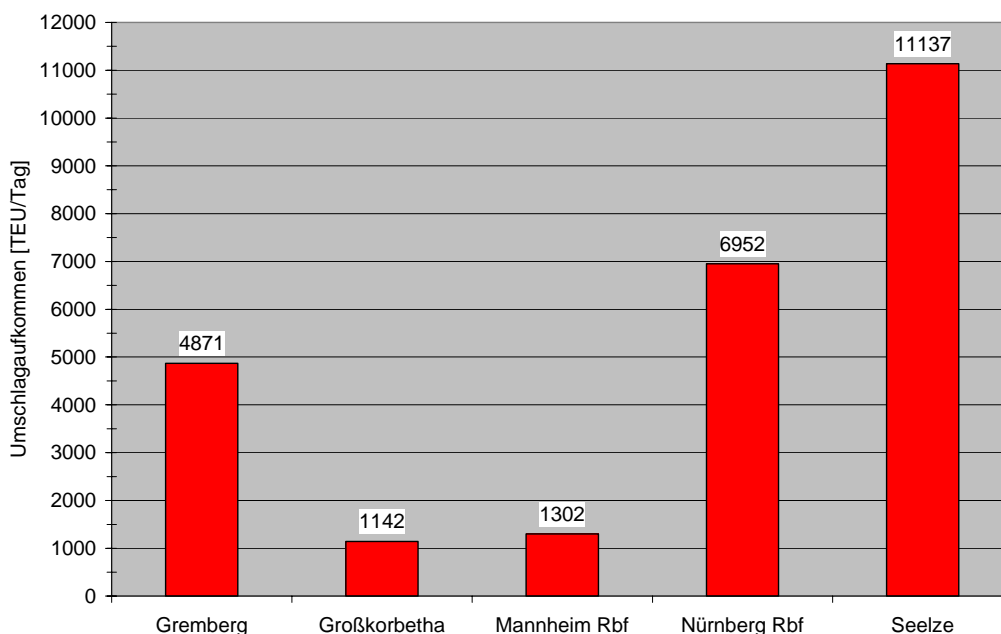


Abbildung 59 Umschlagaufkommen in den Megahubs – Szenario 5 mit den Megahubs Gremberg, Großkorbetha, Mannheim Rbf, Nürnberg Rbf und Seelze.

Aufkommen zwischen Megahubs [TEU/Tag]						
	Gremberg	Großkorbetha	Mannheim Rbf	Nürnberg Rbf	Seelze	Summe
Gremberg			631	509	1026	2166
Großkorbetha				339		339
Mannheim Rbf	629			300	431	1360
Nürnberg Rbf	545	205	268		1531	2549
Seelze	953	422	427	1532		3334
Summe	2127	627	1326	2680	2988	9748

Tabelle 15 Szenario 5: Wagenaufkommen zwischen den Megahubs

Züge zwischen Megahubs [Züge/Tag]						
von / nach	Gremberg	Großkorbetha	Mannheim Rbf	Nürnberg Rbf	Seelze	Summe
Gremberg			7	6	11	24
Großkorbetha				4		4
Mannheim Rbf	7			3	5	15
Nürnberg Rbf	6	3	3		16	28
Seelze	10	5	5	16		36
Summe	23	8	15	29	32	107

Tabelle 16 Szenario 5: Zugzahlen zwischen den Megahubs

Die Relationen zwischen den Megahubs werden mit Ausnahme der Relationen von und nach Großkorbetha von mindestens 3 Zügen am Tag bedient. Auch bei Vorgabe aller Megahub-Megahub-Relationen von und nach Großkorbetha als Vorrangkanten, das heißt mit einer verbindlichen Zugbildung auf dieser Relation unabhängig vom Verkehrsaufkommen, reicht das auf diesen Relationen gebündelte Aufkommen nicht für eine Zugbildung aus. Damit ist es bei dem Aufkommen, das den Simulationsrechnungen zugrunde gelegt wurde, nicht sinnvoll, diese Relationen zu bedienen.

6.7 Vergleich der Simulationsergebnisse der untersuchten Szenarien

Um das am besten geeignete Netzmodell für einen containerisierten Einzelwagenverkehr auszuwählen, sollen die Simulationsergebnisse der untersuchten Netzmodelle bzw. Szenarien nachfolgend hinsichtlich folgender Kriterien ausgewertet und miteinander verglichen werden:

- Transportkosten,
- Transportzeiten,
- Anzahl der bedienten Relationen und mittlere Auslastung der Züge,
- Anzahl der Umschläge je beförderter TEU,
- Bedienungshäufigkeit der bedienten Relationen.

6.7.1 Transportkosten

Wie Abbildung 60 zeigt, sind die Szenarien mit einem zentralen Megahub sowie mit 50 bzw. 150 dezentralen Hubs aus Kostengründen abzulehnen, da sie mit mittleren Kosten von 91,3 bis 93,3 Euro pro beförderter TEU auch unter Be-

rücksichtigung der Modellfehler des Programmsystems SIMTEG deutlich höhere Kosten verursachen als die anderen Szenarien.

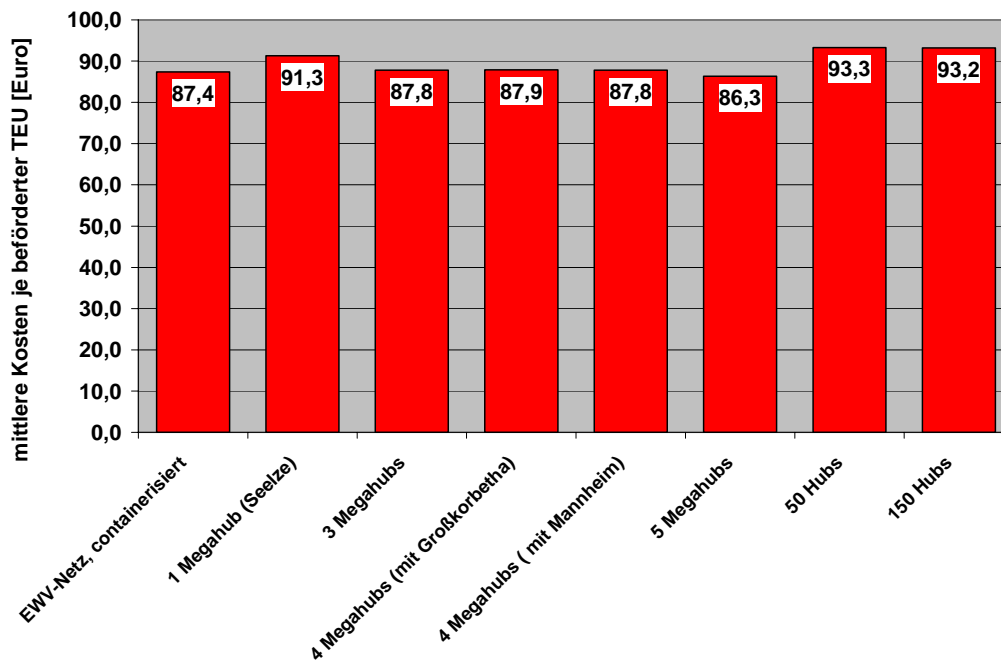


Abbildung 60 Vergleich der mittleren Kosten je beförderter TEU für die untersuchten Szenarien

Bei den verbleibenden Szenarien besitzt das Szenario mit 5 Megahubs mit durchschnittlich 86,3 Euro mittleren Kosten pro beförderter TEU die geringsten Kosten. Es ist damit um 1,1 Euro pro beförderter TEU billiger als das nächst günstigere Szenario. Allerdings ist dieser Kostenvorteil nicht groß genug, um mit letzter Sicherheit ausschließen zu können, dass der Unterschied nur im Modellfehler von SIMTEG begründet liegt. Dennoch sollte aus Kostensicht für weitere Untersuchungen ein Netz mit diesen 5 Megahubs favorisiert werden.

6.7.2 Transportzeiten

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl eines Netzmodells ist die Beförderungsdauer. Für die Beurteilung der Transportqualität sind dabei insbesondere zwei Zeitgrenzen von besonderem Interesse:

- Der Nachsprung von 18 Uhr bis 8 Uhr, entsprechend einer Transportdauer von 14 Stunden,
- Die Zustellung innerhalb eines Tages (24 Stunden Transportdauer).

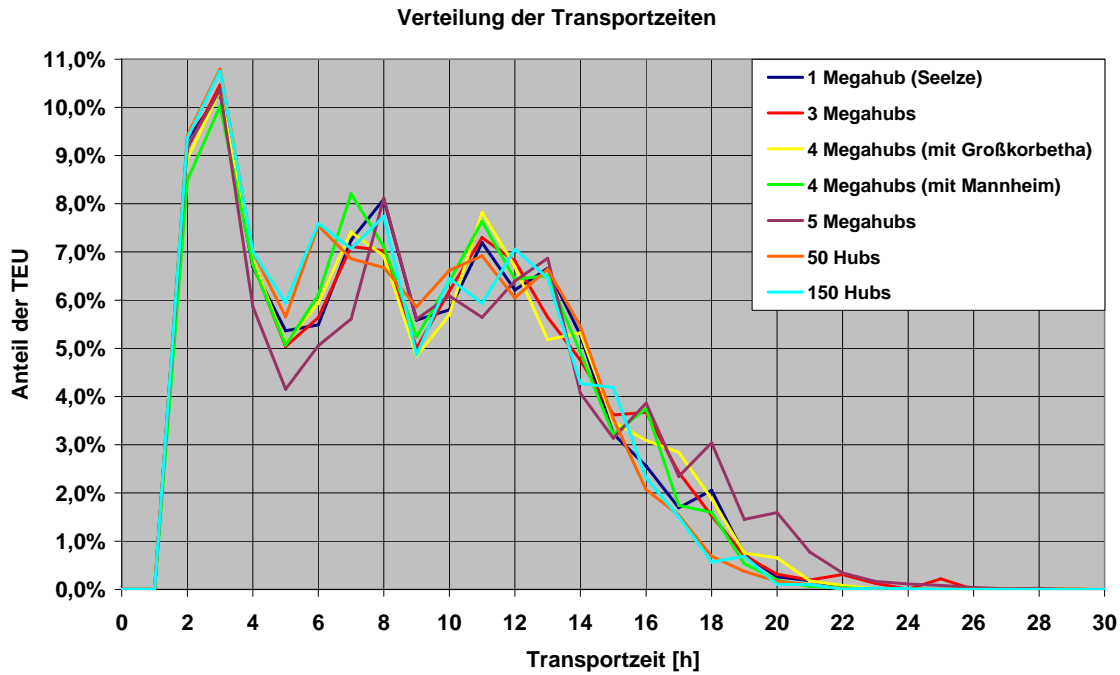


Abbildung 61 Verteilung der Transportzeiten für die untersuchten Szenarien

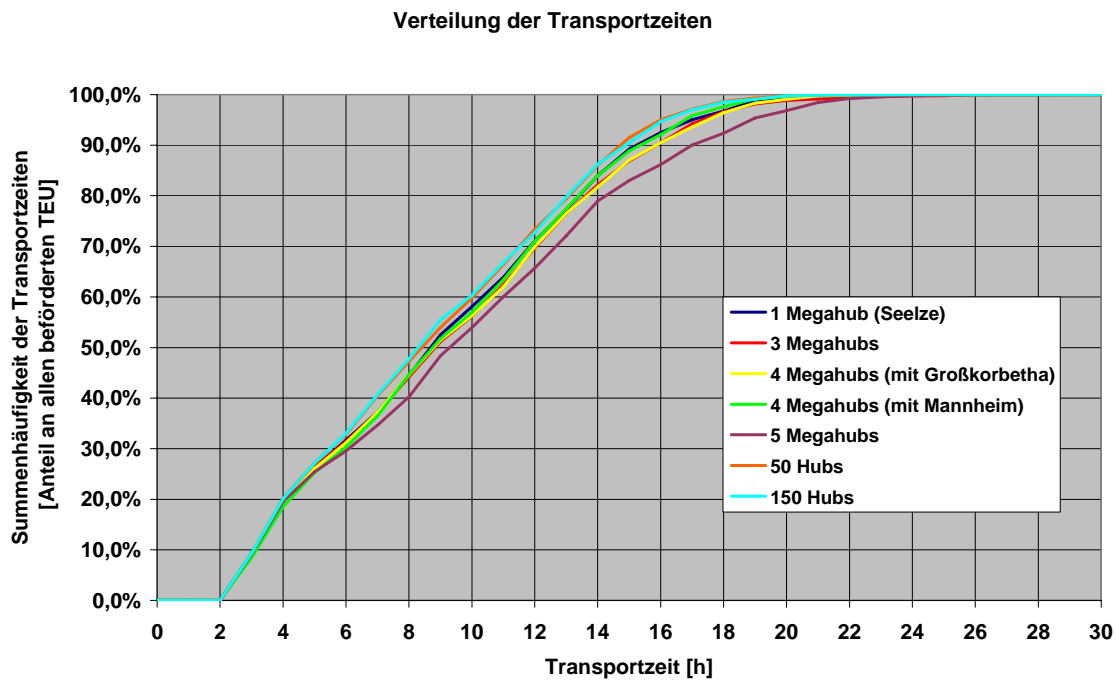


Abbildung 62 Summenhäufigkeitsverteilung der Transportzeiten für die untersuchten Szenarien

Wie die Abbildung 61 und Abbildung 62 zeigen, besitzen die untersuchten Szenarien alle sehr ähnliche Transportzeiten. Damit lässt sich aus Sicht der Transportzeiten kein Vorteil für ein Szenario ermitteln. Im Vergleich zum herkömmlichen Einzelwagenverkehr verkürzen sich bei allen untersuchten Szenarien die

Transportzeiten deutlich (vgl. Abbildung 68 und Abbildung 69). So können in allen untersuchten Szenarien mindestens 78 % aller TEU im Nachsprung befördert werden. Innerhalb von 24 Stunden werden in allen untersuchten Szenarien mehr als 99 % der TEU zugestellt. Damit können die Anforderungen der Verlagerer beim überwiegenden Teil der Transportvorgänge eingehalten werden.

6.7.3 Anzahl der bedienten Relationen und mittlere Auslastung der Züge

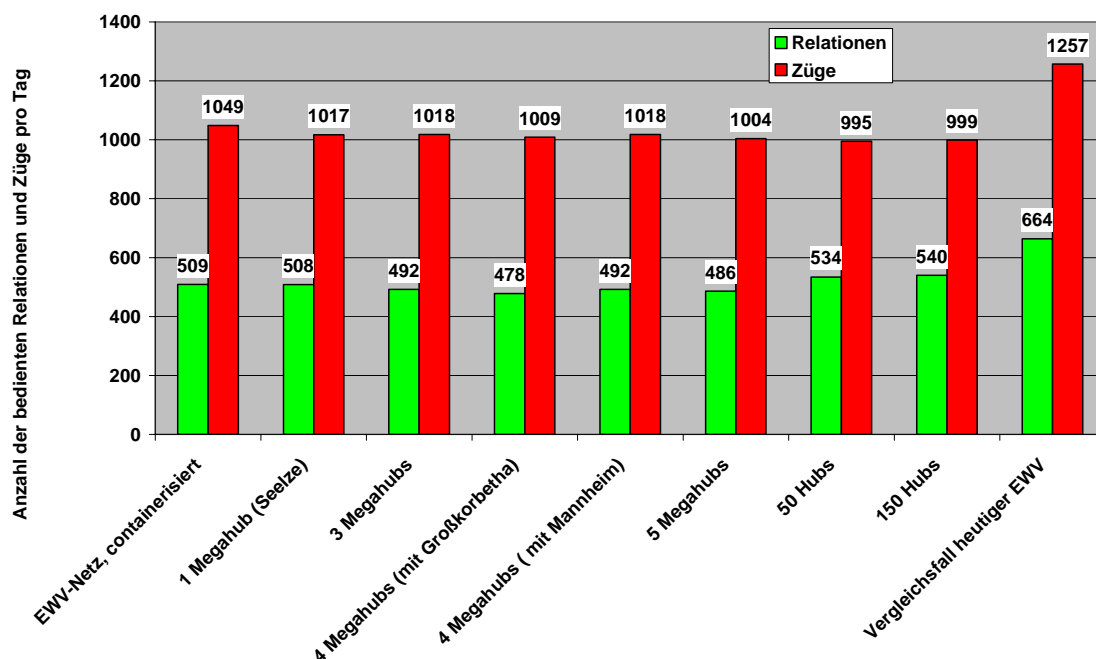


Abbildung 63 Anzahl der bedienten Relationen und Züge pro Tag für die untersuchten Szenarien

Hinsichtlich der Anzahl der bedienten Relationen und der mittleren Auslastung lassen sich, wie Abbildung 63 zeigt, die Szenarien für den containerisierten Einzelwagenverkehr in drei Gruppen aufteilen:

- Bei den Szenarien mit 3 bis 5 zentralen Megahubs werden weniger als 500 Relationen im Netz direkt bedient. Hier erfolgt eine starke Bündelung der Verkehre auf wenige stark belastete Relationen. Diese Netzmodelle besitzen auch die höchste mittlere Auslastung der Züge (vgl. Abbildung 64).
- Beim Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs und dem Netz mit einem zentralen Megahub werden 508 bzw. 509 Relationen bedient. Hier ist die Bündelung der Verkehre nicht so stark. Ursache hierfür sind beim Netz des heutigen Einzelwagenverkehrs die deutlich Höhere Anzahl an Megahubs, die ei-

ne weitergehende Bündelung verhindert. Bei nur einem zentralen Megahub werden viele Verkehre als Direktverkehre unter Umgehung des Megahubs gefahren. Die mittlere Auslastung der Züge ist bei diesen Szenarien geringer als bei den Szenarien mit 3 bis 5 zentralen Megahubs.

- Bei einer dezentralen Umschlagstruktur mit 50 bzw. 150 Hubs nimmt die Anzahl der bedienten Relationen weiter auf 534 bzw. 540 zu. Gleichzeitig weisen diese Netze die geringste Anzahl an Zugfahrten auf. Ursache hierfür ist die durch die große Anzahl an Hubs bedingte große Flexibilität bei der Routenwahl und Zugbildung. Gleichzeitig verhindert die disperse Netzstruktur eine Bündelung der TEU zu Zügen, so dass die mittlere Auslastung der Züge bei diesen Szenarien am geringsten ist. (vgl. Abbildung 64)

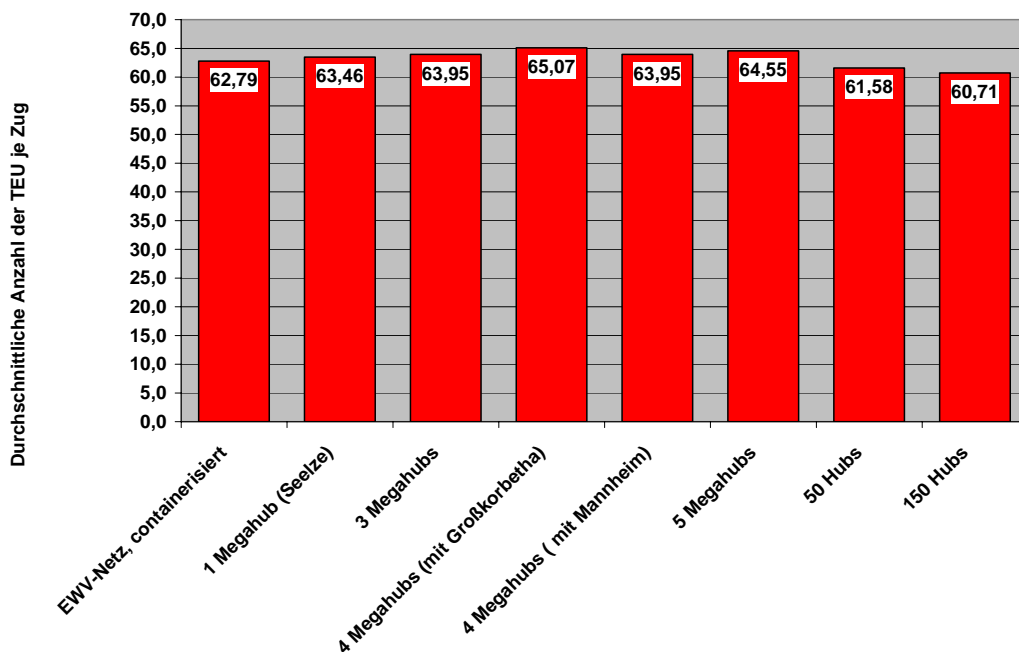


Abbildung 64 Mittlere Auslastung der Züge (TEU/Zug) für die untersuchten Szenarien

6.7.4 Umstellungshäufigkeit der beförderten TEU

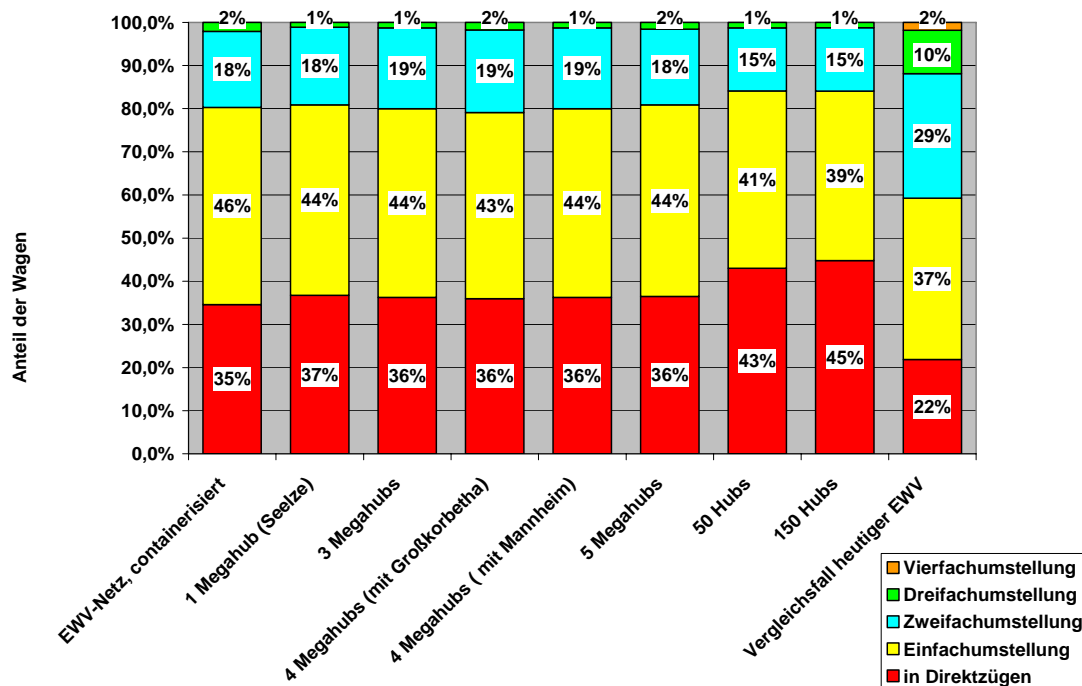


Abbildung 65 Anteil der Wagen/TEU ohne Umstellung, mit Einfach-, Zweifach-, Dreifach- und Vierfachumstellung für die untersuchten Szenarien

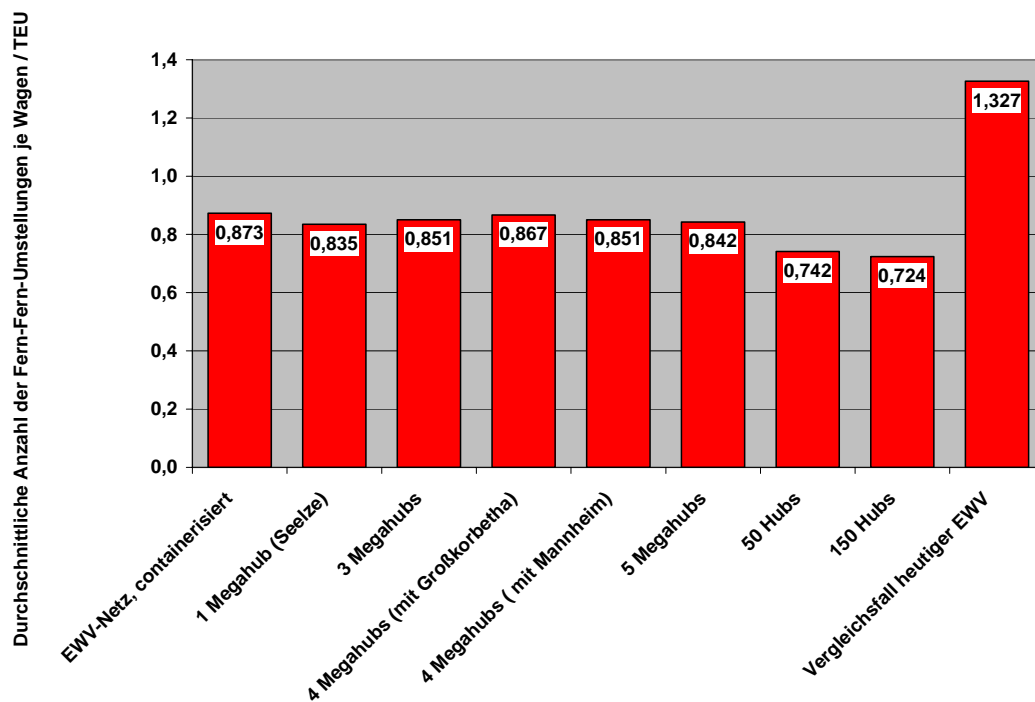


Abbildung 66 Durchschnittliche Anzahl der Fern-Umstellungen je Wagen für die untersuchten Szenarien

Wie Abbildung 65 und Abbildung 66 zeigen, führt eine Zentralisierung der Umstellvorgänge auf Megahubs zu einer größeren mittleren Anzahl an Umstellun-

gen als sie Netze mit vielen dezentralen Hubs besitzen. Die größere Anzahl an Umstellungen ist erforderlich, um eine Bündelung der Verkehre auf die stark belasteten Verbindungen zwischen den Megahubs zu ermöglichen, während die dispersen Verkehre bei dezentralen Hubs weniger Umschlagvorgänge erzeugen.

6.7.5 Bedienungshäufigkeit

Wie Abbildung 67 zeigt, ist die Bedienungshäufigkeit der bedienten Relationen in Netzen mit vielen dezentralen Hubs aufgrund der geringen Bündelung der Verkehrsströme am geringsten. Bei diesen Netzen liegt die mittlere Bedienungshäufigkeit mit 1,85 bzw. 1,86 Zugfahrten pro Tag um ca. 10 % unter den Bedienungshäufigkeiten der Netze mit zentralen Megahubs, die je nach Netzgestaltung bei 2,00 bis 2,11 Zugfahrten pro Tag liegt.

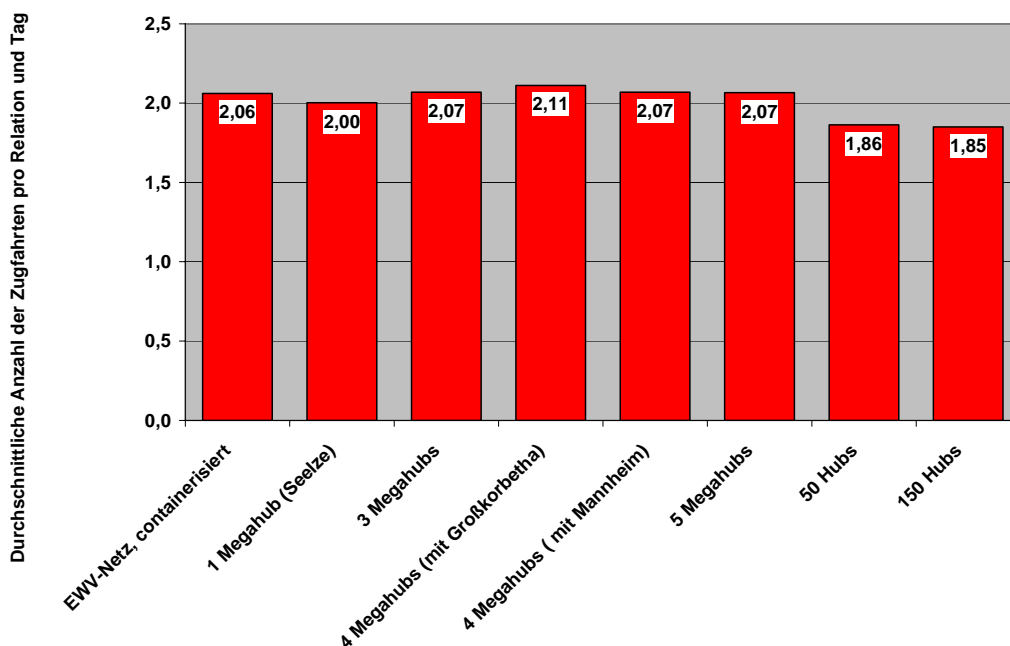


Abbildung 67 Durchschnittliche Anzahl der Zugfahrten pro Tag für die untersuchten Szenarien

6.7.6 Auswahl eines Netzmodells

Bei der Auswahl des am besten für einen containerisierten Einzelwagenverkehr geeigneten Netzmodells sind aufgrund der Anforderungen der Verloader (vgl. Kapitel 2.5) vorrangig die Kriterien Transportzeiten und Transportkosten zu beachten. Wie bereits dargestellt, sind alle Netzmodelle hinsichtlich der Trans-

portzeiten sehr ähnlich. Damit verbleiben als wesentliches Kriterium für die Auswahl die Transportkosten. Diese sind bei einem Netz mit 5 zentralen Megahubs am geringsten. Dieses Netzmodell ermöglicht die größte Bündelung der Verkehrsströme. Die daraus resultierende hohe Auslastung ermöglicht geringe Zugfahrtskosten. Bei den Umschlagkosten wird die höhere durchschnittliche Anzahl an Umschlägen pro TEU durch die geringeren Kosten pro Umschlag aufgrund der Bündelung der Umschlagvorgänge auf kostengünstige Megahubs kompensiert. Gleichzeitig ermöglicht die starke Bündelung der Verkehre bei einem Netzmodell mit 5 Megahubs eine häufige Bedienung aller Relationen. Damit schneidet dieses Netzmodell auch im Gesamtvergleich am günstigsten ab und wird deshalb als Grundlage der weiteren Betrachtungen zum containerisierten Einzelwagenverkehr verwendet.

6.8 Wettbewerbsfähigkeit des containerisierten Einzelwagenverkehrs

Für einen Qualitätsvergleich soll auf Grundlage der Ergebnisse der Modellrechnungen der containerisierte Einzelwagenverkehr hinsichtlich der bereits genannten wesentlichen Anforderung der Verlager mit einer Simulation des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs und dem heutigen Lkw-Verkehr verglichen werden. Die Simulation des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs erfolgt auf Grundlage der von Railion erhaltenen Testaufkommensdaten. Eine Plausibilitätsprüfung der Daten hat ergeben, dass es keine Anhaltspunkte dafür gibt, dass diese den herkömmlichen Einzelwagenverkehr nicht ausreichend gut wiedergeben. Die Ergebnisse für den herkömmlichen Einzelwagenverkehr und die Schlussfolgerungen in Zusammenhang mit diesem beziehen sich ausschließlich auf diese Beispieldatei.

6.8.1 Transportzeiten

Durch die Containerisierung des Einzelwagenverkehrs lassen sich auf Grundlage der Ergebnisse der Modellrechnungen, wie Abbildung 68 und Abbildung 69 zeigen, die Transportzeiten im Schienengüterverkehr im Vergleich zum herkömmlichen Einzelwagenverkehr um durchschnittlich 40,5 % reduzieren. Für 3,8 % aller Relationen ergeben sich Reisezeitverlängerungen von bis zu 10 Stunden. Für die anderen 96,2 % aller Relationen verkürzt sich die Reisezeit

um bis zu 30 Stunden.

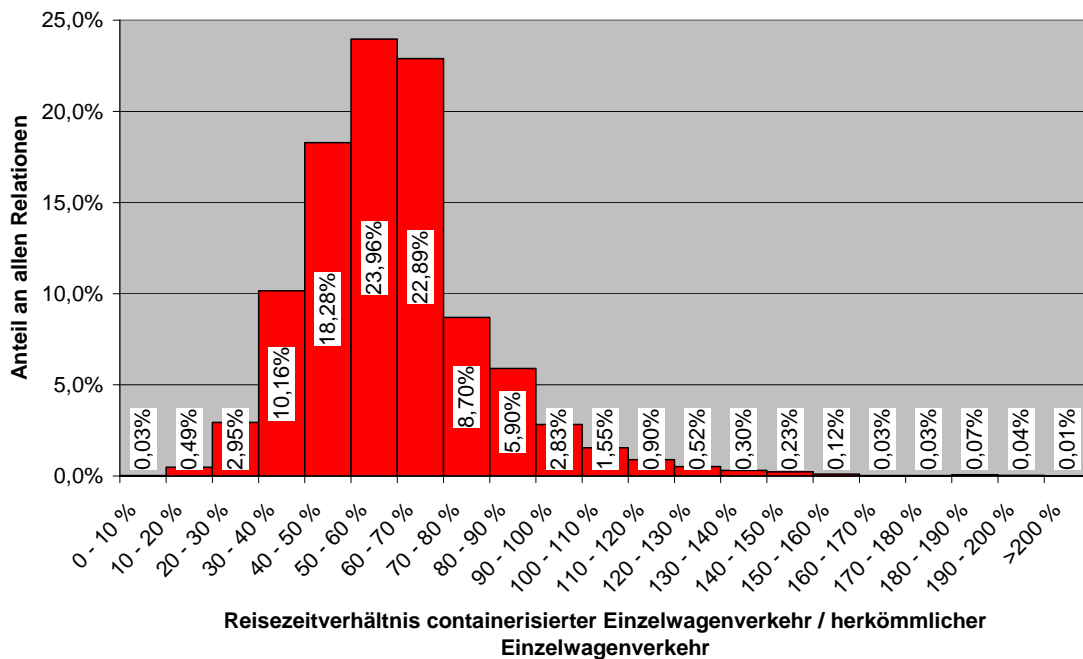


Abbildung 68 Transportzeitenverhältnis zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr und herkömmlichen Einzelwagenverkehr

Im containerisierten Einzelwagenverkehr werden innerhalb eines Nachtsprungs von 18 Uhr bis 8 Uhr des folgenden Tages (14 Stunden Beförderungsdauer) 78,9 % aller TEU befördert. Innerhalb von 24 Stunden können mit 99,7 % fast alle TEU ihr Ziel erreichen. Damit werden die Transportzeiten deutlich reduziert und erreichen eine den Anforderungen der Verlagerer entsprechende Qualität, die mit der Qualität des Lkw vergleichbar ist.

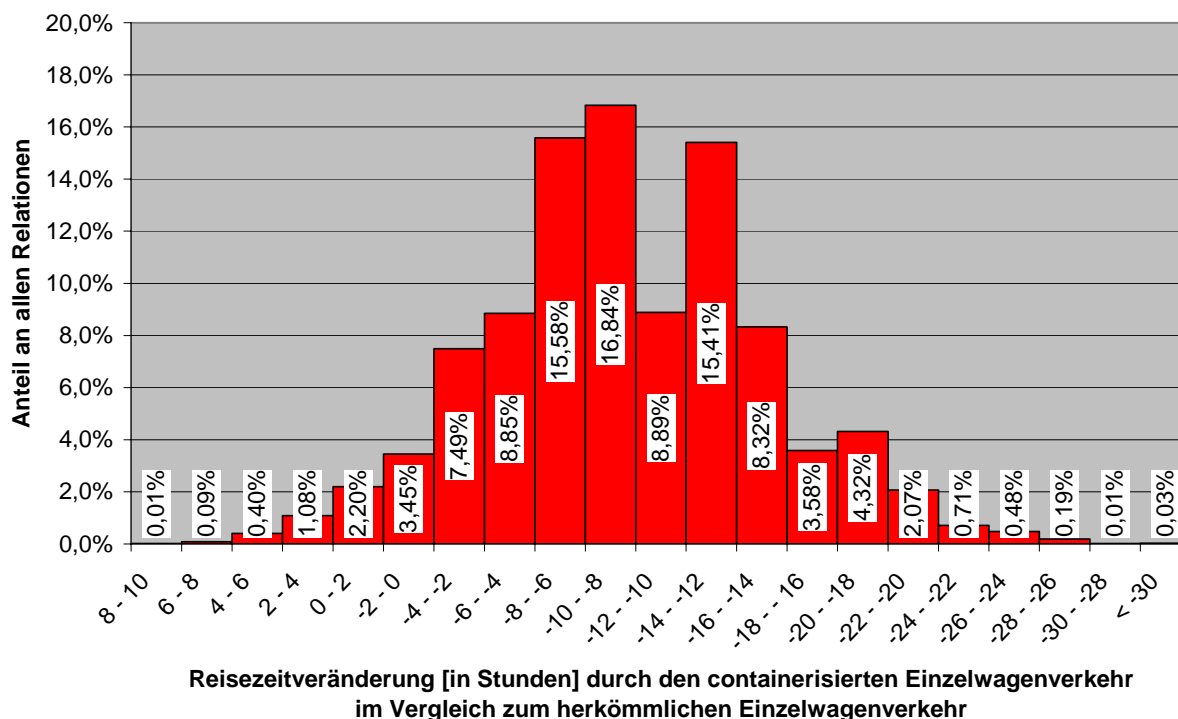


Abbildung 69 Transportzeitveränderung zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr und herkömmlichen Einzelwagenverkehr

6.8.2 Räumliche Verfügbarkeit

Die Containerisierung führt zu einer deutlichen Verbesserung der räumlichen Verfügbarkeit des Schienengüterverkehrs, da auch potenzielle Kunden, die nicht über einen Gleisanschluss verfügen, in einfacher Form bedient werden können. Wie bereits bei den Umschlagsystemen dargestellt, können die Container durch vergleichsweise preisgünstige auf Straßenfahrzeugen montierte Umschlagsysteme auf Lkw umgeladen und im Nahverkehr an den Zielpunkt befördert werden. Damit wird der Schienengüterverkehr künftig wieder flächendeckend verfügbar sein.

6.8.3 Zuverlässigkeit

Die Transportzuverlässigkeit hängt auch in Zukunft wesentlich von der Zuverlässigkeit des Schienengüterverkehrs ab. Insofern sind in diesem Bereich keine unmittelbaren Verbesserungen durch die Containerisierung zu erwarten: Allerdings führt die Bündelung der Verkehre im Fernverkehr auf wenige Megahubs zu einer Erhöhung der Zugfrequenz zwischen den Megahubs, so dass bei Verspätungen flexibler reagiert werden kann. Außerdem ermöglicht die Containeri-

sierung in Ausnahmefällen bei Verzögerungen einen flexiblen Transport mit dem Lkw. Insofern ist durch die Containerisierung zumindest eine geringfügige Steigerung der Zuverlässigkeit des Schienengüterverkehrs zu erwarten.

6.8.4 Transportkosten

Zum Vergleich der Ergebnisse der Simulationen des containerisierten Einzelwagenverkehrs wird zusätzlich der herkömmliche Einzelwagenverkehr mit den für den containerisierten Einzelwagenverkehr zugrunde gelegten Kostensätzen simuliert. Die Kosten pro beförderten Wagen betragen im herkömmlichen Einzelwagenverkehr 221,3 Euro/Wagen.

Aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsmengen ist zum Vergleich der Kosten des containerisierten Einzelwagenverkehrs mit dem herkömmlichen Einzelwagenverkehr und dem Lkw-Verkehr eine Umrechnung auf eine transportleistungsspezifische Kenngröße erforderlich. Daher erfolgt eine Umrechnung der Transportkosten auf den Tonnenkilometer. Dabei wurden für den Eisenbahntransport, um durch unterschiedliche Routenwahl bedingte Verzerrungen zu vermeiden, nicht die tatsächliche Transportleistung sondern die aufgrund der einheitlichen Tarifentfernung berechnete Transportleistung zugrunde gelegt.

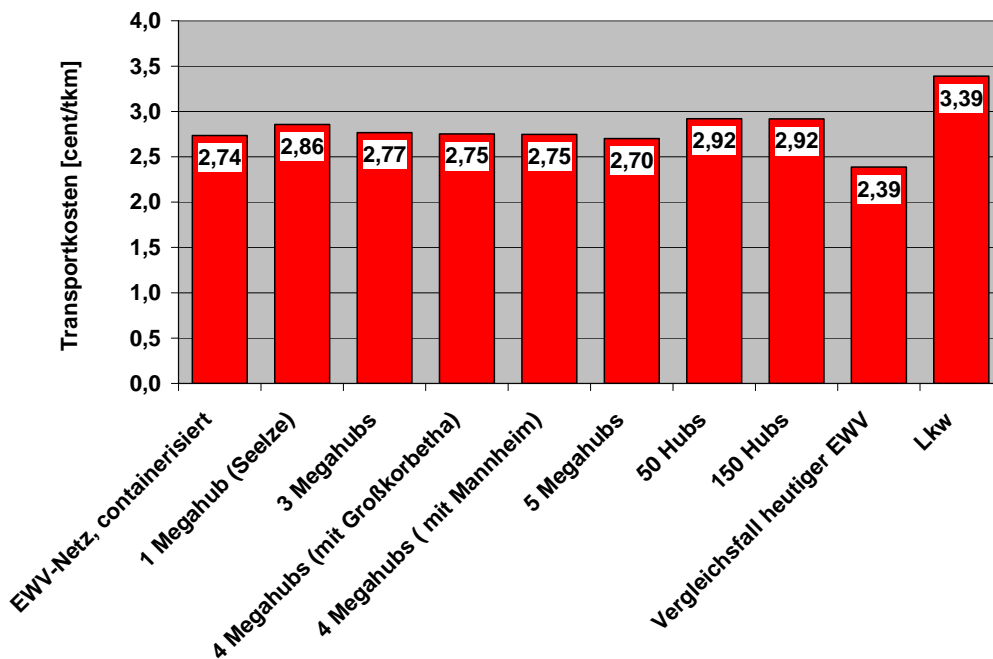


Abbildung 70 Kostenvergleich (cent/tkm) zwischen containerisiertem Einzelwagenverkehr, herkömmlichen Einzelwagenverkehr und Lkw für die untersuchten Szenarien

Bei der Produktion des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs entstehen Kosten von 2,39 cent/tkm. Der containerisierte Einzelwagenverkehr verursacht im favorisierten Szenario mit 5 zentralen Megahubs Kosten von 2,70 cent/tkm. Damit ist der herkömmliche Einzelwagenverkehr um 11,5 % billiger als der containerisierte Einzelwagenverkehr. Der Lkw-Transport ist allerdings mit 3,39 cent/tkm¹⁶² um 25,6 % teurer als der containerisierte Einzelwagenverkehr.

6.8.5 Schlussfolgerungen zur Wettbewerbsfähigkeit

Aufgrund der Simulationsergebnisse des containerisierten Einzelwagenverkehrs und des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs ist auf Basis der von Railion erhaltenen Testdaten zu schließen, dass der containerisierte Einzelwagenverkehr die Anforderungen der Verlager in deutlich besserer Form als der herkömmliche Einzelwagenverkehr erfüllt. Dabei können die höheren Produktionskosten des containerisierten Einzelwagenverkehrs durch eine wesentlich verbesserte Qualität der Leistung kompensiert werden. Auf Basis der Simulationsergebnisse ist der containerisierte Einzelwagenverkehr auch im Vergleich zum Lkw-Transport wettbewerbsfähig, da er bei weiterhin deutlich geringeren Produktionskosten für die Transportleistung eine Qualität erbringt, die annähernd der des Lkw-Transports entspricht.

¹⁶² Kosten aus: *Bundesministerium für Bildung und Forschung (Auftraggeber) (2004)*, Kapitel XIX-Angebotsgestaltung, Seite XIX-7

7 Migrationsbetrachtungen

Die Umstellung auf das System des containerisierten Einzelwagenverkehrs erfordert erhebliche Investitionen in Infrastruktur und Fahrzeuge. Die wesentlichen Investitionskosten ergeben sich aus der Erstellung der Megahubs und Hubs sowie der Beschaffung einer ausreichenden Anzahl von Containern und Tragwagen. Auf Grundlage der Investitionskosten für die Megahubs sowie für Container und Tragwagen, die die Tabelle 17 zeigt, lässt der Investitionsbedarf für das favorisierte Szenario mit 5 Megahubs überschlägig auf 1.970 Mio. Euro schätzen.

Abschätzung der Investitionskosten für einen containerisierten Einzelwagenverkehr			
Anzahl	Position	Stückkosten [Mio. Euro]	Gesamtkosten [Mio. Euro]
<u>Megahubs</u>			
1	Megahub Gremberg (8 Kräne)	60	60
1	Megahub Großkorbetha (2 Kräne, verminderte Infrastruktur)	25	25
1	Megahub Mannheim Rbf (2 Kräne, verminderte Infrastruktur)	25	25
1	Megahub Nürnberg Rbf (11 Kräne)	75	75
1	Megahub Seelze (2 x 8 Kräne)	110	110
	<u>Summe Megahubs</u>		<u>295</u>
<u>Container</u>			
22.039	Container (Basis: 318.400 TEU-h Containereinsatz pro Tag für die Transportzeiten sowie 422.112 TEU-h Containereinsatz für 35.176 TEU Transportvolumen bei pauschal 12 h Zeitbedarf je Transport. In der Summe ergeben sich 740.512 TEU-h Containereinsatz pro Tag, das entspricht 30.855 TEU. Bei 1,4 TEU/Container entspricht das 22.039 Containern.)	0,0088	194
	<u>Summe Container</u>		<u>194</u>
<u>Tragwagen</u>			
12.342	Tragwagen (Basis 30.855 TEU bei 2,5 TEU pro Tragwagen)	0,120	1.481
	<u>Summe Tragwagen</u>		<u>1.481</u>
<u>Gesamtinvestition</u>			<u>1.970</u>

Tabelle 17 Ermittlung der Gesamtinvestitionskosten für die Einführung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs

Die Einführung des containerisierten Einzelwagenverkehrs kann in fünf Phasen erfolgen, die nachfolgend beschrieben werden. Dabei sollte zumindest nach Umsetzung jeder einzelnen Phase geprüft werden, ob in der jeweils abge-

schlossenen Umsetzungsphase Hindernisse aufgetreten sind, die eine Einführung des containerisierten Einzelwagenverkehrs beeinflussen können.

Phase 1: Verfeinerte Studien im Rahmen eines Phased Project Plannings

Um eine Umstellungsentscheidung auf einer hinreichend gefestigten Basis zur technischen Machbarkeit und zur Wirtschaftlichkeit des neuen Systems zu treffen, sollten in einem ersten Schritt, aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit, im Rahmen eines Phased Project Planning¹⁶³ weitere vertiefende Studien zu Detailfragestellungen des containerisierten Einzelwagenverkehrs durchgeführt werden. Neben den in dieser Arbeit behandelten Fragestellungen, die in Detailfragestellungen eine weitere Vertiefung erfordern, haben sich im Rahmen dieser Arbeit auch weitere Fragestellungen ergeben, die einer detaillierten Betrachtung bedürfen. Diese sind beispielsweise:

- Wo soll die genaue Lage der Umschlagpunkte (Hubs und Megahubs) sein?
- Wie sieht unter Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen ein optimales Netz des containerisierten Einzelwagenverkehrs aus?
- Durch welche Anreize lässt sich die Bereitschaft der Verlagerer erhöhen, einen containerisierten Einzelwagenverkehr zu nutzen?
- Wie ist eine optimale Nahbereichsbedienung (Satellit – Gleisanschluss) für den containerisierten Einzelwagenverkehr zu gestalten?

Phase 2: Überprüfung der technischen Machbarkeit anhand von Prototypen und Baumustern

Für die Umsetzung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs ist die Erprobung einer Vielzahl neuer Systeme und technischer Komponenten an Fahrzeugen und Containern sowie im Bereich der Umschlaganlagen erforderlich. So müssen zum Beispiel im Bereich der Umschlaganlagen noch viele für den automatischen Umschlag im Megahub erforderliche Komponenten erprobt werden. Bei den Fahrzeugen und Containern sind beispielsweise Komponenten für eine optimierte Schüttgutentladung zu entwickeln und zu erproben.

Für diese Komponenten sind zunächst Prototypen oder Baumuster zu entwickeln, die im Einsatz erprobt werden. Nur so lässt sich sicherstellen, dass die Systeme auch unter ungünstigen Umweltbedingungen sicher und zuverlässig funktionieren. Sobald die erforderlichen Komponenten vorhanden sind, kann

¹⁶³ Ottemeier, Dieter (2003)

deren Zusammenspiel im Rahmen einer Demonstrationsanwendung überprüft werden.

Phase 3: Umsetzung eines Demonstrationsverkehrs

Nach der getrennten Erprobung der einzelnen Komponenten eines containerisierten Einzelwagenverkehrs muss im Rahmen einer oder mehrerer Demonstrationsanwendungen das Zusammenspiel aller Komponenten erprobt werden. Neben den technischen Fragstellungen sollen im Rahmen der Demonstrationsanwendungen auch die logistischen Auswirkungen einer Containerisierung in der Praxis erprobt werden. Von besonderem Interesse aus logistischer Sicht sind die veränderten logistischen Abläufe in den Gleisanschlüssen. Unter anderem ist zu prüfen, welche Vorteile sich für die Verloader aus der zusätzlichen Flexibilität des containerisierten Einzelwagenverkehrs ergeben und wie sich der Nachteil des geringeren Ladevolumens der Container auf die Gleisanschlusslogistik auswirkt.

Um Erfahrungen für die gesamte Bandbreite der Transportaufgaben im Einzelwagenverkehr zu gewinnen, sollten Demonstrationsanwendungen für alle wichtigen Gutarten des Einzelwagenverkehrs durchgeführt werden. Dabei können die containerisierten Transporte der Demonstrationsanwendungen zunächst im herkömmlichen Einzelwagenverkehr befördert werden. Die Erkenntnisse aus den Demonstrationsanwendungen sind dann die Grundlage für die Optimierung der technischen Komponenten und der logistischen Abläufe des containerisierten Einzelwagenverkehrs.

Sobald bei den Demonstrationsanwendungen auftretende Probleme und Schwierigkeiten gelöst sind, kann mit der Umsetzung des Gesamtkonzeptes für den containerisierten Einzelwagenverkehr begonnen werden.

Phase 4: Umstellung einer Region

Aufgrund des großen Investitionsvolumens ist eine unmittelbare Umstellung des gesamten herkömmlichen Einzelwagenverkehrs auf einen containerisierten Einzelwagenverkehr nicht umsetzbar. Daher sollte die Umstellung in einzelnen Schritten erfolgen. Grundsätzlich kann diese schrittweise Umstellung entweder relationsbezogen oder regional erfolgen.

Bei einer relationsbezogenen Umstellung werden zunächst bestimmte ausgewählte Relationen in ganz Deutschland auf einen containerisierten Einzelwa-

genverkehr umgestellt. Dieses hätte zur Folge, dass in ganz Deutschland beide Systeme parallel betrieben würden. Entsprechend müsste die Infrastruktur für beide Systeme in ganz Deutschland parallel vorgehalten werden, bis der herkömmliche Einzelwagenverkehr komplett umgestellt ist. Eine derartige Vorgehensweise wäre mit hohen Kosten für die Umstellungsphase verbunden.

Bei einer regionalen Umstellung würde zunächst der komplette Einzelwagenverkehr einschließlich der Umschlagtechnik einer Bedienungsregion (entsprechend dem Einzugsbereich eines Rangierbahnhofes oder Megahubs) umgestellt. Voraussetzung für die Umstellung der Umschlagtechnik ist die Containerisierung des gesamten Verkehrsaufkommens in der Region, da in den Megahubs nur containerisierte Transporte umgeschlagen werden können. Bis zur vollständigen Containerisierung aller Transporte der Region erfolgt die Umstellung in den herkömmlichen Rangierbahnhöfen, weil dort auch containerisierte Transporte umgestellt werden können. Erst wenn die Transporte dieser Region komplett containerisiert sind, können die herkömmlichen Rangierbahnhöfe durch Hubs und Megahubs ersetzt werden.

Phase 5: Gesamtumstellung

In der letzten Phase erfolgt nacheinander eine Umstellung aller Regionen auf einen containerisierten Einzelwagenverkehr.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Trotz umfangreicher Bemühungen seitens der Eisenbahnverkehrsunternehmen stagniert das Transportaufkommen im Schienengüterverkehr seit Jahren bei rund 80 Mrd. tkm. Besonders problematisch stellt sich die Situation im Einzelwagenverkehr dar, der sogar mit tendenziell rückläufigen Verkehrsmengen zu kämpfen hat. Die Analyse der Ursachen für diese Entwicklung ergab erhebliche Qualitätsdefizite bei den Transportzeiten und bei der Flexibilität der Transportabwicklung im Einzelwagenverkehr, so dass dieser nur beschränkt wettbewerbsfähig gegenüber anderen Verkehrsträgern, insbesondere dem Lkw-Verkehr, ist.

Eine Analyse bisheriger Versuche, die Qualität des Einzelwagenverkehrs zu verbessern, hat gezeigt, dass diese keine durchgreifenden Wirkungen gezeigt haben. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher mit der vollständigen Containerisierung des Einzelwagenverkehrs ein vollkommen neuer Ansatz zur Verbesserung der Qualität des Einzelwagenverkehrs untersucht. Wesentliche Komponente des neuen Systems ist der vollständige Ersatz der herkömmlichen Güterwagen durch eine Kombination aus Containertragwagen und Containern. Gleichzeitig erfolgt der Ersatz der herkömmlichen Rangierbahnhöfe durch zentrale Megahubs, in denen die Container mit leistungsfähigen Umschlaganlagen (Kränen) von einem Zug auf einen anderen Zug umsteigen können.

Bisherige Ansätze zur Containerisierung der Transporte und Integration in den Kombinierten Ladungsverkehr sind immer daran gescheitert, dass eine Analyse des Aufkommens im Einzelwagenverkehr einen zu geringen containerisierbaren Anteil an den Transporten ergeben hatte, um ein containerbasiertes System wirtschaftlich betreiben zu können. Da in den vergangenen Jahren eine deutliche Weiterentwicklung der Container erfolgt ist, wurden in dieser Arbeit die heute verfügbaren Containerbauarten und die Abläufe im Containerverkehr analysiert. Anschließend wurde auf Grundlage eines entscheidungstheoretischen Modellansatzes ermittelt, welcher Anteil der Transporte im Einzelwagenverkehr containerisierbar ist. Dabei hat sich gezeigt, dass inzwischen über 80 % der Transporte in Containern befördert werden können und damit eine Containerisierung nicht länger aufgrund eines zu geringen containerisierbaren Aufkommens ausscheidet.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde anschließend untersucht, welche Auswirkungen die Containerisierung auf die Produktion und die Netzstruktur des Einzelwagenverkehrs und die Lage der Umschlagpunkte hat. Im Rahmen von Simulationsrechnungen wurden fünf verschiedene Szenarien für die Netzgestaltung eines containerisierten Einzelwagenverkehrs untersucht und hinsichtlich der Transportzeiten und der Kosten miteinander verglichen. Im Hinblick auf die Transportzeiten zeigten alle Netze eine sehr ähnliche Qualität. Im Hinblick auf die Transportkosten hat sich ein Netz mit 5 zentralen Megahubs in Gremberg (Köln), Großkorbetha (Leipzig), Mannheim Rbf, Nürnberg Rbf und Seelze (Hannover) als am besten geeignet erwiesen.

Ein Vergleich mit dem herkömmlichen Einzelwagenverkehr und dem Lkw-Verkehr auf Grundlage der verwendeten Testdaten hat gezeigt, dass sich die Transportzeiten im containerisierten Einzelwagenverkehr gegenüber dem herkömmlichen Einzelwagenverkehr im Mittel um etwa 40 % reduzieren lassen und damit konkurrenzfähig gegenüber dem Lkw-Verkehr sind. Die Transportkosten liegen zwar im Durchschnitt 15 % höher als im herkömmlichen Einzelwagenverkehr, sind aber immer noch deutlich geringer als die eines Lkw-Transportes.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde nachgewiesen, dass ein containerisierbarer Einzelwagenverkehr grundsätzlich umsetzbar ist und wirtschaftlich sein kann. Allerdings bedarf es noch ergänzender Untersuchungen von Detailfragestellungen, um eine endgültige Entscheidung pro oder contra containerisiertem Einzelwagenverkehr treffen zu können. Im Rahmen der Migrationsbetrachtungen sind einige dieser Fragestellungen bereits genannt worden. Der nächste Schritt sollte allerdings die Entwicklung eines Algorithmus für eine Optimierung der Netzgestaltung des containerisierten Einzelwagenverkehrs sein, der die Modellfehler des Programmsystems SIMTEG vermeidet und damit auch eine kleinräumige Optimierung der Netzgestaltung ermöglicht.

Bei der Simulation des containerisierten und des herkömmlichen Einzelwagenverkehrs mit den zur Verfügung gestellten Testdaten zeigte sich, dass eine Containerisierung neben stark verkürzten Transportzeiten bei geringfügig höheren Kosten auch zusätzliche Flexibilitätsgewinne bei der Transportabwicklung und der räumlichen Verfügbarkeit erzeugen kann. Damit ist der containerisierte Einzelwagenverkehr eine Möglichkeit, die flächendeckende Verfügbarkeit des Schienengüterverkehrs in Deutschland wiederherzustellen.

Literatur

ACTS AG (2006)

Internetseite: www.acts.ch

Abel, Heiko; Grotian, Jobst und andere (2003)

Verstöße gegen Vorschriften im Straßengüterverkehr, in: Güterbahnen, Heft 1/2003.

Arnold, Dieter, Isermann, Heinz und andere (Hrsg.) (2002)

Handbuch Logistik, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2002.

Bamberg, Günter und Adolf G. Coenenberg (2004)

Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, Verlag Franz Wahlen, München, 2004.

Barkhausen, Dirk (2000)

Innovative Techniken im Schienengüterverkehr; in: Eisenbahntechnische Rundschau; Heft 4/2000

Beisler Lothar (1995)

Effiziente Produktionsstrukturen für den Kombinierten Verkehr; in: Eisenbahntechnische Rundschau; Heft 4/1995

Beisler Lothar; Ketter, Jürgen und Peter Molle (1995)

Rationalisierung bei der Zugbildung und Nahbereichsbedienung im Schienengüterverkehr; in: Eisenbahntechnische Rundschau; Heft 4/1995

Berndt, Thomas (2001)

Eisenbahngüterverkehr, 1. Auflage, Verlag B.G. Teubner, Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden, Juni 2001.

Bronner, Rolf (1989)

Planung und Entscheidung, Grundlagen, Methoden, Fallstudien, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München 1989.

Buchholz, Jonas und Klaus-Martin Melzer (1996)

Logistische Ansätze für die Güterbahn der Zukunft, in: ZEV + DET Glasers Annalen, Heft 3/1996.

Bundesamt für den Güterverkehr (Hrsg.) (2005)

Statistische Mitteilungen, Reihe 8: Kraftverkehr, Güterverkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge, Ausgabe Dezember 2004, Köln 2005.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (Auftraggeber) (2004)

Machbarkeitsstudie Individualisierter Schienengüterverkehr IVSGV, Förderkennzeichen 19G1050, bearbeitet durch: Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, Universität GH Essen, Institut für Verkehrswesen und Verkehrsbau, Universität Hannover, Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Logistik, Interdisziplinärer Forschungsverbund Bahntechnik e.V., Berlin 2004.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2000)

Verkehrsbericht 2000 – Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft, Berlin 2000.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2003)

Verkehr in Zahlen 2003/04, Hamburg 2003.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2005)

Bundesverkehrswegeplan, Die Gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik, Anwenderhandbuch, Teil IIIA Ergänzungen Schiene, Bonn, Januar 2005.

Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.) (2000)

Bahn im Wettbewerb – Wachstum durch Leistung, Ansichten industrieller Verlager zum Schienengüterverkehr, Ergebnisse einer Umfrage des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI) e.V. bei Industriekunden der Güterbahn, Berlin, 2000.

DB Cargo AG (Hrsg.) (2001)

MORA C: Sanierungskonzept für den Einzelwagenverkehr liegt vor, in: Cargo Aktuell, Nr. 2/April 2001, Mainz 2001.

DB Cargo AG (Hrsg.) (2003)

Neue Einzelwagenprodukte, Produktoffensive DB Cargo, in: Cargo Aktuell, Heft 3/2003.

DB Energie GmbH (Hrsg.) (2006)

Bahnstrompreisregelung, Anlage 4 zum Rahmenstromliefervertrag, Preisblatt, Stand 01/2006.

DB Netz AG (Hrsg.) (2004)

Trassenmanagement, gültig ab 01.02.2004.

DB Netz AG (Hrsg.) (2004a)

Anlagenpreissystem, gültig ab 01.01.2004.

DB Systemtechnik (Hrsg.) (2005)

Endbericht „Simulation Strategischer Produktionskonzepte“ (SSP) im Rahmen des Innovations-Projekts: „Simulation und Planung von Produktionskonzepte im GV“ SipKon, 2002.

Deutsche Bahn AG (Hrsg.) (2005)

Daten & Fakten 2004, Informationsbroschüre, Berlin 2005.

Deutsche Bahn AG (Hrsg.) (2005a)

Handbuch 939.05, Güterwagen und Ladeeinheiten der Deutschen Bahn AG, Neudruck, gültig ab 01.04.2005, Minden 2005.

Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (1991)

DIN 15190-101, Frachtbehälter; Binnencontainer; Hauptmaße, Eckbeschläge, Prüfungen, Ausgabe 1991.

Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (1995)

EN ISO 6346, ISO-Container, Kodierung, Identifizierung und Kennzeichnung, Ausgabe Januar 1996.

Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (1999)

DIN ISO 668, ISO-Container der Reihe 1, Ausgabe Oktober 1999.

Domschke, Wolfgang (1995)

Logistik: Transport, 4. Auflage, Verlag R. Oldenbourg GmbH, München, 1995.

Domschke, Wolfgang (1997)

Logistik: Rundreisen und Touren, 4. Auflage, Verlag R. Oldenbourg GmbH, München, 1997.

Dr. Städtler (2005)

Internetseite: <http://routenplanung.dr-staedtler.de/>, Stand: 02.03.2005.

Dünnbier, Severin und Th. Becker (2002)

Cargo Domino – Effizienter Bahnverkehr mit und ohne Anschlussgleis, Technische Beschreibung der SBB-Cargo, Basel Oktober 2002

Eisenbahnbundesamt (2005)

Internetseite: www.eisenbahnbundesamt.de, Stand 17.02.05

Fabel, Peter und Dietrich Sarres (1997)

Umschlagtechnologien für den Kombinierten Verkehr, in: Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 10/1997, Seite 629-634.

Franke, K.-P. (1997)

Transportketten wirtschaftlicher machen durch Automatisierung der Umschlagknoten. In: Forschung, Technik und Innovation, volume 22, Preussag AG, Hannover 1997.

Franke, K.-P. (2003)

The Future is now, Container Terminal Innovations, Foliensammlung, Noell Crane Systems, Würzburg 2003.

Fraunhofer, Institut für Materialfluss und Logistik (2006)

Internetseite iml.fraunhofer.de

Gaidzik, Marian (1987)

Vergleich und Abgrenzung der Produktionsmethoden für die langfristige Güterverkehrsbedienung in der Fläche durch die DB, Wissenschaftliche Arbeiten des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und –betrieb der Universität Hannover, Hannover, 1987.

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2005)

Internetseite: www.containerhandbuch.de

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2006)

Internetseite: www.tis-gdv.de

Gudehus, Timm (2000)

Logistik 2, Netzwerke, Systeme, Lieferketten, VDI-Buch, Berlin, Heidelberg 2000.

Handelsblatt (2006)

Die Bahn stellt sich dem Wettbewerb, Ausgabe vom 04.05.2006.

Heinisch, Roland (1997)

Die innovative Güterbahn, in: ZEV + DET Glasers Annalen, Heft 1/1997.

Jahnke, Bernd (1995)

Innovative Systeme für den Schienengüterverkehr; in: Eisenbahntechnische Rundschau; Heft 4/1995

Köhler, Uwe (Hrsg.) (2001)

Verkehr, Straße, Schiene, Luft, Berlin 2001.

Koether, Reinhard (Hrsg.) (2004)

Taschenbuch der Logistik, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, Wien 2004.

Kortschak, Bernd (1997)

Vertikalrangieren, in Der Eisenbahningenieur, Heft 3/1997, Hamburg 1997.

Kreutzberger, E. und J.J. Trip (2002)

Complex bundling networks and new-generation terminals; a synthesis, TRAIL Reports in Transportation Planning R02/01, Delft University Press, 2002.

Laux, Helmut (1997)

Entscheidungstheorie, 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin 1997.

Leonardi, Jacques, Baumgartner, Michael und Oliver Krusch (2004)

CO₂-Reduktion und Energieeffizienz im Straßengüterverkehr, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg 2004.

Marin, Angel und Javier Saleron (1996)

Tactical Design of rail freight networks, Part I: Exact and heuristic methods, European Journal of Operational Research, Jahrgang 1996, Heft 1, Seiten 26- 44, Amsterdam 1996.

Mertel. R. und C. Seidelmann (Bearbeiter) (1986)

Wechselbehälter in Europa, Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V., Rationeller Transport, Heft 35, Frankfurt 1986.

Müller, Axel (1999)

Möglichkeiten eines Cargo-Takt-Systems zur Verbesserung der Transportqualität im Schienengüterverkehr, Verkehrswissenschaftliches Institut der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen 1999.

Organisation Netzwerk Eisenbahnlogistik (2005)

Internetseite: www.one-nrw.de, Stand 17.02.05

OnRail (2006)

Internetseite: www.onrail.de

Ottemeier, Dieter (2003)

Unterlagen zur Vorlesung „Grundzüge des Systems Engineering I“ an der Universität Duisburg-Essen, Essen 2003.

PacerStacktrain (2005)

Think inside this Box, Produktbroschüre, download von www.pacerstack.com, Concord, CA, 2005.

RailCargo Austria (Hrsg.) (2006)

Beladetarif, Band 1, Grundsätze, Auflagejahr 2006.

Rossberg, Ralf Roman (1984)

Geschichte der Eisenbahn, Neuauflage, Sieglloch Edition, Künzelsau 1984.

Saliger, Edgar (1993)

Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen, 3. verb. Auflage, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1993.

Schmidt, Elmar (2003)

Verladen mit dem Mobiler, Von der Idee zum Konzept, in: Hebezeuge und Fördermittel, Heft 9/2003, Seite 390 – 392, Berlin 2003.

Schleifkottenbahn (2006)

Internetseite: www.schleifkottenbahn.de

Schwarz, A. (2000)

Umschlag de Luxe, Kombiniertes Verkehr auf die Schnelle, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 12/2000.

Siegmann, Jürgen (1986):

Die Optimierung des Kombinierten Verkehrs mittels Systemsimulation, Wissenschaftliche Arbeiten Nr. 25 des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und –betrieb, Hannover 1986.

Siegmann, Jürgen (1998)

Wege zu einer anforderungsgerechten und wirtschaftlichen Güterbahn mit Ganzzügen und Einzelwagen; in: Eisenbahntechnische Rundschau; Heft 6/1998.

Siegmann, Jürgen (2002)

Notwendige Innovationen im Schienengüterverkehr, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 1+2/2002, Seite 42, 2002.

Siegmann, Jürgen; Große, Christiane und Sven Heidmeier (2002)

Innovative Produktionsmethoden des Schienengüterverkehrs, in: Jahrbuch des Bahnwesens, Nah- und Fernverkehr, Folge 51, Darmstadt 2002

Statistische Bundesamt (2006)

Internetseite: www.destatis.de, Stand 01.03.2006.

Steierwald, Schönharting und Partner GmbH und Aberle, G. (Auftragnehmer) (1991)

Güterverkehrszentren in Rheinland-Pfalz, Pilotstudie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Verkehr Rheinland-Pfalz, Stuttgart und Gießen, September 1991.

Stinnes Logistics (2005)

Die Produktmerkmale des Einzelwagenverkehrs im Überblick,
Stand 20.07.2005.

Strassmann Burkhard (1999)

Die Bahn bremst; in Die Zeit; 05.08.99

Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1986)

Wechselbehälter in Europa, Rationeller Transport, Heft Nr. 35,
Frankfurt 1986.

Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1996)

Zukünftige Entwicklung beim Wechselbehälter, Rationeller Transport, Heft Nr. 44, Frankfurt 1996.

Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V. (Hrsg.) (1999)

Kostenvergleich zwischen Straßengüterverkehr und Kombiniertem Verkehr Schiene/Straße anhand ausgewählter Beispiele, Abschlussbericht, Rationeller Transport, Heft Nr. 46, Frankfurt 1999.

Technische Universität Wien, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen (Hrsg.) (2006)

Internetseite: www.eiba.tuwien.ac.at , Dokument: Kombiniertes Verkehr als Rettung des Schienengüterverkehrs

Technische Universiteit Delft (2000)

TERMINET, Projekt gefördert von der Europäischen Union, Final Report, Delft 2000.

Trafico Verkehrsplanung (Auftragnehmer) (1998)

Umschlagsysteme für den Kombinierten Verkehr unter besonderer Berücksichtigung des Horizontalumschlags und der Eignung für den alpenquerenden Güterverkehr, durchgeführt im Auftrag der Alpeninitiative Schweiz, Wien 1998.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.) (1992)

Linienoptimierung, VDV-Schriften, Heft 2, Köln 1992.

VDI Nachrichten (2001)

Ausgabe vom 7. September 2001, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Weidemann, H.-J., Baier, M. und andere (2003)

Cargo BeamerTM – Innovationsschub für den kombinierten Verkehr,
in: ZEVrail – Glasers Annalen, Heft 1/2003.

Wessels, Christoph (1999)

Vom CargoSprinter zum Vielzweckfahrzeug, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 9/1999.

Wolf, Winfried (1986)

Eisenbahn und Autowahn, Personen- und Gütertransport auf
Schiene und Straße, Geschichte, Bilanz, Perspektiven, Rasch und
Röhring Verlag, Hamburg 1986.

Anhang 1 Ergebnisse der Wagenerhebung im Rangierbahnhof Hagen-Vorhalle am 13.07.2005:

gut containerisierbar			tlw. Containerisierbar			nicht containerisierbar		
Wagen-gattung	Ladung	Anzahl	Wagen-gattung	Ladung	Anzahl	Wagen-gattung	Ladung	Anzahl
K	Achsen	1	Rbns	Rohre	8	Fans	unbekannt	1
Ha	Karton	1	Sam	Stahlblech (13,5 m)	1	Kls	Schotter	5
Habins	unbekannt	3	Samms	Stahlblech (12,5 m)	2	Lae	Pkw	1
Hb	unbekannt	1	Ta	unbekannt	2	Laekks	unbekannt	1
Hbi	unbekannt	12	Tds	Kalk	2	Rbs	Stahlträger > 15m	8
Hirrs	unbekannt	7				Rs	Drehgestelle	1
Kbs	Schwellen	1				Sam	Stahlstäbe > 15m	1
R	Holz	1				Sam	Stahlstäbe 14 m	2
Res	Wellen	2				Shi	unbekannt	1
Res	Stahlrohre	7						
Res	Stahlträger	3						
Res	Stahl	1						
Rs	Stahlträger	2						
Rs	Achsen	1						
Rs	Draht	8						
Rs	Stahlstäben	4						
Rs	Container	6						
Sam	Stahlblech	1						
Samms	Stahlrohre	5						
Samms	Stahlbrammen	3						
Z	unbekannt	34						
Summe		104	Summe		15	Summe		21

Anhang 2 Gesprächsleitfaden für die Unternehmensbefragung

Gesprächsleitfaden: Containerisierung im Güterverkehr

Teil 1: Allgemeiner Teil

1.1 Allgemeine Angaben zum Unternehmen	
Kontakt	Name: Straße: Ort:
	Telefon: Telefax: E-Mail:
Ansprechpartner	Name des Ansprechpartners: Position im Unternehmen:
Unternehmensdaten	Anzahl der Mitarbeiter: Jahresumsatz: Branche: Produkte:
	Erfolgt die Produktion kontinuierlich? :
1.2 Gleisanschluss	
Besitzen Sie eigenes Personal, das bei der Bedienung des Gleisanschlusses eingesetzt wird?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein _____ Mitarbeiter
Besitzen Sie eigenes Rangiergerät, das bei der Gleisanschlussbedienung eingesetzt wird?	<input type="checkbox"/> Triebfahrzeug <input type="checkbox"/> Kleinlok <input type="checkbox"/> Rangiergerät (Teletrac) <input type="checkbox"/> Rangieranlage <input type="checkbox"/> Rangieranlage <input type="checkbox"/> Zweiwegefahrzeug <input type="checkbox"/> keine Geräte
Welche Be- und Entlademöglichkeiten bietet Ihr Gleisanschluss?	<input type="checkbox"/> Kopframpe <input type="checkbox"/> Seitenrampe <input type="checkbox"/> Kran <input type="checkbox"/> Anlage für Schuttgut <input type="checkbox"/> Tankanlage <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> keine besonderen Anlagen

Teil 2: Strukturen des Einzelwagenverkehrs

2.1 Zeitliche Randbedingungen			
Wie groß ist im Allgemeinen der zeitliche Vorlauf für die Transportplanung?	<input type="checkbox"/> < 6 Stunden <input type="checkbox"/> 1 - 2 Tage	<input type="checkbox"/> 6 - 12 Stunden <input type="checkbox"/> 3 - 7 Tage	<input type="checkbox"/> 12 - 24 Stunden <input type="checkbox"/> mehr als 7 Tage
Wie lange verbleiben die Wagen im Allgemeinen im Gleisanschluss des Kunden?	<input type="checkbox"/> < 3 Stunden <input type="checkbox"/> bis 1 Tag	<input type="checkbox"/> 3 - 6 Stunden <input type="checkbox"/> 2 - 3 Tage	<input type="checkbox"/> 6 - 12 Stunden <input type="checkbox"/> mehr als 3 Tage
Wäre die Schiene für Sie attraktiver, wenn die Zeitfenster für Zustellung und Abholung sowie für die Be- und Entladung großzügiger wären als sie heute sind?			
2.2 Transportanforderungen der Waren			
Warenart (Schlüsselnummer) (Bitte für jede Warenart eine Spalte)			
Werden spezielle Ladungsträger verwendet?	<input type="checkbox"/> ja: _____	<input type="checkbox"/> ja: _____	<input type="checkbox"/> ja: _____
	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> nein
Welche Ladungsdichte besitzt das Gut? [kg/m ³]			
Ist die Ware aus Ihrer Sicht grundsätzlich containerisierbar? (Volumen, Handling, Kosten)			
2.3 Beladung			
Warenart (Schlüsselnummer) (Bitte für jede Warenart eine Spalte)			
Anteil am Gesamtaufkommen des Einzelwagenverkehrs	_____ %	_____ %	_____ %
Welche Geräte sind bei der Be- und Entladung im Einsatz?	<input type="checkbox"/> Gabelstapler <input type="checkbox"/> andere Flurförderzeuge <input type="checkbox"/> Krane <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Gabelstapler <input type="checkbox"/> andere Flurförderzeuge <input type="checkbox"/> Krane <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Gabelstapler <input type="checkbox"/> andere Flurförderzeuge <input type="checkbox"/> Krane <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____
Gibt es besondere Anforderungen an die Wagen bei der Be- und Entladung?	<input type="checkbox"/> Kühlkette <input type="checkbox"/> hohe Guttemperatur <input type="checkbox"/> Befahrbarkeit mit Lademitteln <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Kühlkette <input type="checkbox"/> hohe Guttemperatur <input type="checkbox"/> Befahrbarkeit mit Lademitteln <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Kühlkette <input type="checkbox"/> hohe Guttemperatur <input type="checkbox"/> Befahrbarkeit mit Lademitteln <input type="checkbox"/> Tankanlagen <input type="checkbox"/> Schütttrichter <input type="checkbox"/> _____

Sind die Wagen bei der Be- und Entladung besonderen Belastungen ausgesetzt	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Temperaturen <input type="checkbox"/> Beschädigungen <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Temperaturen <input type="checkbox"/> Beschädigungen <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Temperaturen <input type="checkbox"/> Beschädigungen <input type="checkbox"/> _____
Welches Personal wird für die Beladung eingesetzt? (Anzahl und Ausbildung)			
Wie lange dauert die Beladung eines Wagens?			

2.4 Gleisanschluss

Warenart (Schlüsselnummer) (Bitte für jede Warenart eine Spalte)			
Welche Wagengattung(en) wird bzw. werden eingesetzt?			
Ist zur Beladung der Wagen ein innerbetrieblicher Transport der Waren erforderlich, weil der Gleisanschluss nicht an der richtigen Stelle liegt?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> nein
Wenn ein Transport erforderlich ist:			
<ul style="list-style-type: none"> Wie erfolgt dieser Transport? Welche Transporthilfsmittel werden eingesetzt? Wie weit sind die Wege? 			

2.5 Containerisierung

Welche Geräte zum Containerumschlag besitzen Sie?	<input type="checkbox"/> Portalkran <input type="checkbox"/> Reach-Stacker <input type="checkbox"/> Stapler <input type="checkbox"/> Mobiler <input type="checkbox"/> Lkw-Kran <input type="checkbox"/> _____		
Warenart (Schlüsselnummer) (Bitte für jede Warenart eine Spalte)			
Werden bereits jetzt Container beim Versand verwendet?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein
Wenn ja, welche Containergattungen werden verwendet?	<input type="checkbox"/> Stückgut (Box) <input type="checkbox"/> Schüttgut <input type="checkbox"/> Plattform (Flat) <input type="checkbox"/> Kühl <input type="checkbox"/> Tank <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Stückgut (Box) <input type="checkbox"/> Schüttgut <input type="checkbox"/> Plattform (Flat) <input type="checkbox"/> Kühl <input type="checkbox"/> Tank <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Stückgut (Box) <input type="checkbox"/> Schüttgut <input type="checkbox"/> Plattform (Flat) <input type="checkbox"/> Kühl <input type="checkbox"/> Tank <input type="checkbox"/> _____

Sind die übrigen Transporte aus Ihrer Sicht containerisierbar?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> teilweise, Anteil ____ % <input type="checkbox"/> nein
Welche Veränderungen im Betriebsablauf sowie bei der Beladung würden sich durch eine Containerisierung ergeben? Bewerten Sie diese eher positiv oder eher negativ			

Warenart (Schlüsselnummer) (Bitte für jede Warenart eine Spalte)			
Würden sich bei einer Containerisierung Kostenveränderungen bei der Beladung ergeben? Wie groß schätzen Sie diese [Angabe in %]	<input type="checkbox"/> billiger um ____ % <input type="checkbox"/> teurer um ____ % <input type="checkbox"/> keine Veränderung	<input type="checkbox"/> billiger um ____ % <input type="checkbox"/> teurer um ____ % <input type="checkbox"/> keine Veränderung	<input type="checkbox"/> billiger um ____ % <input type="checkbox"/> teurer um ____ % <input type="checkbox"/> keine Veränderung
Würden sich Vorteile bei der Beladung ergeben, wenn der Container vom Tragwagen abgenommen werden könnte und im Werk transportiert werden kann?	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____
Würden sich Vorteile bei der Flexibilität der Bereitstellung der Ladungsträger ergeben, wenn statt herkömmlicher Einzelwagen Container verwendet werden?	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> große Vorteile <input type="checkbox"/> geringe Vorteile <input type="checkbox"/> keine Veränderung <input type="checkbox"/> _____

Teil 3: Containerisierter Einzelwagenverkehr

3.1 Bereitschaft zur Einführung	
Würden sich Vorteile ergeben, wenn bei einer Containerisierung andere Unternehmen Ihren Gleisanschluss zum Umschlag mitbenutzen könnten?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> vielleicht <input type="checkbox"/> nein Grund:
Wie würde sich das Transportaufkommen im Schienengüterverkehr bei einer Containerisierung entwickeln?	<input type="checkbox"/> zunehmen um _____ % <input type="checkbox"/> abnehmen um _____ % <input type="checkbox"/> gleich bleiben

Was würde sich bei den innerbetrieblichen Abläufen (Transporte auf Werksgelände, Übergabepunkte, Be-/ Entladung, Pufferlager) bei einem containerisierten Einzelwagenverkehr verändern?	
Wären Sie generell bereit, eine Containerisierung des Schienengüterverkehrs mitzumachen?	<input type="checkbox"/> sicher <input type="checkbox"/> möglicherweise <input type="checkbox"/> nein
Unter welchen Umständen würde sich Ihre Bereitschaft zu einer Umstellung erhöhen?	
Unter welchen Umständen wären Sie bereit, weitere Transporte auf einen containerisierten Schienengüterverkehr zu verlagern?	

Für Rückfragen:

Dipl.-Ing. Dirk Bruckmann

Universität Duisburg-Essen

Telefon: 0201 – 183 – 2676

Mobil: 0172 -5901342

Telefax: 0201 – 183 – 2704

Email: dirk.bruckmann@uni-essen.de

Anhang 3 Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit der Wagengattungen

Wagengattung	containerisierbarer Anteil	Wagengattung	containerisierbarer Anteil
00 Keine Zuordnung	0%	51 Remm	100%
01 Reisezugwagen	0%	52 Rg,Sg	100%
02 Reisezugwagen	0%	53 Rgmm,Sgmm	100%
04 Reisezugwagen	0%	54 Sahi	100%
05 E, Fb	100%	55 Sd	100%
06 F(-z)	100%	57 R,S	100%
07 Fak,Fan,Fas	100%	58 Sa(mm-u)	100%
08 Fc	100%	59 Saa	100%
09 Fac	100%	60 Sah	100%
10 Ea(l)(n)(o)	100%	61 Se,Sef	100%
11 Fal,Falrr,Fao	100%	62 Shi	100%
12 F(a)(rr)	100%	63 Rhmm,Sh	100%
13 Faal(n)	100%	64 Rmm,S(l)mm	100%
14 Hbbi	100%	65 S(l)p	100%
16 G, H	100%	66 Saag	100%
17 Hbi	100%	67 Rb	100%
18 Hbil	100%	68 Saad	100%
19 Hbill	100%	69 Tad	100%
20 Gb,Hb	100%	70 Tbekk	100%
21 Haabi,Haabb	100%	71 Ti	100%
22 Hbill-(x)	100%	72 Tbi	100%
23 Hbbill	100%	73 Tam	100%
24 Ga,Ha	100%	74 Taems	100%
25 Habi,Habil	100%	75 T(d)	100%
26 Haabi	100%	76 Tdg	100%
27 Habbi,Habbill	100%	77 Tal	100%
28 Ha,Hrr,Haccee, Hi	100%	78 Tadg	100%
29 Ia	100%	79 Taeh	100%
30 Iag	100%	80 U	100%
33 Ibg	100%	81 Uc	100%
34 Ibbd	100%	82 Uc,Upp	100%
35 Ibb	100%	83 Uc	100%
36 Ibbg	100%	84 Ua	100%
37 Ld	100%	85 Uac	100%
38 Kg,Lg	100%	86 Taoo,Uaoo	100%
39 O	100%	87 Uaa	100%
40 Rils,Rilns,Rins	100%	88 Ui	100%
41 La,Laa	100%	89 Uai	100%
42 Lag,Laag	100%	90 Uaai	100%
43 Le	100%	91 Uaai	100%
44 Le,Lad,Lae,Laad,Laae	100%	92 Uaai	100%
45 K(b)(i)(kk)	100%	93 Uaai	100%
46 K(i)(l)	100%	94 Z	100%
47 Lb	100%	95 Za	100%
48 Lbm	100%	97 Zaa	100%
49 Ll,Laab	100%	98 Werknahverkehrswagen	0%
50 Re	100%	99 Schienenfz a_e_Räder	0%

Anhang 4 Übergangswahrscheinlichkeiten für die technische Containerisierbarkeit der Gutarten

Gutart	containerisierbarer Anteil	Gutart	containerisierbarer Anteil	Gutart	containerisierbarer Anteil
Abfälle und Schrott aus Metallen	100%	Konstruktionen, Waren aus Metallen	100%	Sportgeraete; Schwimmbecken	100%
Aktivkohle	100%	Kosmetikartikel,Riechstoffe	100%	Strassenfahrzeuge "Rollende Landstrasse"	100%
Alle uebrigen Gueter - Sowohl nicht in Kl. M 2 genannt - (Mtl)	0%	Kraftkarren ohne Hebevorrichtung	100%	Tabak,Tabakprodukte	100%
Angelgeraete, Jagdgeraete	100%	Krane, Verladebruecken, Portalhubkraftkarren	20%	Teile, von Maschinen, von Apparaten, von Geraeten, sng	100%
Antiquitaeten, mehr als 100 Jahre alt	100%	Kunststoff-, Kunststoffprodukte	100%	Teppiche,Fußbodenbeläge	100%
Asbestfasern, bearbeitet; Asbestwaren	100%	Waeirme- Kaelteschutzm., (Mtl)	100%	Textilien,Garne, Gewebe	100%
Aufzuege, Rolltreppen, Stetigfoerderer	50%	Lampen,Leuchtmittel	100%	Tierfutter	100%
Backwaren, Konditorwaren	100%	Lebensmittelzubereitungen	100%	Tierische,pflanzliche Fette und Oele	100%
Baugeraetschaften, gebraucht (Mil)	50%	Leder, Lederprodukte,Waren aus tierischen Materialien	100%	Titan; Waren aus Titan	100%
Bekleidungsartikel	100%	Leere Wagen zur Bef zu o von Revision, Reinigung	0%	Transportbehaelter f. d. horizontalen Umschlag leer (s. Lastlauf)	100%
Benzin,Kraftstoffe	100%	Leichen	100%	Uhren, Zeitmeßgeräte	100%
Buerstenwaren, Wischer	100%	Leime,Klebstoffe	100%	Umzugsgut	100%
Bulldozer, Bagger, Strassenwalzen	25%	Lufffahrzeuge und Teile	75%	Vakuum-Isolierbehaelter	100%
Chemische Stoffe und Erzeugnisse	100%	Magnesium; Waren aus Magnesium	100%	Vorgefertigte Gebaeude	50%
Drähte	100%	Maschinen, Apparate, Geräte	90%	Waagen, sng; Gewichte fuer Waagen	100%
Düngemittel	100%	Mehl und Getreideprodukte	100%	Wachs, Wachserzeugnisse	100%
Edelmetalle und wertvolle Materialien	100%	Metallerzeugnisse	100%	Waffen und Waffenzubehör	100%
Elektrogroßgeräte	100%	Metallpulver	100%	Waren aus Gips	100%
elerotechnisches Zubehör	100%	Milch und Milchprodukte	100%	Waren aus unedlen Metallen	100%
Enzyme	100%	Mineralische Stoffe und Gesteine	100%	Waren tierischen Ursprungs	100%
Erdgas; gasfoermige Kohlenwasserstoffe	100%	Möbel	100%	Waren, aus Asbestzement, aus Faserzement	100%
Explosionsgefaehrliche Gegenstaende	100%	Molybdaen; Waren aus Molybdaen	100%	Waren, aus Zement, aus Beton, aus Kunststein	100%
Einzelgewicht, leere Manzelge m Einzelgew. v.m. als 4T bis 50T- (Mtl)	100%	Musikinstrumente	100%	Warenbehaelter, Container	100%
Fahrzeuge ueber 50 T Einzelgewicht	0%	Naehrsstrate fuer die Mikroorganismen	100%	Warenumschlagkarren mit Hebevorrichtung	100%
Farben,Lacke,Farbstoffe	100%	natürliche Säuren	100%	Waschmittel, Reinigungsmittel	100%
Flaschenzuege, Zugwinden, Spille, Hubwinden	100%	Öle,Erdöl, Erdölprodukte	100%	Wasserfahrzeuge	100%
Fleisch,Fisch	100%	optische Instrumente, Apparate, Geraete	100%	Weintrub; Weinstein, roh	100%
Früchte	100%	Ordnendes Geraetemaeter, Signalgeraete, Fiebermaeter, Maeter, gebraucht (Mtl)	100%	sng. in gemischten Zuegen od. in gemischten Waagen (Mtl)	100%
Funk-,Fernseh-,Radiogeräte und Zubehör	100%	Panzerkampfwagen	0%	Wolfram; Waren aus Wolfram	100%
Gemüse,Kartoffeln	100%	Papier, Zellstoffe, Papierprodukte	100%	Zement, Moertel, Beton	100%
Geräte zum Messen,Steuern,Regeln	100%	Pflanzen und Pflanzenteile	100%	Zerstaeber zu Toilettezwecken, Puderguerate	100%
Getränke, Flüssigkeiten	100%	Pflanzensamen	100%	Zerstaeber, Feuerloescher, Sandstrahlmaschinen	100%
Getreide	100%	Pharmazeutika	100%	Zucker	100%
Gewürze	100%	Photographische Platten, Planfilme, nicht belichtet	100%	Zweiräder und Zubehör	100%
Glas	100%	Platten, Platten, Platte, d. pflanzl. Stoffen m Mineral-Bisphenoale	100%	Kfz groß	25%
Gleismaterial, aus Eisen, aus Stahl	0%	Privatwagen, leer (Mil)	0%	Kfz groß	25%
Graphit, kuenstlich, kolloid	100%	Profile und Stäbe	100%	Pkw	100%
				Lebensmittel, flüssig	100%

Anhang 5 Übergangswahrscheinlichkeiten für die logistische Containerisierbarkeit der Produktbereiche

Marktbereich	Produktbereich	logistisch containerisierbar
Agrar und Kaufmannsgüter	Agrarprodukte	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Düngemittel	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Holzabfälle	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Holzprodukte	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Kaufmannsgüter	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Lebensmittel	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Pulp and Paper	100%
Agrar und Kaufmannsgüter	Rohholz	0%
Agrar und Kaufmannsgüter	Schnittholz	0%
Automotive	Großfahrzeuge	50%
Automotive	Pkw	0%
Automotive	Pkw-Teile	100%
Baustoffe	Abfälle	100%
Baustoffe	Baumaterial	100%
Baustoffe	Baustoffe	100%
Baustoffe	Steine und Erden	75%
Chemie	Fertigprodukte	100%
Chemie	Flüssigkeiten	100%
DIV	ncont	0%
Montan	Abfälle/Schrott	100%
Montan	Erze	100%
Montan	Großmaschinen	0%
Montan	Halbzeuge	100%
Montan	Kleinmaschinen	100%
Montan	Kohle	100%
Montan	Metallprodukte	100%
DIV	cont	100%

Bisher in den IVS-Schriften erschienen:

- Band 1:** Festkolloquium zum 60. Geburtstag von Jörg Schönharting
- Band 2:** Metrorapid / Transrapid: Vernetzung, Umfeld und Verkehrsträger
- Band 3:** Ein neues Verfahren zur Kombination von Mehrfahrgast-Taxi und ÖPNV
– Das KOMET-System
- Band 4:** Fahrzeit- und Informationsvorteile durch Dynamische Zielführung
- Band 5:** Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und Optimierung der Produktionsstruktur