

Andy Apfelstädt

Handlungsoptionen im eurnationalen Ladungsverkehr



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Handlungsoptionen im euronationalen Ladungsverkehr





Handlungsoptionen im euronationalen Ladungsverkehr

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakultät für Architektur
und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Andy Apfelstädt M.A.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Matthias Gather

Tag der mündlichen Prüfung
19.05.2017



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2017

Zugl.: Wuppertal, Bergische Universität, Diss., 2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2017

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2017

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9563-5

eISBN 978-3-7369-8563-6

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt, im Rahmen eines kooperativen Promotionsverfahrens zwischen der Bergischen Universität Wuppertal und der Fachhochschule Erfurt.

Mein besonderer Dank gilt daher meinem Doktorvater, akademischen Lehrer und Mentor, Herrn Prof. Dr. Matthias Gather, für seinen engagierten persönlichen Einsatz bei der Betreuung meiner Arbeit, die gewährte technische, organisatorische und personelle Unterstützung im Institut, den eingeräumten Freiraum für meine eigene Forschungstätigkeit, die zahlreichen kritisch-konstruktiven Diskussionen und nicht zuletzt für die immer wieder freundschaftlichen Ermahnungen, trotz aller Projektarbeiten, das „große Ziel“ nicht aus den Augen zu verlieren.

Weiter bedanke ich mich von Herzen bei Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp für das von Beginn an spürbare und ebenso motivierende Interesse an meinem Vorhaben und für die Aufnahme als Doktorand am universitären Lehr- und Forschungsgebiet für Güterverkehrsplanung und Transportlogistik in Wuppertal. Der fachliche Austausch und die stets wertvollen und zielführenden Ratschläge während der Entstehung der Arbeit trugen im hohem Maße zu deren erfolgreicher Entwicklung bei.

Danken möchte ich ferner all meinen Kolleginnen und Kollegen der Fachrichtung „Verkehrs- und Transportwesen“ der Fachhochschule Erfurt für die vielfältige Unterstützung und Hilfsbereitschaft in den vergangenen Jahren, aber auch für die produktive und immer wieder humorvolle Arbeitsatmosphäre. Sie alle haben auf individuelle Art und Weise ihren Anteil am Erfolg dieses Vorhabens.

Ebenfalls gilt mein Dank der Vielzahl an Kooperationspartnern und Fachleuten der Transport- und Logistikwirtschaft, die mir im Laufe der Jahre unterstützend und beratend zur Seite standen. Mit Hilfe ihrer praktisch orientierten Expertise, der fortwährenden Kommunikation aktueller Problemstellungen und der immer wieder kritischen Analysen der theoretischen Entwicklungen im wissenschaftlichen Kontext, konnte der Fortgang der Arbeit stets bestmöglich reflektiert werden.

Schließlich danke ich meiner Lebensgefährtin Stefanie für den anhaltend geschaffenen Rückhalt, ihr Verständnis und ihre Geduld (mit mir) in allen, nicht immer einfachen Phasen dieses Projektes.



Schlussendlich gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, die mich immer und in wirklich allen, manchmal sicher nicht leicht nachvollziehbaren Entscheidungen meines Lebens unterstützt haben und somit das wichtige Fundament für das Gelingen auch dieses Vorhabens darstellen.

Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

Andy Apfelstädt

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis.....	xvii
1. Einleitung	1
1.1. Situation.....	1
1.2. Hypothese und Gang der Untersuchung.....	4
1.3. Aufbau der Arbeit	5
2. Abgrenzung und Charakterisierung des Untersuchungsraumes.....	10
2.1. Allgemeine Begriffsklärung.....	10
2.1.1. Grundfunktionen der Logistik	10
2.1.2. Transport und Transportsystem	14
2.1.3. Logistikdienstleistungen und Logistikdienstleister.....	31
2.2. Der Ladungsverkehr in Deutschland	36
2.2.1. Leistungsmerkmale	36
2.2.2. Der nationale Ladungsverkehrsmarkt	45
2.2.3. Produktion von Ladungsverkehren	47
2.2.3.1. Geschäftsmodelle	47
2.2.3.2. Geschäftsbeziehungen der Akteure.....	50
2.2.3.3. Produktivität und Auslastung des Ressourceneinsatzes	51
2.3. Das Kostenmodell des Ressourceneinsatzes	59
2.3.1. Überblick	59
2.3.2. Variable Einsatzkosten.....	61
2.3.3. Fixe Einsatzkosten	69
2.3.4. Gesamtkalkulation und Kennzahlen.....	76

3. Problemanalyse und aktuelle Handlungsansätze	79
3.1. Probleme im Umfeld der Ladungsverkehrsproduktion	79
3.2. Entwicklung und Bewertung von Handlungsstrategien	94
3.3. Aktuelle Lösungsansätze in Praxis und Literatur	104
3.3.1. Handlungsoptionen zur Maximierung der Entfernungs- und/oder Mengenauslastung	105
3.3.2. Handlungsoptionen zur Maximierung der zeitlichen Auslastung	117
3.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse der Handlungs- alternativen-Analyse	132
3.4. Ableitung des Lösungsansatzes	136
 4. Konzeption eines Güterverkehrsnetzes für Komplettladungsverkehre	140
4.1. Grundlagen zum vorliegenden Planungsproblem	140
4.2. Strategische Planung	143
4.3. Taktische Planung	150
4.3.1. Planung von Sammel- und Verteilgebieten	151
4.3.2. Planung von Tourengebieten	154
4.3.3. Linienverkehrsplanung	156
4.3.3.1. Planungsgegenstände der Linienplanung im Stückgutnetzwerk	157
4.3.3.2. Planungsgegenstände der Linienplanung im Komplettladungsnetzwerk	158
4.3.3.3. Parameter zur Bestimmung der Netzwerkfähigkeit	162
4.4. Operative Planung	178
4.5. Zusammenfassung des konzeptionellen Ansatzes	190
 5. Potentiale des Lösungsansatzes	193
5.1. Theoretisch funktionale Potentialanalyse	193
5.1.1. Beschreibung des Testdatensatzes	193

5.1.1.1.	Quantität des Datensatzes	194
5.1.1.2.	Repräsentativität des Datensatzes	197
5.1.1.3.	Qualität und Filterung des Datensatzes	198
5.1.1.4.	Alternative Datenquellen	199
5.1.2.	Netzwerkconfiguration	201
5.1.3.	Testergebnisse	204
5.1.3.1.	Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz	204
5.1.3.2.	Prüfung der Datensätze auf Netzwerkrelevanz	204
5.1.3.3.	Prüfung der Datensätze auf Netzwerkfähigkeit	217
5.2.	Ökonomische Potentialanalyse	233
5.2.1.	Anpassungsoptionen der Kostenrechnung	233
5.2.2.	Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung	241
5.2.3.	Sensitivitätsanalyse	250
5.3.	Exkurs zur ökologischen Bewertung	266
5.4.	Zusammenfassung der Potentialanalyse	270
6.	Erste praktische Implementierungsversuche	272
6.1.	Einführung	272
6.2.	Auswertungsergebnisse	276
6.3.	Zusammenfassung der Projektergebnisse	286
7.	Fazit und Ausblick	288
7.1.	Fazit	288
7.2.	Weitere Forschungsbedarfe	290
7.2.1.	Forschungsbedarfe zur Verbesserung der vorliegenden Ergebnisse	290
7.2.2.	Abgeleitete Forschungsbedarfe	292
7.3.	Ausblick	294



Literaturverzeichnis.....	xi
Anhang	xxv

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gang der Untersuchung	9
Abbildung 2: Grundfunktionen der Logistik (TUIL-Modell nach VAHRENKAMP)	12
Abbildung 3: Eingliedrig und mehrgliedrig aufgebaute Transportketten.....	18
Abbildung 4: Beurteilung von Verkehrsträgern.....	26
Abbildung 5: Modal Split 2013 in D. nach Güterverkehrsaufkommen (links) und Güterverkehrsleistung (rechts)	28
Abbildung 6: Logistikdienstleisterkonzepte.....	35
Abbildung 7: Der Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs in Abgrenzung weiterer Sendungstypen	38
Abbildung 8: Wertschöpfungskette bei Komplettladungen, Teilladungen und Ladungsverkehren im Rahmen von Stückgutssystemen	41
Abbildung 9: Fahrzeugtypen im nichtspezialisierten Ladungsverkehr mit entsprechenden Aufbauinnenmaßen	43
Abbildung 10: Exemplarische Tourmuster im Ladungsverkehr	50
Abbildung 11: Zeitliche Auslastung des Ressourceneinsatzes im nationalen Ladungsverkehr	59
Abbildung 12: Marktanteile deutscher und ausländischer Lkw in Deutschland.....	90
Abbildung 13: Struktur der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Berufskraftfahrer 2014	92
Abbildung 14: Gesamtkosten und variable Einsatzkosten in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauches	97
Abbildung 15: Zeitliche Maximalauslastung des Ressourceneinsatzes im Vergleich verschiedener Schichtmodelle	100
Abbildung 16: Simulierter Gesamtkostenverlauf des Ressourceneinsatzes in Abhängigkeit der Gesamtfahrleistung	101
Abbildung 17: Übersicht zur strategischen Maßnahmenentwicklung	103
Abbildung 18: Handlungsalternativen zur Auslastungsmaximierung des Ressourceneinsatzes im Ladungsverkehr	105

Abbildung 19: Der Begegnungsverkehr.....	127
Abbildung 20: Bewertungsschema der Praxis- und Literaturanalyse	134
Abbildung 21: Charakteristische Merkmale der heutigen Ladungsverkehrsproduktion und Lösungsansätze	139
Abbildung 22: Systemgeführte Abwicklung von Komplettladungsverkehren	142
Abbildung 23: Grundtypen der Netzstruktur	145
Abbildung 24: Beispielhaftes Bediengebiet	153
Abbildung 25: Beispielhaftes Fahrtenmuster von Vor- und Nachlaufverkehren in einem Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre	155
Abbildung 26: Ausgleich unpaariger Sendungsströme durch dynamische Verknüpfung von Sendungspaaren.....	160
Abbildung 27: Parameter zur Definition unabhängiger restriktiver Faktoren.....	163
Abbildung 28: Verkehrsverfahren „Begegnungsverkehr“	165
Abbildung 29: Verkehrsverfahren „Einfacher Depotverkehr“	165
Abbildung 30: Verkehrsverfahren „Erweiterter Depotverkehr“	167
Abbildung 31: Netzwerkgraphen einer exemplarischen Netzstruktur im Depotverkehr	168
Abbildung 32: Netzwerkgraphen einer exemplarischen Netzstruktur im Begegnungsverkehr.....	169
Abbildung 33: Mögliche Transportwege im Netzwerk ohne Umwegsrestriktion	170
Abbildung 34: Matchingvarianten in Abhängigkeit der Verkehrsverfahren	173
Abbildung 35: Matchingvarianten im Begegnungsverkehr	175
Abbildung 36: Exemplarische Überhangsituation.....	176
Abbildung 37: Anteiliges Matching von Überhängen.....	177
Abbildung 38: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz	183

Abbildung 39: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Netzwerkrelevanz.....	186
Abbildung 40: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Netzwerkfähigkeit.....	189
Abbildung 41: Verteilung der verfügbaren Datensätze auf einzelne Auswertungstage	196
Abbildung 42: Zusammenfassung verschiedener PLZ-Gebiete zu einem Bediengebiet	202
Abbildung 43: Netzwerkkonfiguration zur theoretisch funktionalen Potentialanalyse	203
Abbildung 44: Räumliche Verteilung der Quell-Postleitzahlen (links) und Ziel-Postleitzahlen (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 1\,706\,731$)	206
Abbildung 45: Räumliche Verteilung der Quellen innerhalb der Bediengebiete (links) und der Senken innerhalb der Bediengebiete (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 1\,706\,731$)	207
Abbildung 46: Graphen der Netzwerkverbindung (links) und Netzwerkbeziehungen (rechts) im Depotverkehr mit $d_{\max} = 250$ km	210
Abbildung 47: Graphen der Netzwerkverbindung (links) und Netzwerkbeziehungen (rechts) im Depotverkehr mit $d_{\max} = 290$ km	210
Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Auftragsentfernungen	212
Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Umwegentfernungen im Begegnungsverkehrsszenario (oben) und im Depotverkehrsszenario (unten)	213
Abbildung 50: Heatmap Umweg im Netzwerk/Direktentfernung für den Begegnungsverkehr mit $d_{\max} = 580$ km (oben), und für den Depotverkehr mit $d_{\max} = 290$ km (unten)	214
Abbildung 51: Ströme netzwerkrelevanter Sendungen im Begegnungsverkehr, $d_{\max} = 580$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 1\,088\,898$	216
Abbildung 52: Ströme netzwerkrelevanter Sendungen Depotverkehr, $d_{\max} = 290$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 1\,008\,990$	217
Abbildung 53: Vergleich relevanter Ergebnisse.....	223

Abbildung 54: Ströme netzwerkfähiger Sendungen im Prüfszenario MB01a, $d_{\max} = 580$ km, $u_{\max} = 80$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 198\ 616$	224
Abbildung 55: Ströme netzwerkfähiger Sendungen im Prüfszenario MD01b, $d_{\max} = 290$ km, $u_{\max} = 80$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 444\ 168$	224
Abbildung 56: Anzahl an Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen nach Prüfszenarien	225
Abbildung 57: Anzahl netzwerkfähiger Sendungen je Auswertungstag und Prüfszenario sowie Anzahl Frachtangebote je Auswertungstag	226
Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MB01a (580, 80).....	228
Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MD01b (290, 80)	229
Abbildung 60: Depotbeziehungen der Grundlast netzwerkfähiger Sendungen an 90 % aller Auswertungstage, MB01a (580, 80) (links) und MD01b (290, 80) (rechts)	230
Abbildung 61: Depotbeziehungen der Grundlast netzwerkfähiger Sendungen an 80 % aller Auswertungstage, MB01a (580, 80) (links) und MD01b (290, 80) (rechts)	231
Abbildung 62: Verläufe der entfernungsbezogenen Produktionskosten ...	244
Abbildung 63: Differenz der entfernungsbezogenen Produktionskosten ..	245
Abbildung 64: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion der Kostendifferenzen netzwerkfähiger Sendungen im Direkt- und Netzwerkverkehr.....	249
Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion der Kostendifferenzen netzwerkfähiger Sendungen im Direkt- und Netzwerkverkehr bei $d_{U(\text{Netz})} = 15$ km	261
Abbildung 66: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich.....	264
Abbildung 67: Übersicht der Depotstandorte im Projekt „iLAN“	274

Abbildung 68: Räumliche Verteilung der Quell-Postleitzahlen (links) und Ziel-Postleitzahlen (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 166\,019$)	276
Abbildung 69: Bediengebiete der Projektpartner mit $r = 60$ km	278
Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Auftragsentfernungen	280
Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Umwegentfernungen im Begegnungsverkehrsszenario (oben) und im Depotverkehrsszenario (unten)	281
Abbildung 72: Vergleich relevanter Ergebnisse	284
Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MB01b (580, 80)	285
Abbildung 74: Räumliche Verortung des wiederkehrenden Sendungsaufkommens an 90 % der Auswertungstage	296



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: NST-2007 Güterabteilungen und zusammenfassende Gliederung	20
Tabelle 2: Logistik-Teilmärkte im Vergleich	46
Tabelle 3: Fuhrparkstruktur im Straßengüterverkehr in Deutschland	47
Tabelle 4: Hauptkostengruppen der Fahrzeugkostenrechnung	60
Tabelle 5: Zusammenfassung der variablen Kosten	68
Tabelle 6: Zusammenfassung der Fixkosten	76
Tabelle 7: Vollkostenkalkulation für den Ressourceneinsatz im nationalen Ladungsverkehr (Einschichtbetrieb)	78
Tabelle 8: Ergebnisübersicht der Analyse bisheriger Lösungsansätze in Praxis und Literatur	135
Tabelle 9: Merkmale und Prämissen der Planung von Güterverkehrsnetzwerken	192
Tabelle 10: Rohdaten, Frachtangebote	196
Tabelle 11: Sendungen mit erreichbarem Aus- und/oder Eingangsdepot	205
Tabelle 12: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad je Depotentfernungsklasse	209
Tabelle 13: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und eingehaltenem Maximalumweg	212
Tabelle 14: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkrelevanz“	215
Tabelle 15: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkfähigkeit“	221
Tabelle 16: Ergebnisübersicht Grundlastbestimmung	229
Tabelle 17: Ergebnisse Grundlastbestimmung inkl. netzwerkfähiger Sendungen	232
Tabelle 18: Vollkostenkalkulation für den Ressourceneinsatz im Netzwerkverkehr (sequentieller Mehrschichtbetrieb)	240
Tabelle 19: Übersicht Kosten- und Leistungsfaktoren	241
Tabelle 20: Kennzahlen Kostenvergleichsanalyse I	247
Tabelle 21: Kennzahlen Kostenvergleichsanalyse II	248

Tabelle 22: Ergebnisse der Untersuchung zur Netzwerkfähigkeit von Sendungen mit $d_T \geq 340$ km, $n = 904\ 606$	251
Tabelle 23: Ergebnisse der Untersuchung zur Netzwerkfähigkeit von Sendungen mit Kostenvorteil innerhalb der Netzwerkproduktion, $n = 603\ 091$	252
Tabelle 24: Grundlastbestimmung inkl. netzwerkfähiger Sendungen für Szenario 1+2	253
Tabelle 25: Einfluss eines angepassten Sendungsportfolios auf die Kosten- und Leistungsanalyse	254
Tabelle 26: Einfluss veränderter Leerfahrtaufwendungen im Netzwerkverkehr auf die Kosten- und Leistungsanalyse.....	256
Tabelle 27: Einfluss veränderter Leerfahrtaufwendungen und Änderungen der variablen Kosten auf die Kosten- und Leistungsanalyse	259
Tabelle 28: Auswirkung eines angepassten Sendungsportfolios und angepasster Faktoren auf die Kosten- und Leistungsanalyse	263
Tabelle 29: Klimarelevante Emissionen in beiden Untersuchungsszenarien bei $n = 1\ 706\ 731$	268
Tabelle 30: Klimarelevante Emissionen in beiden Untersuchungsszenarien bei $n = 444\ 168$	268
Tabelle 31: Projektkonsortium „iLAN“	273
Tabelle 32: Übersicht der innerhalb verfügbarer Bediengebiete bearbeitbarer Sendungen	278
Tabelle 33: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und eingehaltenem Maximalumweg	279
Tabelle 34: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkfähigkeit“	283
Tabelle 35: Mindestanzahl wiederkehrender relationsbezogener Sendungen	295

Abkürzungsverzeichnis

3PL	Third party logistics provider
4PL	Fourth party logistics provider
ADR	Accord europeen relatif transport des marchandises dangereuses par route = Europäisches Übereinkommen für die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
ATLF	Advanced-Truckload-Firm
BAB	Betriebsabrechnungsbogen
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
Bast	Bundesanstalt für Straßenwesen
BFStrMG	Bundesfernstraßenmautgesetz
BGL	Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V.
BKrFQG	Berufskraftfahrerqualifikationsgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CPA	Classifications of products by activity
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DSLVL	Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V.
EM	Emission
FTL	Full Truck Load
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GPDP	General Pickup & Delivery - Problem
GüKG	Güterkraftverkehrsgesetz
HGB	Handelsgesetzbuch
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KEP	Kurier-Express-Paket

LKWÜberlStVAusnV

Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge

LTL Less Than Truck Load

MauthHV Mauthöheverordnung

MDVR(S)P Multi-Depot Vehicle Routing (Scheduling) Problem

MiLoG Mindestlohngesetz

ND Nutzungsdauer

NST Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport

KMU Kleine und mittlere Unternehmen

RK Reifenkosten

RW Restwert

SaaS Software as a Service

StVZO Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

SZM Sattelzugmaschine

THG Treibhausgase

TUL Transport-, Umschlag- und Lagerlogistik

TUIL Transport-, Umschlag-, Informations- und Lagerlogistik

TTW Tank-to-Wheel

VRP Vehicle Routing Problem

VSP Vehicle Scheduling Problem

WAB Wechselaufbau

WBW Wiederbeschaffungswert

WTW Well-to-Wheel

ZFZR Zentrales Fahrzeugregister

zGM zulässige Gesamtmasse

1. Einleitung

1.1. Situation

Der Lkw-Ladungsverkehr wird als eingliedrige Transportkette, bei der Quelle und Senke unmittelbar durch einen Direktverkehr ohne Wechsel des Transportmittels und somit ohne Umschlag miteinander verbunden sind, beschrieben (Buchholz, Clausen und Vastag (1998), S. 49). Diese auch Haus-zu-Haus oder Rampe-zu-Rampe genannten Verkehre mit Standard-Planen- und Kofferbahnen oder Waggonen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 8), stellen mit 24,3 Mrd. € Umsatz einen Anteil von 10,6 % der auf insgesamt 230 Mrd. € geschätzten deutschlandweiten Logistikumsätze im Jahr 2013 und damit das drittgrößte Segment des Logistikmarktes dar (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 95).

Ungeachtet der Größe und Bedeutung des Marktsegmentes insgesamt, stehen vor allem Anbieter von Lkw-Ladungsverkehren unter hohem Druck. Stetig steigenden Kosten der Leistungserstellung stehen am Markt erzielbare Frachtpreise gegenüber, die vor allem am Spotmarkt kaum die Kosten decken. Der stets voranschreitende Konzentrationsprozess auf Auftraggeberseite und die massiven Forderungen nach Reduktion der Transportkosten durch (Groß-)Verlader in Verbindung mit zunehmender Aufhebung früherer Kabotageverbote¹ (vgl. Ihde (2001), S. 170) zwingen vor allem Ladungsverkehrsanbieter in einen preissensiblen und zunehmend ruinösen Wettbewerb², vor allem mit Anbietern aus sog. jungen EU-Mitgliedsstaaten³ (vgl. beispielhaft Lauenroth (2012) und Kranke (2012)). Der Mangel an Möglichkeiten, Alleinstellungsmerkmale der eigenen Dienstleistung im Ladungsverkehr zu entwickeln, begünstigt zudem diesen Umstand. Jüngstes und populärstes Beispiel hierfür ist der Rückzug der Reutlinger Willi-Betz-Gruppe aus dem nationalen Ladungsverkehrsgeschäft, mit der Begründung der Neufokussierung und der Trennung von defizitären Geschäftsbereichen (vgl. Helmke (2011), S. 3). Berichte des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) bestätigen dem Anteil deutscher Lkw an den gesamten

¹ Als Kabotage wird der Güterverkehr zwischen zwei Orten eines (desselben) Staatsgebietes bezeichnet, wenn die Verkehrsleistung von einem ausländischen Verkehrsunternehmen erbracht wird (vgl. Lorenz (2008), S. 36).

² Von ruinösem Wettbewerb wird dann gesprochen, wenn der Selektionsmechanismus des Wettbewerbs nicht nur [...] ineffiziente Grenzanbieter sanktioniert, sondern so gestört ist, dass auch Anbieter ruiniert werden, die durchaus effizient arbeiten (vgl. Ihde (2001), S. 105).

³ Entsprechend dem Jahresbericht „Marktbeobachtung“ des Bundesamtes für Güterverkehr wird der Begriff „junge EU-Staaten“ für alle Mitgliedsstaaten, die ab 2004 der Europäischen Union beigetreten sind, verwendet.

mautpflichtigen Fahrleistungen in Deutschland im Jahr 2014 einen Rückgang von 62,2 % auf 60,7 % (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015a), S. 16).

Abgewickelt werden Lkw-Ladungsverkehre bis heute im Rahmen nahezu rein bedarfsorientierter Produktionsverfahren. Der Verlader bestellt dabei im Zuge des heute allgemein akzeptierten Bestellverhaltens der Endkunden mit immer kürzeren informellen Vorlaufphasen eine täglich variierende Anzahl an Transporten, deren Senken häufig variieren und somit einmal mehr für Transportdienstleister im Voraus kaum planbar sind. Daraus resultiert als Kern der Dispositionsarbeit der frachtführenden Unternehmen⁴ die reine Reaktion des Disponenten auf das tagesaktuell beauftragte Transportvolumen. Der Planungsprozess ist dabei auf Einzel-Auftragsebene von der Entscheidung geprägt, welche Transportaufträge im Selbsteintritt⁵ bearbeitet werden oder aber welcher Auftrag an einen Unternehmer fremdvergeben werden soll. Das Betriebsergebnis des Eigenfuhrparks ist daraufhin entscheidend von der erfolgreichen Rückladungsakquise, meist am Spotmarkt unter Nutzung elektronischer Frachtenbörsen, in den entsprechenden Zielregionen der zuvor verplanten Fahrzeuge abhängig. Dabei spielen noch heute vor allem Geschick, Erfahrung und nicht selten schlichtes Glück des Disponenten eine entscheidende Rolle.

Innerhalb der nach MÜLLER und KLAUS am häufigsten anzutreffenden Geschäftsmodelle, dem depotgebundenen und dem depotungebundenen Ladungsverkehr⁶ (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 19 ff), gestalten sich die Merkmale des Fahrer- und Fahrzeugeinsatzes seit Jahrzehnten unverändert. Ein Fahrer übernimmt zu Beginn der Woche (s)ein ihm zugewiesenes Fahrzeug. In dieser Zuordnung werden im Wochenverlauf verschiedene aufeinanderfolgend zugeordnete Aufträge abgearbeitet. Am Wochenende kehren Fahrer und Maschine i. d. R. zur Betriebsstätte zurück. Die Einsatzzeit der fixkostenintensiven Maschine „Lkw“ entspricht dabei der vom Gesetzgeber vorgegebenen maximalen Einsatz- und Arbeitszeit⁷, eben jener, eines fest zugeordneten Fahrers. Verstärkt durch die vorherrschenden kleinen Betriebsgrößen in Deutschland (mehr als 80 % aller Fuhrparkbetreiber besitzen weniger als 10 Fahrzeuge - vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 5) scheinen die aktuellen Produktionsverfahren für eine

⁴ Das zur tatsächlichen Transportdurchführung bestellte Unternehmen, siehe Frachtgeschäft §§ 407 – 452d HGB

⁵ Zum Begriff: § 458 HGB und Lorenz und Korf (2008), S. 91

⁶ Eine genaue Differenzierung der Geschäftsmodelle von Ladungsverkehrsanbietern erfolgt in Kapitel 2.

⁷ Vordringlich: EG (VO) 561/2006, ArbZG

große Mehrheit der Anbieter alternativlos. Selbst frachtführenden Unternehmen mit Fuhrparkstärken von mehr als 200 Fahrzeugen fällt es nach deren Angaben schwer, entsprechende Verfahrensänderungen aus eigener Kraft umfangreich zu etablieren.

Eine solche Verfahrensänderung scheint jedoch aus mehreren Perspektiven zwingend notwendig. Zunächst verstärken die entsprechend resultierenden unattraktiven Arbeitsbedingungen für das Fahrpersonal den die gesamte Branche bedrohenden Mangel an Nachwuchskräften, vor allem im Bereich des Fahrpersonals⁸. Lange Abwesenheitszeiten von zu Hause sowie unplanbare und ungünstige Arbeitszeiten tragen maßgeblich zum schlechten Image des Berufszweiges bei (vgl. Lohre, Bernecker und Stock (2014), S. 48 und Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 10). Dies hat zur Folge, dass im Jahr 2014 gut 25 % der sozialversichert beschäftigten Berufskraftfahrer in Deutschland älter als 55 Jahre sind, hingegen nur etwa 2,6 % unter 25 Jahre (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 7).

Vor allem jedoch ist dem verbreiteten Produktionsverfahren ein beispielloser Mangel an Produktivität und Effizienz der eingesetzten Betriebsmittel zu konstatieren. Da es mangels der Information über zeitlichen und räumlichen Anfall von Folgeaufträgen nicht gelingt, den Fahrer nach dessen Schichtende durch einen neuen Fahrer zu ersetzen, kann das fixkostenintensive Fahrzeug heute nur etwa sieben Stunden (30 %) täglich wertschöpfend eingesetzt werden. Die ohnehin im Europäischen Vergleich ungünstigen Kostenstrukturen nationaler Ladungsverkehrsanbieter werden somit zusätzlich durch unproduktive Produktionsprozesse negativ beeinflusst. Insgesamt ist der heutige Anbietermarkt von nationalen Ladungsverkehren von einem äußerst geringen Handlungsspielraum geprägt, den sich stetig verschärfenden Wettbewerbsbedingungen zu begegnen. Entsprechend konstant ist die Anzahl der jährlichen Marktaustritte auf einem im Vergleich zur Gesamtwirtschaft hohen Niveau (vgl. Cordes (2015a), S. 20 ff).

⁸ Zunehmend wird zudem über einen Mangel an geeignetem Fachpersonal im kaufmännischen Bereich, vor allem in der Disposition berichtet, der jedoch an dieser Stelle nicht weiter beleuchtet werden soll (vgl. Bollig (2015), S. 8).

1.2. Hypothese und Gang der Untersuchung

Im Rahmen der Diskussion um die nachhaltige Gestaltung des Güterverkehrs der Zukunft ist die erklärte Zielsetzung der Politik, zunehmend Lkw-Verkehre auf die Schiene zu verlagern. Laut aktueller Studien wird trotz größter Bemühungen der Straßengüterverkehr mittel- bis langfristig der mit Abstand stärkste Verkehrsträger bleiben (vgl. Ickert et al. (2007), S. 92). Somit muss es Ziel der Forschung sein, vor allem Lkw-Ladungsverkehre insgesamt effizienter und damit ökologisch verträglicher zu gestalten.

Die der Arbeit zugrundeliegende Forschungshypothese besagt, dass durch eine sequentielle Mehrfachbesetzung eine signifikante Steigerung der zeitlichen Auslastung von im Ladungsverkehr eingesetzten Fahrzeugen erreicht werden kann. Am Ende einer abgeleisteten Arbeitszeit eines Fahrers muss gewährleistet sein, dass der Fahrer das Fahrzeug verlässt, um durch einen neuen Fahrer mit hinreichend verfügbarer Lenk- und Arbeitszeit ersetzt zu werden. Eine solche Vorgehensweise gewährleistet weit ausgedehntere Einsatzzeiten der Ressource „Lkw“, als dies heute im Rahmen aktuell praktizierter Verfahren möglich ist. Die verbesserte zeitliche Auslastung führt dabei vermutlich zu entsprechenden ökonomischen wie auch ökologischen Vorteilen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht und quantifiziert werden, ob und welche Vorteile durch eine sequentielle Mehrfachbesetzung von Lkw in Ladungsnetzwerken erreicht werden können, und wie diese Produktionsform letztendlich auch von kleinen und mittleren Anbietern umgesetzt werden kann. Die Untersuchung soll dabei einen konzeptionellen Lösungsvorschlag entwickeln, die heute meist unüberwindbar scheinende Bindung eines Fahrers an ein Fahrzeug, ausgelöst durch nicht planbare Auftragssituationen, die eine Neubesetzung eines Fahrzeuges nach Ablauf der Lenk- und Arbeitszeit eines Fahrers verhindern, aufzulösen. Die im betriebswirtschaftlichen Kontext notwendige Entkoppelung der Fahrerarbeitszeit von der Fahrzeugeinsatzzeit (die es ermöglicht, das Fahrzeug länger als eine Fahrerarbeitszeit je Einsatztag produktiv einzusetzen) soll dabei durch eine neu konzipierte Produktionsform für den Ladungsverkehr in Form von variabler Begegnungs- oder Depotverkehre in unternehmensübergreifenden Transportnetzwerken erreicht, bzw. deren Implementierungsmöglichkeiten untersucht werden.

Der derzeitige Industrialisierungs- und Standardisierungsgrad des Leistungsstellungsprozesses ist im Ladungsverkehr noch immer kaum messbar (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 2). Zwar existieren vor allem im Rahmen der Arbeit von KLAUS und MÜLLER erste Handlungsempfehlungen in Anlehnung vor

allen an Erfolgsfaktoren amerikanischer Ladungsverkehrsanbieter, konkrete und zudem praktikable Lösungen zur Effizienzsteigerung nationaler Anbieter liegen bisher jedoch nicht vor.

Ziel der Arbeit ist es, eine unternehmensübergreifende Produktionsform für den mittelständisch geprägten Ladungsverkehrsanbieter zu entwickeln und deren Vorteile anhand quantitativer Analysen theoretisch nachzuweisen. Dabei erfordert die standardisierte Produktionsprozessvariante im Vergleich zu den bisherigen höchst individuellen Prozessen zwar die Neuorganisation und neue Planung des gesamten Ladungsverkehrs, eröffnet damit allerdings dem Unternehmen entsprechende Möglichkeiten und Potentiale der Produktivitätssteigerung und der Effizienzgewinne durch längere Einsatzzeiten des eingesetzten Fuhrparks. Daraus resultierend ist eine positive Beeinflussung der unternehmenseigenen Kostenstrukturen, die Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Lkw-Fahrern und eine effizientere Nutzung der existierenden Infrastruktur zu erwarten. Unter dieser Prämisse verfolgt die Arbeit folgende Teilziele:

- Ausarbeitung neuer Konzepte zur Organisation, Abstimmung, Planung und Steuerung nationaler Ladungsverkehre, zur Entkopplung der Einsatzzeit des Lkw von der Fahrerarbeitszeit (Forschungsfrage 1)
- Untersuchung der zu erwartenden wirtschaftlichen, ökologischen und weiteren Effekte (Forschungsfrage 2)
- Prüfung der Praktikabilität und Übertragbarkeit des konzeptionellen Ansatzes in der Praxis (Forschungsfrage 3)

1.3. Aufbau der Arbeit

Das **2. Kapitel** der Arbeit beschreibt zunächst detailliert den Untersuchungsraum der Arbeit. Dabei werden die relevanten begrifflichen und konzeptionellen Grundlagen behandelt. Abgeleitet von den Grundfunktionen der Logistik erfolgt eine Vorstellung des Transportsystems und dessen Bestandteilen. Hierbei wird insbesondere auf den Transportprozess und die zur Verfügung stehenden Transportmittel eingegangen und eine der Forschungsfrage entsprechende Abgrenzung vorgenommen. Weiterhin werden die grundlegenden Organisationsmodelle und der Ordnungsrahmen des Straßengüterverkehrs allgemein und des Ladungsverkehrs im Besonderen herausgearbeitet und im Hinblick auf die Relevanz zum Forschungsobjekt der Arbeit entsprechend abgegrenzt. In Bezug auf den Ladungsverkehr werden dabei erst einmal allgemeine Merkmale des Leistungsgegenstands und der Leistungserstellung sowie der eingesetzten

betrieblichen Ressourcen erläutert. Darüber hinaus werden danach im Hinblick auf die Produktion von Ladungsverkehren verschiedene Geschäftsmodelle, das Kostenmodell und die entsprechende Kostenstruktur sowie die heutigen Restriktionen und deren Einfluss auf die Produktivität diskutiert.

Kapitel 3 analysiert eingangs die Probleme der derzeitigen Ladungsverkehrsproduktion. Dabei wird zunächst das Spannungsfeld aus stetig steigenden Kosten und unauskömmlichen Frachtpreisen diskutiert. Nachfolgend werden Verschiebungen im Anbietermarkt zugunsten von Wettbewerbern aus den neuen EU-Beitrittsländern als Folge einer nahezu vollständigen Liberalisierung bei fehlender Harmonisierung des Marktes aufgezeigt und Produktionskostendifferenzen in Bezug zu den Erkenntnissen aus Kapitel 2 dargelegt. Auf Basis der Problemfeldanalyse werden Handlungsstrategien erarbeitet, welche die Gesamtsituation der Ladungsverkehrsproduktion im betriebswirtschaftlichen Kontext positiv beeinflussen. Faktoren und deren möglicher Einfluss auf Erlös bzw. Rendite werden hinsichtlich der grundsätzlichen Beeinflussbarkeit und des möglichen Potentials zur Ergebniskorrektur geprüft, sowie Möglichkeiten beschrieben, diese nutzbar zu machen. Letztendlich werden die erarbeiteten Lösungsansätze im Hinblick auf Anwendungsgrad und Umsetzungshemmnisse bzw. themenverwandte Aktivitäten in Literatur und Praxis geprüft. Die Ergebnisse der Recherche werden umfänglich dargelegt und der Ableitung der ersten Konzeption eines Ladungsverkehrsnetzwerkes zugrunde gelegt. Den Abschluss des Kapitels bildet die als Grundlage aller weiteren Untersuchungsschritte der Arbeit geltende Konzeptionierung des neuen Produktionsverfahrens.

In **Kapitel 4** wird erstmals ein Güterverkehrsnetzwerk für die systematisierte Abwicklung von Komplettladungsverkehren geplant und konzeptioniert. Der ausführlich diskutierte Planungsprozess orientiert sich dabei an den aus der Literatur bekannten Planungsproblemen von Sammelgutssystemen. Ziel des Kapitels ist dabei einerseits die Identifikation von im Vergleich zu Sammelgutssystemen veränderten Rahmenbedingungen und Planungsobjekten im Komplettladungsbereich und die Erarbeitung erster Lösungsvorschläge für Netzwerkstrukturen und Verkehrsorganisation. Nach einer einführenden Übersicht zur grundlegenden Planungsproblematik werden anhand der einzelnen Planungsebenen jeweilige Handlungsalternativen vorgestellt. So werden auf Ebene der strategischen Planung zunächst verfügbare Netzwerkstrukturen auf deren Möglichkeiten zur Implementierung geprüft und die damit einhergehenden Festlegungen im Hinblick auf Anzahl und räumliche Verortung notwendiger Depots diskutiert. Ferner werden erste Festlegungen bzgl. einer Notwendigkeit von

fixierten Zeittaktungen vorgestellt. Auf Ebene der taktischen Planung werden daraufhin die Entwicklung und Bearbeitung von Sammel- und Verteilgebieten, also im Fall des Komplettladungsnetzwerks „Bediengebieten“ sowie die Planung von Linienverkehren gegenüberstellend behandelt. Kern des Kapitels bilden die erstmals vorgestellten Konzepte zur Umsetzung der Grundidee des dynamischen Bildens von Sendungspaaren, dem sog. „Matching“. Diese werden ausführlich im Rahmen identifizierter Restriktionen verschiedener Verfahrensvarianten vor- und gegenübergestellt. Abschließend werden auf Ebene der operativen Planung erste Konzepte zur Organisation von Flächenverkehren, der Identifikation tagesaktueller Sendungsmachings, also der Implementierung des zuvor auf konzeptioneller Ebene vorgestellten dynamischen Matchings in den Dispositionsprozess und die zeitliche Organisation der daraus resultierenden dynamischen Linienverkehre im Tagesgeschäft dargelegt. Kapitel 4 schließt mit einer zusammenfassenden Übersicht der jeweiligen Planungsprozesse und deren unterschiedlicher Planungsgegenstände bei der Konzeptionierung von Güterverkehrsnetzwerken im Sammelgut- und Komplettladungssegment.

In **Kapitel 5** werden die Potentiale des entwickelten Lösungsansatzes zunächst im Rahmen einer theoretisch funktionalen Analyse quantifiziert. Dabei werden unter Anwendung des zuvor im Rahmen der operativen Planung konzeptionierten Identifikationsprozesses gut 2 Mio. verfügbare Sendungsdaten einer in Deutschland führenden internetbasierten Frachtenbörse unter Anwendung der jeweiligen Verkehrsverfahren und Matchingvarianten auf deren Netzwerkfähigkeit innerhalb eines, ebenfalls an dieser Stelle zielführend konzipierten Referenznetzwerkes mit 86, in Deutschland verorteten Depots, untersucht. Dabei quantifiziert die Analyse für insgesamt 16 Prüfzenarien alle entsprechenden Kennzahlen des Identifikationsprozesses und ermittelt letztendlich die Anzahl „matchbarer“ Sendungen. Die Ergebnisse werden daraufhin einer Stabilitätsanalyse im Sinne der täglichen Wiederkehr einzelner Matchings unterzogen, um letztendlich die sog. Grundlast des Netzwerkes innerhalb der Prüfzenarien zu ermitteln. Der Identifikation der technischen Möglichkeiten folgt eine entsprechend ausführliche ökonomische Bewertung der Ergebnisse. Hierzu wird noch einmal eingehend das zu Beginn der Arbeit dargelegte Kostenmodell auf den sequentiellen Mehrschichtbetrieb angepasst und die somit erarbeiteten Kostenkennzahlen verwendet, um eine Gesamtkosten- und -leistungsanalyse beider Produktionsvarianten zu erstellen. Abschließend werden zudem ökologische Kennzahlen beider Untersuchungsszenarien ermittelt und die Einflüsse einer Netzwerkproduktion auf diese Kennzahlen quantifiziert.

Die Chancen und Probleme bei der Übertragung des Konzeptes auf Unternehmensebene werden abschließend in **Kapitel 6** diskutiert. Auf Basis der zuvor ermittelten Forschungsergebnisse werden erste Untersuchungen zur praktischen Anwendbarkeit und zur Übertragung des Ansatzes in die tägliche expeditionelle Praxis vorgestellt. Die in diesem Kapitel vorgestellten Forschungsergebnisse basieren auf den zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit bisher unveröffentlichten Ergebnissen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes „iLAN – Intelligentes Ladungsnetzwerk/Entwicklung und Erprobung produktivitäts- und effizienzsteigernder Lösungen zur intelligenten Vernetzung nationaler Ladungsverkehre“. Dabei stehen Ergebnisse der gemeinsamen Bemühungen, mit der E.L.V.I.S. AG aus Alzenau erste praktische Erfahrungen im Bereich dynamischer Begegnungsverkehre zu sammeln, im Vordergrund.

Die Arbeit schließt mit einer in **Kapitel 7** dargelegten Zusammenfassung der Forschungsarbeit insgesamt und einer Analyse zur Beantwortung der eingangs formulierten Forschungsfragen. Ferner gibt das Kapitel einen Ausblick über weitere Forschungsbedarfe zur erfolgreichen Implementierung des entwickelten Ansatzes in die expeditionelle Praxis. Kritische Punkte der Arbeit werden noch einmal beschrieben und mögliche Ansätze zur Verbesserung durch künftige Forschungsarbeiten aufgezeigt.

Abbildung 1 (Seite 9) stellt den Aufbau der Arbeit zusammenfassend grafisch dar.



Abbildung 1: Gang der Untersuchung

Quelle: Eigene Darstellung

2. Abgrenzung und Charakterisierung des Untersuchungsraumes

2.1. Allgemeine Begriffsklärung

2.1.1. Grundfunktionen der Logistik

Definitionen

Logistik als eigenständige Disziplin wurde ursprünglich im militärischen Bereich entwickelt (für eine ausführliche geschichtliche Diskussion siehe Ihde (2001), S. 13 ff, Pfohl (2000), S. 11 ff und Large (2012), S. 3 ff) und steht heute in der Volkswirtschaft und im Betrieb für die Gestaltung und Ausführung des gesamten Materialflusses und des begleitenden Informationsflusses (vgl. Koether (2006a), S. 21). Zwar existiert in der Literatur keine einheitliche Begriffsklärung, jedoch lassen sich in Veröffentlichungen aus dem wissenschaftlichen und unternehmerischen Bereich verschiedene sinnverwandte Definitionen der Logistik finden. Auch befassen sich heute einige nationale und internationale Normen, wie die DIN 69906 „Logistik, Grundbegriffe“ oder der europäische Normentwurf CEN 273001 „Logistik. Struktur, Basisbegriffe und Definitionen der Logistik“ mit der Begriffsklärung. Eine ausführliche Begriffsklärung ist zudem exemplarisch ebenfalls in Pfohl (2000) zu finden.

Nach STABENAU besteht jedoch Einigkeit aller Autoren bei der Beschreibung der Logistik als „Managementmethode zur Optimierung des unternehmensbezogenen und unternehmensübergreifenden Material- und Warenflusses“ (vgl. Stabenau (2004), S. 141). Dabei werden die grundsätzlichen Ziele der Logistik als die Versorgung mit Materialien und Gütern zu optimalen Kosten und Beständen beschrieben, welche gemein hin als die „Sechs R“ der Logistik bezeichnet werden⁹, also die richtige Menge der richtigen Güter am richtigen Ort zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität zu den richtigen Kosten bereitzustellen (vgl. Koether (2006a), S. 21).

FLEISCHMANN liefert eine zunächst sehr allgemeine Definition der Logistik als „Gestaltung logistischer Systeme sowie die Steuerung der darin ablaufenden logistischen Prozesse“ und verweist gleichzeitig auf die Notwendigkeit der Erweiterung dessen um die drei charakteristischen Merkmale der Notwendigkeit

⁹ In früheren Publikationen sind häufig die „Vier R's“ zu finden. Diese bedeuteten im Ursprung „das richtige Produkt (in Menge und Sorte), im richtigen Zustand, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort zu minimalen Kosten bereitzustellen“ (vgl. Pfohl (2000), S. 12). Im Laufe der Zeit erfuhr die ursprüngliche Definition entsprechende Erweiterungen.

eines Informations- und Kommunikationssystems, der Notwendigkeit der ganzheitlichen Sicht aller Prozesse im System und des interdisziplinären Charakters der Logistik (vgl. Fleischmann (2008a), S. 3). Abschließend soll die Definition von KORTSCHAK die Komplexität und Tragweite der Logistik im Rahmen seiner Definition als „Wissenschaft von der Koordination der aktiven und passiven Elemente eines Unternehmens zu den geringsten Zeitkosten zur Verbesserung der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Unternehmens an die sich ändernden Rahmenbedingungen und den Markt“ (vgl. Kortschak (1995), S. 31) hinreichend würdigen.

Funktionen

Die Funktionen der Logistik lassen sich auf unterschiedliche Weise gliedern. Eine Möglichkeit der Gliederung bieten die verschiedenen Modelle nach VAHRENKAMP: Als erstes Modell wird dabei die Einordnung logistischer Funktionen in die betrieblichen Funktionen (Beschaffung, Produktion, Absatz und Entsorgungswirtschaft) diskutiert. Diese ermöglicht die Differenzierung in Beschaffungslogistik, Produktionslogistik, Distributionslogistik und Entsorgungslogistik¹⁰ (vgl. Vahrenkamp (1998), S. 7). IHDE nimmt im Rahmen der Diskussion logistischer Hauptprozesse dieselbe Differenzierung vor und beschreibt die jeweiligen Funktionen als prozessorientierte Segmentierung der Wertschöpfungskette (vgl. Ihde (2001) S. 255 ff). Auch PFOHL gliedert das Gesamtsystem Logistik entsprechend der funktionalen Abgrenzung in die zuvor genannten „phasenspezifischen Subsysteme“ und ergänzt dabei die Ersatzteillogistik (vgl. Pfohl (2000), S. 179 ff).

Als Grundfunktionen der Logistik werden in VAHRENKAMP's zweitem Modell die Überbrückung von Differenzen im Güter- und Informationsstrom beschrieben. Diese Sichtweise der Logistik wird als Transport-, Umschlag-, Informations- und Lagerlogistik (TUIL-Logistik) bezeichnet (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 8). In ähnlicher Form definieren KLAUS und KRIEGER die Grundfunktionen der Logistik als Transportieren, Umschlagen und Lagern, als sog. TUL-Prozess. Die Funktion des Transportierens wird dabei als Veränderung von Objekten im Raum, die Funktion des Umschlagens als Veränderung

¹⁰ Die von VAHRENKAMP als „Funktionen der Logistik“ bezeichneten Begriffe werden gleichbedeutend auch als „Einsatzgebiete der Logistik“ (vgl. Koether (2003)), „Bestandteile der logistischen Kette“ (vgl. Kortschak (1995)), im Sinne einer „phasenspezifischen Abgrenzung“ (vgl. Klaas-Wissing (2008), S. 1.094 ff) oder als selbstständige Disziplinen der Logistik (vgl. exemplarisch Essig (2004), S. 54 ff) in der Literatur beschrieben.

der Ordnung von Objekten und die Funktion des Lagers als Veränderung von Objekten in der Zeit beschrieben (vgl. Klaus (2004), S. 294).

Abbildung 2 stellt die Grundfunktionen der Logistik noch einmal grafisch dar.

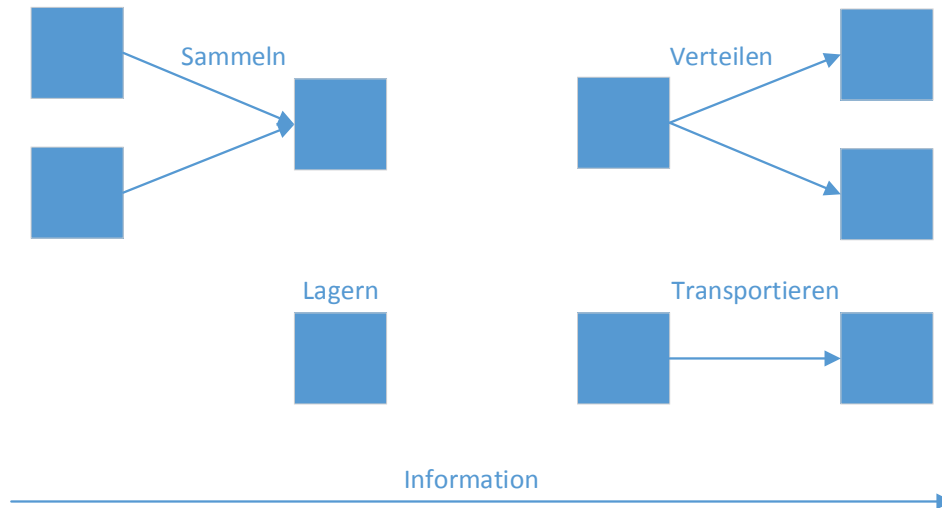


Abbildung 2: Grundfunktionen der Logistik (TUIL-Modell nach VAHRENKAMP)

Quelle: Entnommen aus Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 8

Ein drittes Modell der Logistikfunktionen ist nach VAHRENKAMP das Netzwerkmodell. In diesem Netzwerk werden Rechte, Güter, Finanzströme und Informationen von Quellen über Zwischenknoten zu Senken fließen. Der Autor weist dabei explizit auf die Eignung des Modells hin, unternehmensübergreifende Flüsse in der Logistikkette abbilden zu können (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 9).

Dem Flussgedanken folgend, beschreibt KUMMER die Logistik als flussorientierte Führung des Unternehmens. Dabei geht es nicht mehr um das Management einer logistischen Dienstleistung, sondern darum, wie das Führungssystem ausgestaltet werden soll, um auf der Ausführungsebene reibungslose Flüsse der Materialien und Waren sicherzustellen. Die Logistik selbst wird dabei von einer Dienstleistungs-¹¹ zu einer Führungsfunktion, mit dem Ziel, das Unternehmen als Ganzes flussorientiert auszugestalten. (vgl. Kummer (2009a), S. 259)

¹¹ Die logistischen Grundfunktionen werden in der Literatur auch als Dienstleistungen beschrieben, da Güter bewegt und verwaltet, nicht aber produktionswirtschaftlich umgeformt werden (vgl. Bednarczyk (2009), S. 7).

Im weiteren Gang der Arbeit wird vor allem das Modell der Grundfunktionen, also der TUIL Prozess der Logistik, aber auch das Netzwerkmodell von tragender Bedeutung sein. Es wird darum im weiteren Verlauf auf die jeweiligen theoretischen Grundlagen zurückgegriffen. Weiterhin sind im Sinne der Einordnung logistischer Funktionen in betriebliche Funktionen vor allem die nicht innerbetrieblichen Logistikfunktionen für die vorliegende Arbeit von Bedeutung.

Im Sinne der durch die Logistik zu erfüllenden Aufgaben unterscheidet KOETHER weiterhin zwischen dispositiver und physischer Logistik (vgl. Koether (2006a), S. 37 ff). Während die dispositive Logistik sich vordergründig mit den planenden und steuernden Aktivitäten der Gestaltung des Materialflusses beschäftigt (hier vor allem Mengenplanung, Termin- und Kapazitätsplanung sowie die Auftragssteuerung) und den entsprechenden Informationsfluss zu gestalten und zu verantworten hat, ist es Aufgabe der physischen Logistik, die Güter zu transportieren und die entsprechende Verfügbarkeit am richtigen Ort sicherzustellen. Im Gegensatz zur dispositiven Logistik verantwortet die physische Logistik also den Materialfluss.

Institutionen

Neben der funktionalen Sicht auf logistische Aufgaben kann die Logistik abschließend aus institutioneller Sicht differenziert werden. So erbringen nach KÜBLER, DISTEL und VERES-HOMM zunächst nahezu alle Unternehmen logistische Leistungen. Zu differenzieren sind dabei einerseits Unternehmen, die gewerbsmäßig logistische Leistungen für Dritte am Markt anbieten und zusammengefasst als Logistikdienstleistungswirtschaft bezeichnet werden¹². Andererseits erbringen aber auch Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen im Rahmen ihrer „normalen“ Leistungserstellung logistische Leistungen, bspw. in Form einer eigenen Lagerbewirtschaftung oder im Rahmen innerbetrieblicher Transporte. Dabei werden die Leistungen der Logistikdienstleistungswirtschaft als „Outsourced-Logistik“ bezeichnet, die eigenen Logistikleistungen der übrigen, Nicht-Logistikdienstleister, als „Insourced-Logistik“. (vgl. Kübler, Distel, und Veres-Homm (2015), S. 12)

Da im weiteren Gang der Arbeit vor allem Bezug zur physischen Logistik genommen werden muss, wird folgend der *Transport* als Elementarfunktion der

¹² Eine genaue Klärung zum Begriff „Transportdienstleister“ erfolgt unter 2.1.3., Seite 31 ff.

physischen Logistik nach KOETHER und im Sinne der logistischen Grundfunktion nach VAHRENKAMP sowie KLAUS und KRIEGER eingehend vorgestellt.

2.1.2. Transport und Transportsystem

Güter sind durch physische, räumliche und zeitliche Merkmale vollständig beschrieben. Prozesse, die die räumlichen Merkmale verändern, werden dabei als Transportleistung¹³ bezeichnet. Eine Veränderung der zeitlichen Merkmale erfolgt im Gegensatz dazu bspw. durch die Lagerhaltung, Ordnungsleistungen, wie das Sammeln oder Bündeln, verändern die art- und mengenmäßige Struktur, also die physischen Merkmale eines Gutes (vgl. Ihde (2001), S. 3). Kennzeichnend für die Ausgestaltung des Transportsystems¹⁴ ist zunächst das Transportobjekt¹⁵. Eine Differenzierung erfolgt in der Literatur hierbei zunächst in Güterverkehr, Personenverkehr, Nachrichtenverkehr und Zahlungsverkehr (vgl. Brandenburg, Gutermuth, Oelfke, Oelfke, und Siegfried (2010), S. 17). Da sich die vorliegende Arbeit ausschließlich Fragestellungen im Bereich des Güterverkehrs widmet, wird auf eine Erläuterung der übrigen Transportobjekte und der Spezifika der entsprechenden Transport- oder Verkehrssysteme verzichtet.

Nach PFOHL versteht man unter *Transport* die Raumüberbrückung oder Ortsveränderung von Transportgütern mit Hilfe von Transportmitteln (vgl. Pfohl (2000), S. 162). KUMMER fügt hinzu, dass während des Transports die Objektfaktoren keinen oder allenfalls unwesentlichen Veränderungen ihrer sonstigen Eigenschaften unterliegen dürfen (vgl. Kummer (2009b), S. 283). Nach BUCHHOLZ et al. zählen die Beförderungsfunktion und die damit untrennbar verbundene Umschlagfunktion zu den *primären* Funktionen des Transports, wohingegen die sog. Wegsicherungsfunktion, also das Herstellen und Vorhalten von Wegen zu den *sekundären* Funktionen des Transports gehört (vgl. Buchholz et al. (1998), S. 2).

PFOHL beschreibt das *Transportsystem* in seinen Bestandteilen als *Transportgut*, dem *Transportmittel* und dem *Transportprozess*, welcher wiederum

¹³ Eine genaue Klärung zum Begriff „Transportleistung“ erfolgt auf Seite 27.

¹⁴ In der Literatur wird an dieser Stelle häufig auch gleichbedeutend der Begriff „Verkehrssystem“ verwendet.

¹⁵ Entsprechend [14] „Verkehrsobjekt“

zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Transport zu differenzieren ist (vgl. Pfohl (2000), S. 162). Der innerbetriebliche Transport bezeichnet den Transport von Gütern innerhalb eines Standortes (z. B. Werk oder Produktionsstätte) einer Unternehmung (vgl. Klaus und Krieger (2004), S. 542), wohingegen der außerbetriebliche Transport den Transport vom Lieferanten zum Kunden, den Transport zwischen verschiedenen Werken bzw. zwischen verschiedenen Lagerhäusern eines Unternehmens, also zwischen räumlich getrennten Standorten eines Unternehmens, beschreibt (vgl. Pfohl (2000), S. 162; Klaus und Krieger (2004), S. 542). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit findet ausschließlich der außerbetriebliche Transport Berücksichtigung.

Entsprechend der Transportaufgabe sind *Transportsysteme* so zu gestalten, zu dimensionieren und zu disponieren, dass ein bestimmter Beförderungsbedarf unter Berücksichtigung der räumlichen, zeitlichen und technischen Randbedingungen kostenoptimal erbracht wird (vgl. Gudehus (2000b), S. 217). Das bedeutet, dass zur Lösung eines Transportproblems in Abhängigkeit des Transportgutes die Frage nach dem richtigen bzw. günstigsten Transportmittel und dem richtigen Transportprozess beantwortet werden muss. Jeder der o. g. Bestandteile des Transportsystems weist dabei systemspezifische Eigenschaften auf, die diese Entscheidungen beeinflussen. Aus diesem Grund werden die drei Elemente des Transportsystems folgend erläutert.

Transportprozess und Transportkette

Im Rahmen der zu beantwortenden Fragen im Hinblick auf das Transportproblem wird von PFOHL der Transportprozess als „Software“ des Transportes sowie als ablauforganisatorische Regelungen zur Steuerung des Transportprozesses bezeichnet (vgl. Pfohl (2000), S. 163). Neben der genannten Differenzierung in innerbetriebliche und außerbetriebliche Transportprozesse nach PFOHL können räumliche und zeitliche Eigenschaften Transportprozesse unterschiedlich beschreiben. Nach WLČEK kann dabei der räumliche Umfang als flächendeckend oder relationsbezogen typisiert werden. Erstrecken sich Transporte zwischen Versendern und Empfängern innerhalb eines eng abgegrenzten Gebietes, so werden diese als flächendeckende Transporte bezeichnet, wohingegen relationsbezogene Transporte von einem bestimmten Versand- in ein bestimmtes Empfangsgebiet verlaufen. Die Beziehung zwischen einem Versand- und einem Empfangsgebiet wird dabei als Relation bezeichnet. (vgl. Wlček (1998), S. 10)

Als zeitliche Eigenschaften von Transportprozessen gelten Regel- oder Garantielaufzeiten, Transportfrequenzen und Terminverkehre. Regellaufzeiten basieren auf Erfahrungswerten zur Laufzeit von Transportprozessen. Im Gegensatz zur Garantielaufzeit, bei der eine Obergrenze der Laufzeit vertraglich fixiert wird, ergeben sich bei Überschreitungen der Regellaufzeit keine Möglichkeiten, rechtliche Schritte einzuleiten. Werden feste Termine zur Abholung und Zustellung der Güter vereinbart, so spricht man von Terminverkehren, wobei die eigentliche Dauer des Transportprozesses keine Rolle spielt. Zudem wird heute üblicherweise die Häufigkeit der Bedienung einer Relation als Transportfrequenz ausgewiesen. Innerhalb von Deutschland ist eine 24h-Frequenz üblich. (vgl. Wlček (1998), S. 10)

Die Lösung des Transportproblems besteht nach PFOHL letztendlich im Aufbau einer Transportkette. Diese wird nach DIN 30 781 Teil 1 definiert als „Folge von technischen und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei denen Personen oder Güter von einer Quelle zu einem Ziel bewegt werden“ (Deutsches Institut für Normungen, 1983 – vgl. Pfohl (2000), S. 164). KLAUS und KRIEGER beschreiben die Transportkette im weitesten Sinne zudem als Zusammenfassung aller Transferprozesse zwischen Quellen und Senken, wobei der Transferprozess als Prozess der Raum- und Zeitüberwindung definiert wird, der wiederum durch die Schaffung von Orts- und Zeitnutzen zur Wertschöpfung und zur Bedürfnisbefriedigung der Nachfrager nach den transferierten Objekten beiträgt (vgl. Klaus und Krieger (2004), S. 541). Transportketten sind nach IHDE als System aufzufassen, welches in Beziehung zu Nachbarsystemen wie z. B. der Gütererzeugung und der Güterverwendung stehen (vgl. Ihde (2001), S. 50). Hierbei lassen sich *eingliedrig* oder *mehrgliedrig* aufgebaute Transportketten differenzieren. Sind Quelle und Senke dabei direkt, ohne den Wechsel des Transportmittels unmittelbar miteinander verbunden, so bezeichnet man diesen Transport als ungebrochen oder Direktverkehr. Die Transportkette ist also eingliedrig (vgl. Pfohl (2000), S. 164).

Dagegen liegen bei mehrgliedrigen Transportketten stets entweder mindestens ein Umschlag, also der Wechsel des Transportmittels, und/oder der Einsatz mehrerer Verkehrsträger bei der Verbindung von Quelle und Senke vor (vgl. Vastag (2008), S. 408). Bezieht sich dieser Wechsel auf mehrere Transportmittel eines Verkehrsträgers (z. B. unterschiedliche Lkw), so spricht man vom gebrochenen Verkehr. Bezieht sich der Wechsel auf unterschiedliche Verkehrsträger (z. B. intermodaler Transport Straße/Schiene), wobei kein tatsächlicher

Wechsel des eigentlichen Transportgefäßes stattfindet¹⁶, so spricht man dabei von kombiniertem Verkehr (vgl. Pfohl (2000), S.164). Der Güterfluss in mehrgliedrigen Transportketten ist zudem nach PFOHL in drei typische Phasen zu differenzieren. Dabei beschreibt der Vorlauf als Flächenverkehr den Verlauf der Güter von deren Quellen bis hin zu einem Sammel- bzw. Konzentrationspunkt. Der Hauptlauf als zweite Phase wird als Streckenverkehr bezeichnet und kennzeichnet den Verlauf der Güter vom Sammel- hin zum Verteil- bzw. Auflösungspunkt. Vom Verteilpunkt zu den Senken findet der Nachlauf erneut als Flächenverkehr charakterisiert und als dritte Phase bezeichnet statt.

Abbildung 3 (Seite 18) stellt die Systematik ein- und mehrgliedriger Transportketten in Anlehnung an Buchholz et al. (1998), S. 50 ff noch einmal zusammengefasst grafisch dar.

¹⁶ In der Literatur wird der Begriff „Umschlag“ im gebrochenen Verkehr in drei Arten differenziert: (1) dem direkten Umsetzen der Gutes bzw. Objektes, (2) dem Umsetzen des Gutes mit Hilfe des Ladehilfsmittels oder Transportgefäßes und (3) dem Umsetzen des ganzen Transportmittels (vgl. Stein (2004), S. 552).

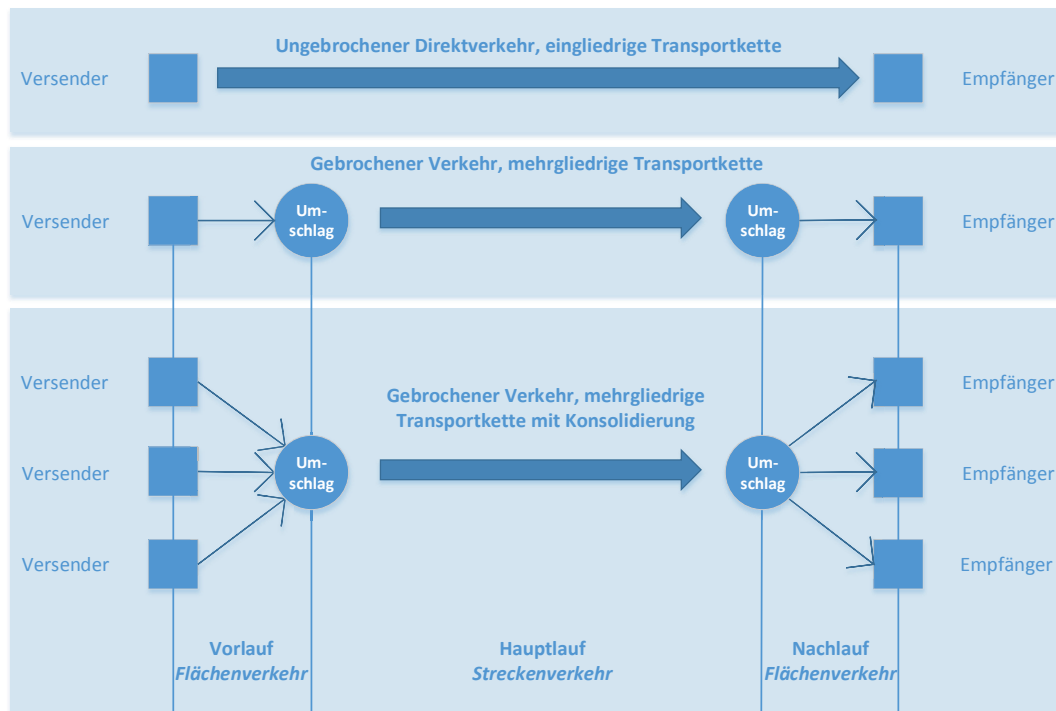


Abbildung 3: Eingliedrig und mehrgliedrig aufgebaute Transportketten

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Buchholz et al. (1998), S. 50

Die vorliegende Arbeit adressiert Transportprobleme, die bisher mit Hilfe einer eingliedrigen Transportkette, also dem ungebrochenen Direktverkehr gelöst werden konnten. Die später ausführlich vorgestellte Forschungshypothese sieht jedoch vor, aus Gründen der Optimierung von Ladungsverkehren, diese in eine mehrgliedrige Transportkette zu überführen und dabei im ersten Schritt einen Wechsel zwischen mehreren Transportmitteln eines Verkehrsträgers (verschiedene Lkw) einzuführen.

Transportgut

Ausschlaggebend für die Ausgestaltung des Transportsystems ist weiterhin das Transportgut. Die Eigenschaften des zu transportierenden Gutes beeinflussen die Wahl des Transportmittels (inkl. der notwendigen Hilfsmittel für Be- und Entladung sowie Umschlag) und gleichermaßen die Ausgestaltung des Transportprozesses. Zur differenzierten Betrachtung verschiedener Transportgüter bietet es sich an, zunächst entsprechend der für Verkehrsstatistiken verwendeten Gütergruppierungen nach NST/R (Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport; R: revised) bzw. in aktueller Weiterentwicklung nach NST-2007 zu unterscheiden. Die transportierten Güter wurden dabei seit 1969 in Verkehrsleistungsstatistiken nach dem europäischen „Einheitlichen

Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik“ (NST/R1) von 1968 nachgewiesen. Diese Systematik umfasste zehn Güterabteilungen, 52 Güterhauptgruppen und 175 Gütergruppen. Für Datenlieferungen an das Statistische Amt der EU (Eurostat) waren zusätzlich, basierend auf den Güterhauptgruppen, 24 sogenannte SAEG-Gütergruppen in den Verordnungen bzw. Richtlinien festgelegt. Diese Systematik war in Teilen veraltet und musste zudem überarbeitet werden, da die „Verordnung zur Schaffung einer neuen statistischen Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen“¹⁷ (Classification of products by activity = CPA) eine Anpassung anderer Güterklassifikationen an die CPA fordert. Die neue NST-2007 enthält insgesamt *20 Güterabteilungen* und basiert auf der CPA. Die Gütergliederung für den Verkehrsbereich gewährleistet damit eine hohe Vergleichbarkeit mit anderen Statistikbereichen, die sich bei ihrer Gütergliederung ebenfalls an der CPA orientieren (z. B. Produktionsstatistiken). (vgl. Statistisches Bundesamt (2008), S. 3)

Tabelle 1 (Seite 20) stellt die 20 Güterabteilungen inklusive der jeweils in der Literatur zusammengefasst verwendeten Gliederungsvarianten (vgl. bspw. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014), S. 284) dar.

¹⁷ Verordnung (EG) Nr. 451/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2008 zur Schaffung einer neuen statistischen Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen (CPA) und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3696/93 des Rates.

2. Abgrenzung und Charakterisierung des Untersuchungsraumes

Tabelle 1: NST-2007 Güterabteilungen und zusammenfassende Gliederung

NST-2007 Abteilung	Lang-Bezeichnung	Kurz-Bezeichnung	Zusammenfassende Gliederung: 10-Positionen B 1 – B 10	Zusammenfassende Gliederung: 7-Positionen C 1 – C 7
01	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft, Rohstoffe
02	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	
04	Nahrungs- und Genussmittel	Nahrungs- und Genussmittel	Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren	Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren
05	Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren		
06	Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Rohholz und Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	Holzwaren, Papier, Pappe Druckerzeugnisse		
07	Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	Mineralische, chemische und Mineralölerzeugnisse
08	Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	Chemische Erzeugnisse etc.	Chemische Erzeugnisse, Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	
09	Sonstige Mineralerzeugnisse	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)		
10	Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	Metalle und Metallerzeugnisse	Metalle und Metallerzeugnisse	Metalle und Metallerzeugnisse
11	Maschinen und Ausrüstungen a.n.g.; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen; Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung u. Ä.; Nachrichtentechnik, Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie elektronische Bauelemente; Medizin-, Mess-, steuerungs- und regelungstechnische Erzeugnisse; optische Erzeugnisse; Uhren	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	Maschinen und Ausrüstungen, langlebige Konsumgüter	Maschinen und Ausrüstungen, langlebige Konsumgüter
12	Fahrzeuge	Fahrzeuge		
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.		
14	Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	Sekundärrohstoffe, Abfälle	Sekundärrohstoffe, Abfälle	Sekundärrohstoffe, Abfälle
15	Post, Pakete	Post, Pakete	Sonstige Produkte	Sonstige Produkte
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	Geräte und Material für die Güterbeförderung		
17	Im Rahmen von privaten und gewerblichen Umzügen beförderte Güter; von den Fahrgästen getrennt befördertes Gepäck; zum Zwecke der Reparatur bewegte Fahrzeuge; sonstige nichtmarktbestimmte Güter a.n.g.	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter		
18	Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	Sammelgut		
19	Nicht identifizierbare Güter: Güter, die sich aus irgendeinem Grund nicht genau bestimmen lassen und daher nicht den Gruppen 01-16 zugeordnet werden können	Gutart unbekannt		
20	Sonstige Güter a.n.g.	Sonstige Güter a.n.g.		

Quelle: Entnommen aus Statistisches Bundesamt (2008), S. 7-8

Weiterhin lässt sich das Transportgut nach dessen Aggregatzustand typisieren. Aus der Chemie sind dabei die Eigenschaften „fest“, „flüssig“ und „gasförmig“ bekannt. Im Kontext zur entsprechend zu lösenden Transportaufgabe bietet es sich zudem an, feste Stoffe noch einmal in Stück- und Schüttgüter zu differenzieren (vgl. Koether (2006b), S. 50). WLČEK spricht in diesem Zusammenhang

vom originären Zustand, also der Gestalt der Ware, wobei der Kategorie Stückgut auch andere Zustandsformen zugerechnet werden können, wenn diese z. B. durch Verpackungsvorgänge ähnliche Eigenschaften wie Stückgut erlangen (vgl. Wiček (1998), S. 9). Wendet man die entsprechende Klassifizierung auf die zuvor dargestellten Güterabteilungen nach NST-2007 an, so ist zu konstatieren, dass mit Ausnahme von Abteilung 07 und Teilen der Abteilung 02 alle anderen Abteilungen mit weiteren Ausnahmen feste Stoffe adressieren. In der weiteren Differenzierung nach Stück- und Schüttgütern sind vor allem die Abteilungen 01-03 und in Teilen Abteilung 14 den Schüttgütern zuzuordnen.

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem die Güterabteilungen, die feste Stoffe als Stückgüter beinhalten von Relevanz. Schütt-, Fließ- und gasförmige Güter werden in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt.

Neben dem Begriff „Transportgut“, also der zu transportierenden Ware, muss an dieser Stelle der Begriff der Sendung eingeführt werden. Sendungen bezeichnen die Gesamtheit der Güter, die als ein Auftrag¹⁸ von einem Versender zu einem Empfänger befördert werden (vgl. Klaus und Krieger (2004), S. 472). Nach FLEISCHMANN und OTREMBA lassen sich entsprechend der Sendungsgrößen folgende Sendungstypen ableiten (vgl. Fleischmann (2008a), S. 16 und Otremba (2004), S. 14):

Komplettladung	bezeichnet den Versand einer gesamten Wagenladung eines bestimmten Gutes
Teilladungen	bezeichnen den Transport von Mengen, die weniger als die komplette Kapazität des Transportmittels beanspruchen bei einem Sendungsgewicht von 1 – 3 t
Stückgut	bezeichnet den Transport von geringen Mengen, die entsprechend ebenfalls weniger als die komplette Kapazität des Transportmittels beanspruchen bei einem Sendungsgewicht von etwa 30 kg – 2 t
Paket	Sendung geringer Größe bis ca. 31 kg Gewicht

¹⁸ Da sich die vorliegende Arbeit mit Komplettladungsverkehren beschäftigt, werden die Begriffe Sendung und Auftrag gleichbedeutend verwendet, da gilt: Auftrag = Sendung.

Aus der Literatur ist zudem ein weiterer Sendungstyp abzuleiten. Die Differenzierung des Logistikmarktes nach KILLE et al weist die „nationale Massengutlogistik“ als ein separates Marktsegment aus und spricht in diesem Zusammenhang von „Massengütern des Bergbaus, Rohöle, Agrarprodukte [...], die größtenteils mit Teil- oder Ganzzügen der Bahn, per Binnenschiff oder in Form von Einzelwaggon-Ladungsverkehren auf der Straße transportiert werden“ (vgl. Kille, Klaus, und Müller Steinfahrt (2008), S. 312 und S. 376). Die Sendungsgrößen bei Massengütern übersteigen also die Kapazität eines einzelnen Transportmittels (vgl. Pfohl (2000), S. 170).

Für die vorliegende Arbeit spielen insbesondere Komplettladungen und in Ausnahmen zu Komplettladungen konsolidierte Teilladungen eine herausragende Rolle. Zwar lassen sich Stückgüter und Pakete ebenfalls zu Komplettladungen verdichten, die letztendliche Produktionsform dieser Transporte unterscheidet sich jedoch signifikant vom eigentlichen Untersuchungsgegenstand der Arbeit. Eine genaue Erläuterung zu entsprechenden Produktionsverfahren erfolgt in Kapitel 2.2. Die Beschaffenheit des Transportgutes und mit Einschränkungen auch die Sendungseigenschaften beeinflussen direkt die Entscheidung hinsichtlich der Wahl des Transportmittels. Das Transportmittel selbst wird folgend näher betrachtet.

Transportmittel

PFOHL differenziert in seiner strukturierten Übersicht über das Güterverkehrssystem zunächst den Güterverkehr nach den Medien, auf oder in denen die Beförderungsfunktion (oder Transportfunktion) erfüllt wird. Dabei wird zwischen dem Landverkehr, dem Luftverkehr und dem Wasserverkehr unterschieden (vgl. Pfohl (2000), S. 168). Die folgende Gliederungsebene ähnelt den von IHDE benannten „makrologistischen Subsystemen“, die wiederum entsprechend der Nutzung der zur Verfügung stehenden Verkehrswege differenziert werden. Dabei erfolgt eine Einteilung in zu PFOHL ähnlicher Form nach:

Seeschifffahrt, Binnenschifffahrt, Eisenbahnverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr und Rohrleitungsverkehr, wobei eben diese makrologistischen Subsysteme im weiteren Verlauf als Verkehrsträger¹⁹ definiert werden (vgl. Ihde (2001), S. 135). Auch ABERLE nimmt eine solche Abgrenzung nach Verkehrsträgern vor (vgl. Aberle (2009), S. 18) und führt fort: „Bei den Verkehrsträgern werden

¹⁹ Definiert als „die Gesamtheit von Unternehmungen, die sich einer spezifischen Verkehrsinfrastruktur bedienen“ (vgl. Ihde (2001), S. 135).

als Transportgefäße die Verkehrsmittel eingesetzt“ (vgl. ebenda). Nach ABERLE und IHDE kann der Verkehrsträger also als die Gesamtheit an Unternehmungen²⁰, die sich einer spezifischen Infrastruktur bedienen, bezeichnet werden. Dabei werden Verkehrsmittel auf den Verkehrswegen (der Verkehrsinfrastruktur) eingesetzt, um nach Ergänzung von LARGE dabei die Handlungen des räumlichen Transfers zu vollziehen oder zu ermöglichen (vgl. Large (2012), S. 57).

Verkehrsinfrastruktur bezeichnet dabei alle Einrichtungen, die der Durchführung des Verkehrs dienen. Sie umfasst die Gesamtheit der Verkehrswege und der Stationen als deren Zugangs-, Abgangs- und Umschlagstellen (vgl. Ihde (2001), S. 111).

Verkehrsmittel sind bewegliche technische Einrichtungen der Verkehrsbetriebe. Sie dienen dem Transport, also dem technischen Vorgang der Beförderung (vgl. Brandenburg et al. (2010), S. 18). Entsprechend der Definitionen und dem zugrunde gelegten Transportobjekt sind den jeweiligen Verkehrsträgern folgende Verkehrs- bzw. Transportmittel zuzuordnen (vgl. Ihde (2001), S. 136 ff, Pfohl (2000), S. 169 ff und Aberle (2009), S. 19 ff):

Straßengüterverkehr: → Lastkraftwagen

Eisenbahngüterverkehr: → Eisenbahn

Binnenschifffahrt: → Binnenschiff

Luftverkehr: → Flugzeug

Seeschifffahrt: → Seeschiff

Die Begriffe Transportmittel und Verkehrsmittel werden dabei von den jeweiligen Autoren synonym verwendet. Im Straßengüterverkehr, als zunächst adressierter Verkehrsträger zur Lösung der Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit, wird die Güterbeförderung im Straßengüterverkehr mit Hilfe von Kraftfahrzeugen, d. h. Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen mit Sattelanhängern erbracht (vgl. Cardeneo (2008), S. 727). Eine ausführliche Beschreibung aller, bei den jeweiligen Verkehrsträgern zum Einsatz kommenden Transportmittel ist darüber hinaus in Buchholz et al. (1998), S. 105 ff zu finden. Für die zu lösende

²⁰ Also alle Verkehrsbetriebe, die über kaufmännische Einrichtungen und Verkehrsmittel verfügen.

Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit sind zunächst der Rohrleitungsverkehr und die Seeschifffahrt von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Der Rohrleitungsverkehr nimmt im Verkehrsträgerkonzept ohnehin eine Sonderrolle ein, da als Transportgut ausschließlich flüssige oder gasförmige Stoffe zugeordnet werden können. Flüssige und gasförmige Stoffe wurden von der Untersuchung bereits zuvor ausgeschlossen. Da sich die vorliegende Arbeit weiterhin vordringlich mit *nationalen* Ladungsverkehren beschäftigen wird, ist zudem die Seeschifffahrt von weiteren Betrachtungen zu entbinden, da im entsprechenden Betrachtungsgebiet keine Verkehrswege zur Verfügung stehen. Neben den bereits erwähnten spezifischen Merkmalen verfügen alle Verkehrsträger über spezielle Vor- und Nachteile, deren Vergleich die Entscheidung, welches Transportmittel im Rahmen der Arbeit zu betrachten ist, erleichtern soll. Hierzu kann beispielsweise das Konzept der Verkehrswertigkeiten nach VOIGT herangezogen werden, welches zur gesamthaften Erfassung der verkehrsmittelspezifischen Merkmale entwickelt wurde. Einzelne Qualitätsmerkmale werden dabei als Dimension oder Ebene (sog. Teilwertigkeit) und die Gesamtheit der Dimensionen als Qualitäts- oder Wertigkeitsprofil beschrieben (vgl. Voigt (1973), S. 71 ff). Folgende sieben Qualitätsmerkmale werden aufgeführt:

Schnelligkeit, Massenleistungsfähigkeit, Fähigkeit zur Netzbildung, Berechenbarkeit, Sicherheit, Bequemlichkeit und die Häufigkeit der Verkehrsleistung.

In der Weiterentwicklung des Systems nach VOIGT werden in der aktuellen Literatur zudem Merkmale wie „Umweltverträglichkeit“ und „Kosten“ zusätzlich berücksichtigt (vgl. Brandenburg et al. (2010), S. 21).

Folgend werden nun für die jeweiligen Verkehrsträger, in Anlehnung an das zuvor vorgestellte Modell der Verkehrswertigkeiten und der Beurteilungen von VOIGT, PFOHL, BRANDENBURG et al und LARGE, Vor- und Nachteile wiedergegeben.

Straßengüterverkehr

- Vorteile: höchste Flächenerschließung, dichtes Netz, häufige Bedienungen, wirtschaftlicher Einsatz auch bei kleinen Losgrößen möglich, flexibel, kurze Transportdauer, geringe Transportkosten im Nahbereich

- Nachteile: geringe Massenleistungsfähigkeit, ökologische Nachteile im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern, sich zunehmend verschlechternde Berechenbarkeit, Gewichts- und Volumenbeschränkungen, Einsatzbeschränkungen (Fahrverbote)

Schienenengüterverkehr

- Vorteile: hohe Massenleistungsfähigkeit, kostengünstig bei großen Transportmengen über weite Distanzen, niedriger spezifischer Energieverbrauch und dadurch geringe Umweltbelastung, hohe Transportsicherheit
- Nachteile: geringe Flächendeckung, geringe Netzdichte, hohe Wirtschaftlichkeitsschwelle und dadurch ökonomischer Zwang zur Konsolidierung mit Flexibilitätsverlusten, ungünstige Transportdauer

Binnenschifffahrt

- Vorteile: hohe Massenleistungsfähigkeit, kostengünstig bei großen Transportmengen über weite Distanzen, niedriger spezifischer Energieverbrauch und dadurch geringe Umweltbelastung, hohe Transportsicherheit, geringe Lärmemission
- Nachteile: sehr geringe Flächendeckung, sehr geringe Netzdichte, witterungsabhängig, geringe Transportgeschwindigkeit

Luftfracht

- Vorteile: vergleichsweise sehr geringe Transportdauer bei weiten Entfernungen, hohe Transportsicherheit
- Nachteile: hohe Transportkosten, hohe Umweltbelastung, Sendungsgröße und -gewicht eingeschränkt

PFOHL's „Beurteilung von Verkehrsträgern“ als Ergebnis einer durchgeführten Umfrage unter 134 Verladern stellt vergleichbare Ergebnisse folgend in Abbildung 4 (Seite 26) noch einmal grafisch dar.

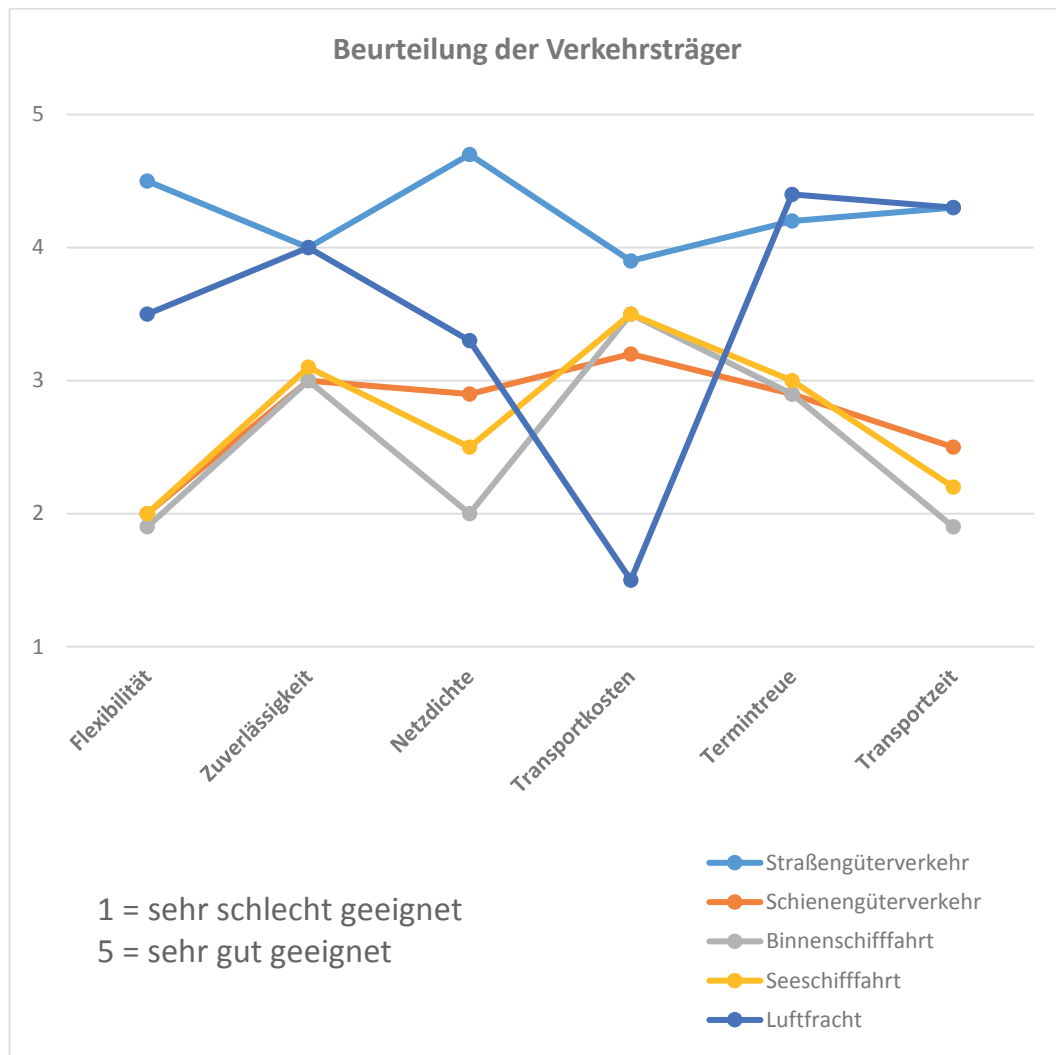


Abbildung 4: Beurteilung von Verkehrsträgern

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfohl (2000), S. 169

Die Analyse der einzelnen Verkehrsträger hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zeigt einerseits, dass der Straßengüterverkehr durch die im Vergleich höchste Netzdichte in Verbindung mit den geringsten Transportkosten, bei höchster Flexibilität, Zuverlässigkeit und Termintreue der für die zu lösenden Forschungsfragen zu präferierende Verkehrsträger ist. Andererseits wird wiederum deutlich, dass als Problemlösungsvorschlag nicht ohne weiteres die Substitution der Verkehrsleistung durch andere Verkehrsträger in Frage kommen kann. Die Bedeutung des Straßengüterverkehrs wird zudem bei einem Blick auf den

aktuellen Modal Split²¹ deutlich. Dabei wird differenziert nach Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung der Gesamtverkehr, verteilt auf die jeweiligen Verkehrsträger, erfasst.

Unter dem *Verkehrsaufkommen* wird dabei die Menge der in einem bestimmten Zeitraum außerhalb von Produktionsstandorten beförderten Güter in Tonnen verstanden. Darauf aufbauend ist die *Verkehrsleistung* das Produkt aus dem Verkehrsaufkommen und der zurückgelegten Weglänge. Diese wird in Tonnenkilometern gemessen (vgl. Buchholz et al. (1998), S. 3). In beiden Betrachtungen nimmt der Straßengüterverkehr die mit Abstand bedeutendste Rolle ein. So wurden im Jahr 2013 mit 3.366,6 Mio. t von 4.058,81 Mio. t Gesamtaufkommen etwa 83 %²² des gesamten Güterverkehrsaufkommens im Bereich des Straßengüterverkehrs bewältigt (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014), S. 241). Von einer in Deutschland 2013 insgesamt erbrachten Transportleistung von ca. 645 Mrd. tkm entfallen ca. 70 %, also 452,7 Mrd. tkm²³ auf den Straßengüterverkehr (vgl. ebenda).

Die deutliche Dominanz des Straßengüterverkehrs im Modal Split, dargestellt noch einmal in Abbildung 5 (Seite 28), lässt sich einerseits durch die zuvor genannten Wettbewerbsvorteile gegenüber anderen Verkehrsträgern begründen (vgl. Pfohl (2000), S. 170 ff). Dabei sind nach PFOHL die Zeit- und Kostenvorteile im Nah- und Flächenverkehr, sowie die hohe Anpassungsfähigkeit an individuelle Transportbedürfnisse besonders hervorzuheben.

²¹ Auch „Verkehrsteilung“, also der Anteil des einzelnen Verkehrsträgers am gesamten Verkehr.

²² Der BGL geht von 3.372,8 Mio. t im Straßengüterverkehr bei 4.065,1 Mio. t Gesamtaufkommen in 2013 aus. Das entspricht ebenfalls einem Anteil von 83 % (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 53).

²³ Lt. BGL 453,6 Mrd. tkm im Straßengüterverkehr bei 645,8 Mrd. tkm gesamt. Das wiederum entspricht ebenfalls 70 % Anteil des Straßengüterverkehrs an der Gesamtverkehrsleistung (vgl. ebenda).

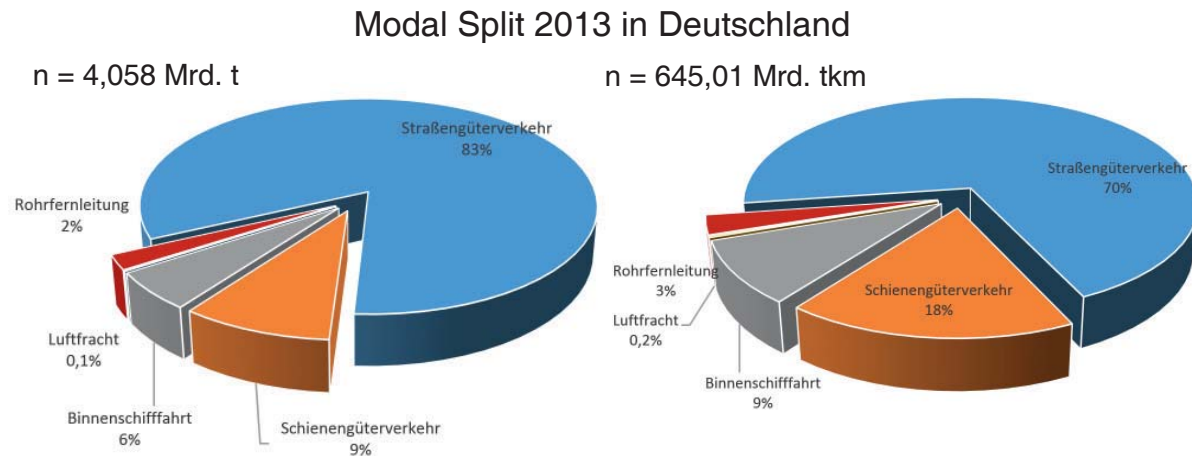


Abbildung 5: Modal Split 2013 in D. nach Güterverkehrsaufkommen (links) und Güterverkehrsleistung (rechts)

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Werte des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014), S. 241

Weiterhin haben nach ABERLE mehrere verkehrssektorinterne und verkehrssektorexterne Veränderungen in den Entscheidungsvariablen für das Angebots- und Nachfrageverhalten den Umfang der Verkehrsleistungserstellung und auch den Modal Split vor allem im Güterverkehr wesentlich beeinflusst. Dabei beschreibt zunächst der *Substitutionseffekt* den Austausch der mit öffentlichen Verkehrsmitteln erstellten Verkehrsleistungen durch die Nutzung individueller Verkehrsmittel. Neben der vordringlichen Substitution durch Pkw im Personenverkehr, begünstigten auch dem Güterverkehr die Systemeigenschaften des Straßengüterverkehrs ähnliche Austauschprozesse (vgl. Aberle (2009), S. 91). Als weitere bedeutende wirtschaftliche Rahmenbedingung für die Gestaltung des Güterverkehrs gilt die Veränderung der Struktur des Güterverkehrsaufkommens, der sogenannte *Güterstruktureffekt*. Eine mit der wirtschaftlichen Entwicklung einhergehende sukzessive Sättigung des Bedarfes an Massengütern²⁴ führte zu starken Anteilsverschiebungen einzelner Güterarten. Dabei verlieren vor allem Massengüter durch Stagnation oder Produktionsrückgang in der Grundstoffindustrie zugunsten von Stückgütern, hochwertigen Konsum- und Investitionsgütern, zunehmend Anteile am Gesamtaufkommen (vgl. Pfohl (2003), S. 10). Das bedeutet vor allem, dass wirtschaftliches Wachstum immer weniger

²⁴ VAHRENKAMP spricht in diesem Zusammenhang von Massenkonsumgesellschaft (vgl. Vahrenkamp (2011), S. 10).

vor allem eisenbahnaffines Verkehrsaufkommen²⁵ erzeugt (vgl. Ihde (2001), S. 158). Bedingt also durch die Veränderungen innerhalb der Güterstruktur und den spezifischen Verkehrsträgereigenschaften ergab es sich, dass vor allem die Eisenbahn und auch das Binnenschiff ihre höchsten Marktanteile in den stagnierenden oder gar rückläufigen Gütergruppen besitzen. Der Straßengüterverkehr wiederum ist u. a. aufgrund seiner bereits beschriebenen Flexibilität, zeitlichen Vorteile und vergleichsweise geringsten Anpassungsschwierigkeiten begünstigt. Die stetige Verkleinerung der Sendungsgrößen und vordringlich die Umsetzung moderner logistischer Konzeptionen in Industrie und Handel trugen im Rahmen des sogenannten *Logistikeffektes* weiter zur Stärkung der Wettbewerbsposition des Straßengüterverkehrs gegenüber anderen Verkehrsträgern bei (vgl. Aberle (2009), S. 95). Die sich verändernden Marktanforderungen als Ergebnis der logistischen Neuorientierung der Industrie- und Handelsunternehmen, wie z. B. durch Fertigungstiefenreduktion oder unternehmensübergreifende Flussorientierung, stellten veränderte Anforderungen an den Gütertransport, die wiederum der Straßengüterverkehr stets am besten und unkompliziertesten erfüllen konnte (vgl. Pfohl (2003), S. 343). Zuletzt ist im Rahmen des sogenannten *Integrationseffekts* eine Zunahme des grenzüberschreitenden Transportvolumens zu konstatieren, welche aus dem gemeinsamen europäischen Markt sowie der Öffnung der osteuropäischen Staaten resultiert. Die wirtschaftliche Integration führte dabei zu steigenden Transportmengen und insbesondere wachsenden Transportentfernungen im grenzüberschreitenden Verkehr. Auch von dieser Entwicklung profitierte vor allem der Straßengüterverkehr, der in diesem Marktsegment seine Mengen vervielfachte (vgl. Aberle (2009), S. 97). Dagegen leidet vorwiegend der Schienengüterverkehr trotz großer Fortschritte noch immer unter technischen Schnittstellen, z. B. aufgrund länderspezifischer Antriebs- und Sicherungssysteme (vgl. Large (2012), S. 67).

Neben der Strukturveränderung und neuen Verladeranforderungen durch zunehmend komplexere logistische Konzeptionen und fortschreitende Internationalisierung der Produktions- und Handelsketten, verhalfen zudem Sanierungsmaßnahmen der defizitären Bundesbahn auf Kosten des Schienengüterverkehrs bereits ab den 1960er Jahren dem Straßengüterverkehr zu weiteren Wachstumsraten. Die Reduktion des Güterverkehrs, vor allem für Stückgut in der Fläche und die damit einhergehende Reduktion der Anzahl der Bahnhöfe, an denen Stückgut umgeschlagen werden konnte (von 5 897 in 1958 auf 421 in

²⁵ In der Literatur wird zudem von einer „Entmaterialisierung in der Güterstruktur“ gesprochen (vgl. Pfohl (2003), S. 342).

1976), sowie einer unter Verkehrsminister Leber angeordneten Reduktion des Eisenbahnnetzwerkes von 31 000 km im Jahre 1967 auf 24 000 km, sorgten für einen weiträumigen Rückzug des Schienengüterverkehrs aus der Fläche (vgl. Vahrenkamp (2011), S. 248). Die somit seitens des Schienengüterverkehrs nicht mehr bedienten Verkehre wurden zu 100 % durch den Straßengüterverkehr substituiert. Bis heute ist eine Umkehr dieses Trends nicht zu erkennen. Das erst im Jahr 2000 initiierte Sanierungsprogramm MORA C²⁶ und die damit verbundene Aufgabe des Einzelwagenverkehrs sowie weiterer Bahnhöfe und Industrieanschlüsse unterstützen die letztendliche Massengutaffinität des Schienengüterverkehrs und verhindern eine Anpassung an o. g. Veränderungen. Der Blick in die Zukunft offenbart ein ähnliches Ergebnis. Der Straßengüterverkehr wird laut verschiedener Studien kurz-, mittel- und langfristig der mit Abstand stärkste Verkehrsträger bleiben. So geht zunächst die „Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr“ von ITP und BAG von einem Anteilszuwachs des Straßengüterverkehrs im Jahre 2018 von 1 % (auf 84 %) beim Modal Split nach Verkehrsaufkommen und einer Anteilszunahme ca. 2 % (auf 72,2 %) beim Modal Split nach Verkehrsleistung aus (vgl. Ratzenberger (2015), S. 44). Dabei wird nach RATZENBERGER das Aufkommen im Straßengüterverkehr auf 3,776 Mrd. t und die Verkehrsleistung auf 522 Mrd. tkm steigen (vgl. ebenda).

Die „Verkehrsverflechtungsprognose 2030“ von BVU, ITP, IVV und Planco prognostiziert bis zum Jahr 2030 einen Anstieg des Gesamttransportaufkommens um 18 % sowie einen Anstieg der Transportleistung auf dem Gebiet der BRD um 38 %, beide Werte im Vergleich zum Referenzjahr 2010 (vgl. M. Schubert et al. (2014), S. 286). Zwar werden dem Straßengüterverkehr im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern die prozentual niedrigsten Steigerungsraten prognostiziert, er bleibt absolut jedoch mit 83,5 % Anteil am Modal Split nach Aufkommen und 72,5 % Anteil am Modal Split nach Verkehrsleistung auch 2030 stärkster Verkehrsträger (vgl. ebenda).

Letztendlich zeichnete die von *progtrans* erarbeitete Studie „Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050“ bereits im Jahr 2007 ein ähnliches Bild. Bei einem geschätzten Güterverkehrsaufkommen im Jahr 2050 von 5,468 Mrd. t werden auf den Straßengüterverkehr 4,437 Mrd. t, also ca. 81 % entfallen. Zudem wird bei einer nahezu Verdopplung der heutigen Verkehrsleistung im Güterverkehr bis 2050 (auf 1 218 Mrd. tkm)

²⁶ MORA C bedeutet „Marktorientiertes Angebot Cargo“.

der Anteil des Straßengüterverkehrs an der Gesamtgüterverkehrsleistung bei 71,6 % im Vergleich mit der heutigen Situation bleiben (vgl. Ickert et al. (2007), S. 102 ff). Somit muss es Ziel der Forschung sein, Straßengüterverkehre insgesamt effizienter und dadurch ökologisch verträglicher zu gestalten. Einmal mehr aus diesem Grund adressiert die vorliegende Arbeit den Verkehrsträger Straßengüterverkehr im Allgemeinen und widmet sich mit der zu lösenden Forschungsfrage dem größten Teilbereich bzw. Marktsegment des Straßengüterverkehrs – dem Lkw-Ladungsverkehr²⁷.

2.1.3. Logistikdienstleistungen und Logistikdienstleister

Dienstleistungen als solche sind im Gegensatz zu Sachleistungen durch Immaterialität und Zeitbezug gekennzeichnet. Dabei sind zeitpunktbezogene Dienstleistungsprodukte mit Ergebnisorientierung und zeitraumbezogenen Dienstleistungsprodukten mit Verrichtungsorientierung differenziert zu betrachten. Bei zeitpunktbezogenen Produkten steht das Ergebnis der Leistungserstellung im Vordergrund (im Kontext logistischer Dienstleistungen – z. B. die termingerechte Zustellung), bei zeitraumbezogenen Produkten steht der Prozess selbst im Mittelpunkt der Leistungserstellung, bspw. die während des Transports ungebrochene Kühlkette (vgl. Fortmann und Kallweit (2007), S. 152). Zur differenzierten Darstellung von Logistikdienstleistungen ist es zweckmäßig, zunächst eine Spezifizierung des Logistikbedarfes, ausgehend von sog. Basisleistungen unter Hinzunahme weiterer Teilleistungen vorzunehmen. Daraus resultiert nach GUDEHUS eine Klassifizierung der möglichen Leistungen in Einzel-, Verbund- und Systemleistungen. Hierbei setzen sich *Einzelleistungen* aus den klassischen Transport-, Umschlags- und Lagerleistungen und den darüber hinausgehenden, nichtlogistischen Sonderleistungen zusammen (vgl. Gudehus (2000a), S. 384). Durch die Verknüpfung von Einzelleistungen und der in ihnen enthaltenen Teilleistungen können verschiedene *Verbundleistungen*²⁸ generiert werden, die unter Einbeziehung von Prozessleistungen ganze Prozessketten widerspiegeln (vgl. Scholz-Reiter, Toonen, und Windt (2008), S. 583). So werden beispielsweise Fracht-, Speditions- und Beförderungsleistungen durch die Verkettung von Transport- und Umschlagleistungen erzeugt.

²⁷ Der Begriff Lkw-Ladungsverkehr wird in Kapitel 2.2. ausführlich vorgestellt.

²⁸ GUDEHUS spricht an dieser Stelle noch von „verketteten Leistungsumfängen“, bezeichnet Logistikdienstleister in diesem Segment jedoch auch als „Verbunddienstleister“ (vgl. Gudehus (2000a), S. 386).

Zusätzlich notwendige Prozessleistungen können dabei bspw. die Auftragsannahme und Auftragsabwicklung sowie die Sendungsverfolgung sein. Systemleistungen wiederum können verschiedenartig gestaltet sein und reichen zum Teil weit über die Verbundleistungen hinaus. GUDEHUS nennt als Beispiele den Betrieb eines Logistikzentrums, in dem unterschiedliche Lager-, Kommissionier- und Umschlagleistungen erbracht werden, oder den Betrieb eines Frachtsystems, das aus einem Netzwerk von gleichen oder unterschiedlichen Transportsystemen besteht, die durch flächenverteilte Umschlagpunkte verknüpft sind. Voraussetzung für vernetzte *Systemleistungen* sind dabei entsprechende Logistikstationen und -netzwerke sowie zusätzliche administrative Systemleistungen wie Aufbau und Organisation des Netzwerkes, der Stationen und der Betriebs- und Systemführung (vgl. Gudehus (2000a), S. 387).

Eine differenzierte Betrachtung der Logistikdienstleister lässt sich wiederum nach deren Spezialisierung auf ein bestimmtes Betätigungsfeld vornehmen. Dieses Betätigungsfeld kann durch bestimmte Güter (bspw. Gefahrgut, Lebensmittel oder Kühlwaren), vorkommende Ladeeinheiten oder Frachtarten (also bspw. Stückgut, Massengut, Pakete oder Container), eine spezielle Branche (bspw. Automobilbau, Chemie oder Getränke) oder auch den Aktionsradius des Dienstleisters (lokal, regional, national, international) beschrieben werden (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 585).

Entsprechend der zuvor vorgenommenen Klassifizierung von Logistikdienstleistungen liegt es zudem nahe, Logistikdienstleister entsprechend der Eigenschaften der angebotenen Dienstleistung in Einzeldienstleister, Verbunddienstleister und Systemdienstleister zu differenzieren. *Einzeldienstleister* der Logistik beschränken sich nach GUDEHUS auf die Durchführung abgegrenzter Transport-, Umschlag- oder Lagerleistungen. Sie sind dabei häufig auf bestimmte Güter, Frachtarten und Branchen spezialisiert und in begrenzten Gebieten oder festen Relationen tätig (vgl. Gudehus (2000a), S. 389). *Verbunddienstleister* wiederum verknüpfen mehrere Teilleistungen aus dem beschriebenen Umfang der Einzeldienstleistungen zu größeren Leistungsumfängen. Dazu greifen sie neben eigenen Ressourcen auf Leistungen von Einzeldienstleistern zu und erzeugen somit ganze Logistiknetzwerke, mit denen sie ihren Kunden größere, aufeinander abgestimmte Gesamtleistungspakete anbieten können (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 586). Diese Logistiknetzwerke sind dabei auf den Bedarf eines anonymen Kundenkreises ausgerichtet, wohingegen das Logistiksystem eines *Systemdienstleisters* weitgehend kundenspezifisch, also auf den Bedarf eines oder wenigen festen Kunden ausgerichtet ist. Sie bieten ihren Kunden das größte Spektrum logistischer Leistungen. Nach GUDEHUS wird aus

einem Logistikdienstleister, welcher über ausreichende Ressourcen für die Erbringung der notwendigen Einzelleistungen verfügt, erst dann ein Systemdienstleister, wenn er auch über die Kompetenz zur bedarfsgerechten Organisation der Teilleistungen und der Integration dieser in einer Gesamtleistung verfügt. Aufgabe des Systemdienstleisters ist es, die übernommenen Aufträge wesentlich besser und zudem kostengünstiger durchzuführen, als es der Auftraggeber selbst oder unterstützt von Einzeldienstleistern vermag (vgl. Gudehus (2000a), S. 391).

Eine weitere, in der Literatur häufig vorzufindende Art der Klassifizierung verschiedener Logistikdienstleister differenziert diese nach deren Leistungsspektrum. VAHRENKAMP spricht in diesem Zusammenhang von „Entwicklungsstufen“ der Logistikdienstleister und unterscheidet dabei aufsteigend sortiert nach Frachtführern/Lagerhaltern²⁹, Speditionen, sog. 3PL und abschließend den 4PL³⁰ (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 51). Zur Abgrenzung der ersten beiden Begriffe kann das Handelsgesetzbuch hinzugezogen werden. Zwar versteht man im allgemeinen Sprachgebrauch unter einer Spedition ein Unternehmen, dessen primärer Unternehmenszweck im Transport und ggf. der Lagerung von Gütern besteht. Jedoch ist der Begriff des Spediteurs vom Frachtführer und Lagerhalter zu unterscheiden. Diese Unterscheidung hat ihren Ursprung im Handelsrecht. Hierbei werden das Frachtgeschäft (§§ 407 - 452d HGB), das Speditionsgeschäft (§§ 453 - 466 HGB) und das Lagergeschäft (§§ 467 - 475h HGB) unterschieden. Das Speditionsgeschäft wird dabei als Organisation der Transporte, nicht jedoch als Durchführung der Transporte beschrieben. Die Durchführung der Transporte selbst ist Gegenstand des Frachtgeschäftes. Das Lagergeschäft letztendlich beinhaltet die Lagerung von Gütern (vgl. Fleischer (2010), S. 163ff).

Der Frachtführer oder Transporteur ist demnach ein Unternehmen, welches die Beförderungsleistung gewerbsmäßig erbringt, der sog. Transportdurchführer (vgl. Brandenburg et al. (2010), S. 24).

Der Spediteur wiederum agiert gegenüber dem Versender als Fachmann für die Organisation des Güterverkehrs, der mit seinen Kenntnissen und Erfahrungen dazu beiträgt, die Schwierigkeiten im Güterverkehr zu überwinden (vgl. Brandenburg et al. (2010), S. 26). Somit sind Spediteure wichtige Mittler in der Konstituierung von Transport- und Logistikketten. Im Rahmen der Organisation

²⁹ Gleichbedeutend auch als „Transporteur“ bezeichnet (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 585)

³⁰ Die Abkürzung „PL“ steht jeweils für „party logistics provider“.

der Transportketten übernimmt der Spediteur eine Vielzahl von Aufgaben und stellt unter der Vielzahl von Transportalternativen die für seinen Auftraggeber günstigsten Beförderungsmöglichkeiten zusammen. Übernimmt der Spediteur den Transport tatsächlich selbst, also mit eigenen Kapazitäten, so spricht das Handelsgesetzbuch vom Selbsteintritt (§ 458 HGB).

Auf der nächst höheren Entwicklungsstufe nach VAHRENKAMP werden als 3PL genannte Dienstleister aufgeführt. Diese Bezeichnung lässt sich als Weiterführung der Bezeichnungen 1PL und 2PL betrachten, wobei diese ungebrauchlich und in der Literatur kaum zu finden sind. Die Bezeichnung 1PL, also „first party logistics provider“ bezieht sich dabei auf ein Unternehmen, das seine Logistikaufgaben ausschließlich selbst erbringt. Ein 2PL-Logistikdienstleister übernimmt einfache logistische Dienstleistungen, wie Transport, Lager und Umschlag, bietet dabei aber keine übergreifenden und integrativen Leistungspakete an (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 587). Im Sinne der vorherigen Klassifizierung sind 2PL also mit Einzeldienstleistern bzw. Transporteuren und Frachtführern vergleichbar. Der 3PL hingegen bietet unter Zuhilfenahme eigener Logistikressourcen und erforderlicher IT-Systeme integrierte Transport-, Lager- und Umschlagleistungen am Markt an. Dazu bildet er ein eigenes Netzwerk, mit dem er durchgängige Verbund- und Systemleistungen erbringen kann (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 587). VAHRENKAMP nennt als Beispiele die Beschaffung bei Just-in-Time-Anlieferungen in der Automobilindustrie, die Finanzierung von Gütern auf der Absatz- oder Beschaffungsseite oder die Organisation des Nachschubs für einzelne Geschäfte, die bis zur Preisauszeichnung und Regalpflege führen kann³¹ (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 49).

Im Zusammenhang mit der Konzeption des Supply Chain Managements wird die Weiterentwicklung der Logistikdienstleister vom Systemdienstleister (3PL) zum Systemintegrator, dem 4PL, in Form einer übergeordneten Instanz zur Steuerung der gesamten Supply Chain in der Literatur diskutiert. Grundsätzlich handelt es sich dabei um Logistikdienstleister, die ihre eigenen, meist nur administrativen Ressourcen, mit den Logistikressourcen von Subkontraktoren verknüpfen und damit ihren Kunden umfassende Supply-Chain-Lösungen

³¹ VAHRENKAMP führt an dieser Stelle den Begriff „Kontraktlogistik“ als Bezeichnung für das 3PL-Dienstleistungsspektrum ein. Da Kontraktlogistik in der Regel auf Basis mehrjähriger Partnerschaften basiert, ergibt sich zudem ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zum klassischen Spediteur, dessen Verträge und Kundenbindung sich i. d. R. kurzfristiger darstellen (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 48).

anbieten. Diese werden von 4PL-Dienstleistern konzipiert, realisiert und gemanagt (vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 587). Sie fungieren damit als Integratoren von mehreren Unternehmen mit definierten logistischen Aufgaben. Das Aufgabenspektrum umfasst dabei neben der Integration von 3PL-Providern in die Arbeitsabläufe der Kunden auch die Integration der Produktionspartner und deren Zulieferer innerhalb der Supply Chain durch IT-basierte Lösungen mit dem Ziel der Optimierung des gesamten logistischen Netzwerkes (vgl. Vahrenkamp und Siepermann (2007), S. 50).

Abbildung 6: Logistikdienstleisterkonzepte stellt die besprochenen Logistikdienstleisterkonzepte noch einmal grafisch gegenüber.

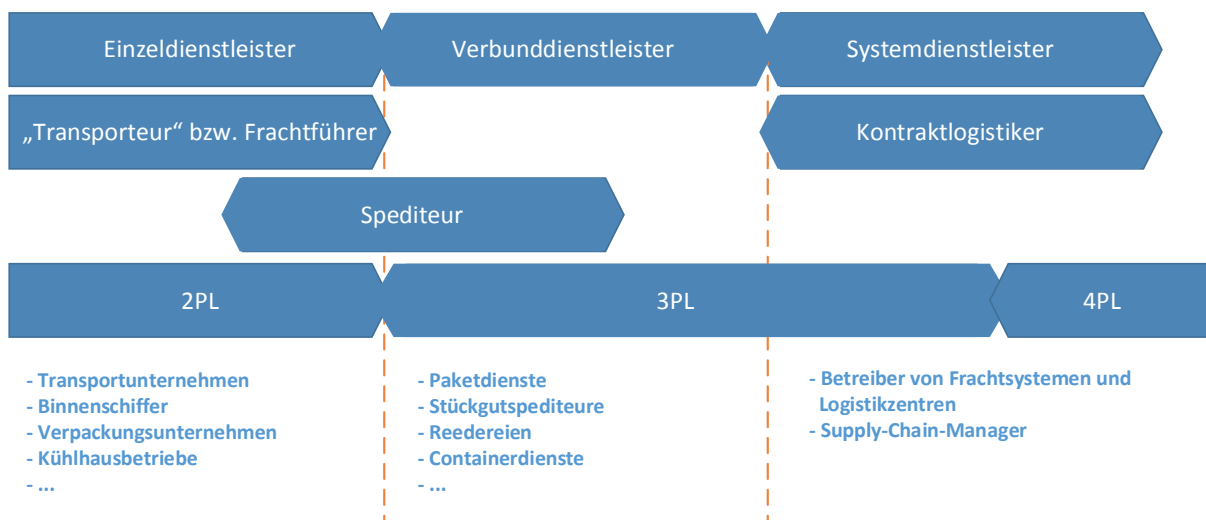


Abbildung 6: Logistikdienstleisterkonzepte

Quelle: Entnommen aus Scholz-Reiter et al. (2008), S. 585

Folgend der vorgestellten Logistikdienstleisterkonzeptionen adressiert die vorliegende Untersuchung vordergründig frachtführende Spediteure. Dabei sind je nach spezieller Ausprägung des bisherigen Dienstleistungsportfolios Einzeldienstleister und Verbunddienstleister gleichermaßen angesprochen. Zudem ist es erklärtes Ziel der Untersuchung, Effizienzsteigerungen im Rahmen von kooperativen Lösungen, also durch die Zusammenarbeit verschiedener Marktteilnehmer zu erreichen, was in dessen Konsequenz durchaus bedeuten kann, dass bspw. bisher reine „Transporteure“ (als 2PL im letztgenannten Modell bezeichnet) durch ihre Leistungserstellung innerhalb eines kooperativen Netzwerkes in dessen wesentlich leistungsfähigerer Gesamtheit zu 3PL – Dienstleistern erwachsen und sich somit positive Veränderungen des Leistungsspektrums, also der jeweiligen Entwicklungsstufe nach VAHRENKAMP für jedes Unternehmen ergeben können.

2.2. Der Ladungsverkehr in Deutschland

2.2.1. Leistungsmerkmale

Der Ladungsverkehr wird in der Literatur zum einen als spezielles Logistiksystem definiert und weiterhin als differenziertes Segment des Logistikmarktes beschrieben. In beiden Fällen werden dabei aber auf dieselben Merkmale abgestellt, die folgend ausführlich vorgestellt werden.

Ladungsverkehre werden grundsätzlich in der Seeschifffahrt, in der Binnenschifffahrt, im Schienengüterverkehr und im Straßengüterverkehr durchgeführt. Der Fokus der Arbeit liegt hier jedoch vordringlich auf sog. landgebundenen Ladungsverkehren und dabei speziell auf **Ladungsverkehren im Straßengüterverkehr**, dessen charakteristische Merkmale folgend im Vordergrund stehen.

Leistungsgegenstand

Neben der bereits im Rahmen der Begriffsklärung zum „Transportgut“ eingeführten Sendungstypisierung (siehe Seite 21) beschreibt EIKELAU die „Ladung“ zunächst noch einmal als Gesamtheit der Güter im Laderaum bzw. in den Laderäumen eines Transportmittels. Diese Ladung kann dabei aus mehreren Ladeeinheiten, z. B. Paletten, Kisten, Gitterboxen oder auch Containern oder Wechselaufbauten, oder im Fall von Massenguttransporten aus nur einem homogenen Gut bestehen (vgl. Eikelau (1998), S. 49). MÜLLER und KLAUS definieren das Transportobjekt im Ladungstransport³² als eine Sendung im Gewichtsbereich zwischen mehr als zwei und ca. 25 Tonnen und benennen als typische Güter im allgemeinen Ladungsverkehr offene oder verpackte, häufig palettisierte Stückgüter wie Industriematerialien, handwerkliche und industrielle Fertigprodukte sowie Handelswaren ohne besondere Schutz- und Handlinganforderungen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 9). Eine spezifische Eingrenzung der im Ladungsverkehr mit Lkw transportierten Güter (-arten) ist jedoch nicht möglich. Als Nachfragebranchen gelten vor allem die Lebensmittelindustrie, Metall/Maschinen, die Bauindustrie sowie die Automobil- und Chemieindustrie (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 101).

³² Der Begriff Ladungstransport beschreibt nach MÜLLER und KLAUS die „Dienstleistung einer physischen Ortsveränderung von Gütern im Ladungsbereich“, wohingegen der Ladungsverkehr „zusätzlich weitere Leistungskomponenten wie Abfertigung- und Dispositions- und Hilfsfunktionen beinhaltet und die spezifische Verknüpfung von Transporten zu Touren, Umläufen oder Relationen beschreibt“ (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 9 und zur differenzierten Betrachtung der Begriffe „Transport“ und „Verkehr“ vgl. weiterhin Ihde (2001), S. 5ff).

Die Ladung selbst lässt sich wiederum in zwei Varianten differenzieren. Unter der *Komplettladung* wird die Ladungsgröße verstanden, für deren Transport ein kompletter Lkw, Auflieger oder Wechselbrücke benötigt wird oder aber ein Lkw, der hinsichtlich des Gewichts oder des Laderaumvolumens so stark ausgelastet ist, dass sich eine Zuladung eines weiteren Transportgutes nicht mehr lohnt. Aufgrund der in Deutschland durch die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) auf max. 40 Tonnen³³ begrenzte zulässige Gesamtmasse³⁴ (zGM) eines Lkw, ergibt sich üblicherweise eine Gewichtsobergrenze von 24 - 25 Tonnen. Eine volumenmäßige Auslastung des Lkw liegt in Deutschland üblicherweise dann vor, wenn die verfügbare Ladelänge von 13 - 16 Lademetern oder das verfügbare Laderaumvolumen von 70 bis 100 cbm weitgehend ausgeschöpft ist (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 9)³⁵.

Die zweite Ladungsvariante ist die *Teilladung* (oder auch Teilpartie). Um einen Lkw auszulasten werden mehrere Teilladungen auf einem Fahrzeug zusammengefasst (vgl. Eikelau (1998), S. 51). Somit werden üblicherweise zwei oder mehr solcher Teilladungen auf einem Lkw zum Transport kombiniert. Die wiederum praxisübliche Untergrenze für Teilladungen liegt bei zwei bis drei Tonnen bzw. zwei bis drei Lademetern, da Sendungen unterhalb dieser Grenzen effizienter in Stückgut-Netzwerken mit Sendungskonsolidierung in Umschlagbetrieben befördert werden können (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 10). Im Rahmen der differenzierten Betrachtung von Komplettladungen und Teilladungen wird in aktueller Literatur häufig auf die englischsprachigen Bezeichnungen und deren Kurzformen zurückgegriffen. Hierbei werden landgebundene Komplettladungsverkehre als „Full Truck Load“, kurz FTL³⁶, und Teilladungsverkehre als „Less Than Truck Load“, kurz LTL, bezeichnet.

Abbildung 7 (Seite 38) grenzt den hier betrachteten Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs im Straßengüterverkehr in Korrespondenz der bereits vorgenommenen Sendungstypisierung (siehe Seite 21) und deren spezifischer Merkmale noch einmal grafisch voneinander ab.

³³ Max. 44 Tonnen zGM im kombinierten Verkehr

³⁴ Gleichbedeutend ist die Bezeichnung „zulässiges Gesamtgewicht, zGG“ in der Literatur zu finden.

³⁵ Eine differenzierte Vorstellung der eingesetzten Transportmittel erfolgt in Kapitel 2.2.3.

³⁶ Wobei in englischsprachiger Literatur zur Beschreibung von Teil- und Komplettladungstransporten üblicherweise zusammenfassend die Abkürzung „TL“ für Truckload verwendet und der Begriff „LTL“ zur Beschreibung des Stückgutmarktes herangezogen wird (vgl. Walther (2010)).

2. Abgrenzung und Charakterisierung des Untersuchungsraumes

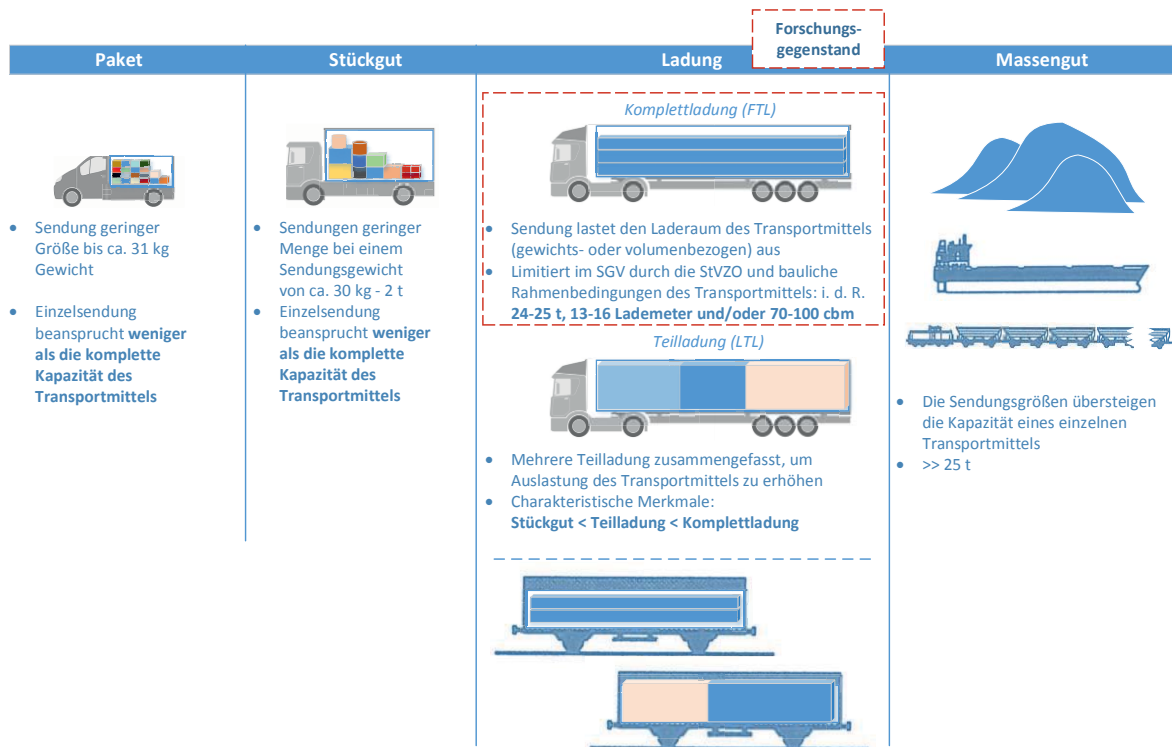


Abbildung 7: Der Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs in Abgrenzung weiterer Sendungstypen

Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung der Sendungstypisierung nach Fleischmann (2008a), S. 16; Otremba (2004), S. 14 sowie Müller und Klaus (2009), S. 9 - 10; mit Piktogrammen zur Seeschifffahrt und zum Eisenbahnverkehr aus Buchholz et al. (1998), S. 51 und S. 111.

Leistungserstellung

Die Abwicklung von Ladungstransporten wird durch vergleichsweise kurze und relativ einfache Wertschöpfungs- und Produktionsprozesse beschrieben. Vernachlässigt man vorgelagerte Auftragsannahme- und Beladevorgänge sowie nachgelagerte Entlade- und Abrechnungsprozesse, so besteht die zentrale physische Produktionsleistung im Ladungstransport einzig aus dem Transport selbst, also der Beförderung von einem Absender zu einem Empfänger auf direktem Wege (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 10). Transporte dieser Art werden deshalb als „direkte“ Ladungstransporte bezeichnet. Ein zwischenzeitlicher Umschlag findet nicht statt, die Disposition der Fahrzeuge ist aufgrund der geringen Anzahl an Belade- und Entladestellen einfach und eine Tourenplanung im engeren Sinne, wie sie im Sammelgutverkehr angewendet wird, ist nicht notwendig (vgl. Eikelau (1998), S. 50).

Im Gegensatz zum Komplettladingstransport ist der Teilladungstransport dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Teilladungen zur besseren Auslastung

mit einem Fahrzeug transportiert werden. Dadurch werden anstelle eines Versenders ein zweiter bzw. mehrere Versender angefahren, deren unterschiedliche Teilladungen auf dem Lkw kombiniert transportiert und je nach Situation bei zwei oder mehreren Empfängern zugestellt werden. Ein hierfür häufig angewandtes Abwicklungsverfahren sind sog. Sammelrundtouren. Dabei werden Teilladungen von einer überschaubaren Anzahl von Versendern in geographischer Nähe sequenziell abgeholt und zu einer Komplettladung zusammengestellt (vgl. Klug (2010), S. 224). Sie gelten als Sonderform des Direkttransportes auf einer i. d. R. festgelegten Route (vgl. Brungs (2012), S. 16). Sammelrundtouren werden in der Praxis auch als „Milk-Runs“ bezeichnet³⁷. Abbildung 8 (Seite 41) stellt den Unterschied der Wertschöpfungsketten im Teilladungs- und Komplettladungsverkehr grafisch dar.

Insgesamt kennzeichnend für beide Leistungserstellungsprozesse im Ladungsverkehr ist die Beteiligung von nur einem Lkw³⁸, der die Fracht direkt, ohne Umwege und Unterbrechungen befördert. Da auch beim Teilladungstransport auf Umladevorgänge verzichtet wird, spricht man bei Ladungstransporten allgemein, in Korrespondenz zu Kapitel 2.1.2., von „ungebrochenem Transport“. Abbildung 8 (Seite 41) zeigt im unteren Bereich exemplarischen einen „Milk-Run“, wie er im Rahmen von beschaffungslogistischen Prozessen Anwendung findet. Eine ebenfalls mögliche Teilladungsdistribution im „Milk-Run“ findet in gespiegelter Form mit einem zentralen Versender und einer entsprechenden Anzahl an Empfängern statt (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 117).

Ladungsverkehre finden darüber hinaus natürlich auch innerhalb von gebrochenen Verkehrssystemen statt. Beim Stückguttransport in Netzwerksystemen z. B. werden am Anfang der Transportkette einzelne Sendungen bei verschiedenen Absendern abgeholt und am Ende an unterschiedliche Empfänger zugestellt. Innerhalb dieses Systems lassen sich Vorläufe vom Versender zum Versanddepot, Umschlag- und Konsolidierungsvorgänge, Hauptläufe vom Versand- zum Empfangsdepot und Nachläufe vom Empfangsdepot zum Empfänger unterscheiden. Auf jedem der Transportläufe werden aufgrund der geringen Einzelsendungsgrößen Maßnahmen zur Bündelung ergriffen. Im

³⁷ Der Name „Milk-Run“ kennzeichnet die Analogie des Transportverfahrens mit dem „englischen Milchmann“, der täglich frische Milch und Milchprodukte in einer fest vorgegebenen Rundtour anliefert sowie gleichzeitig die Leergefäße mitnimmt (vgl. Klug (2010), S. 225).

³⁸ Im Sinne der mehrfach möglichen Abholungen und Zustellungen beim Teilladungstransport wird ebenfalls von „Direktabholungen“ und Direktzustellungen“ gesprochen, da hierfür kein separates Fahrzeug benutzt wird (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 12).

Vor- und Nachlauf werden Sendungen nicht direkt vom Versender zum Versanddepot bzw. vom Empfangsdepot zum Empfänger verbracht, sondern es werden Touren gefahren, bei denen im Rahmen der zeitlichen und kapazitativen Möglichkeiten die Sendungen möglichst vieler Versender oder Empfänger gemeinsam abgewickelt werden. Bei Transporten des Hauptlaufes, also zwischen den jeweiligen Depots, werden alle Sendungen, die vom Versanddepot in die Gebiete der gleichen Empfangsdepots befördert werden sollen, gemeinsam auf ein Fahrzeug verladen (vgl. Wiček (1998), S. 28). Da der Transport von Depot zu Depot, also von einer Beladestelle (Versanddepot) direkt zu einer Entladestelle (Empfangsdepot) ohne weitere Zwischenvorgänge direkt erfolgt, kann auch hier von einem Ladungstransport (die konsolidierten Stückgüter werden dabei zur Komplettladung) gesprochen werden.

Abbildung 8 (Seite 41) verdeutlicht diesen Zusammenhang.

2.2. Der Ladungsverkehr in Deutschland

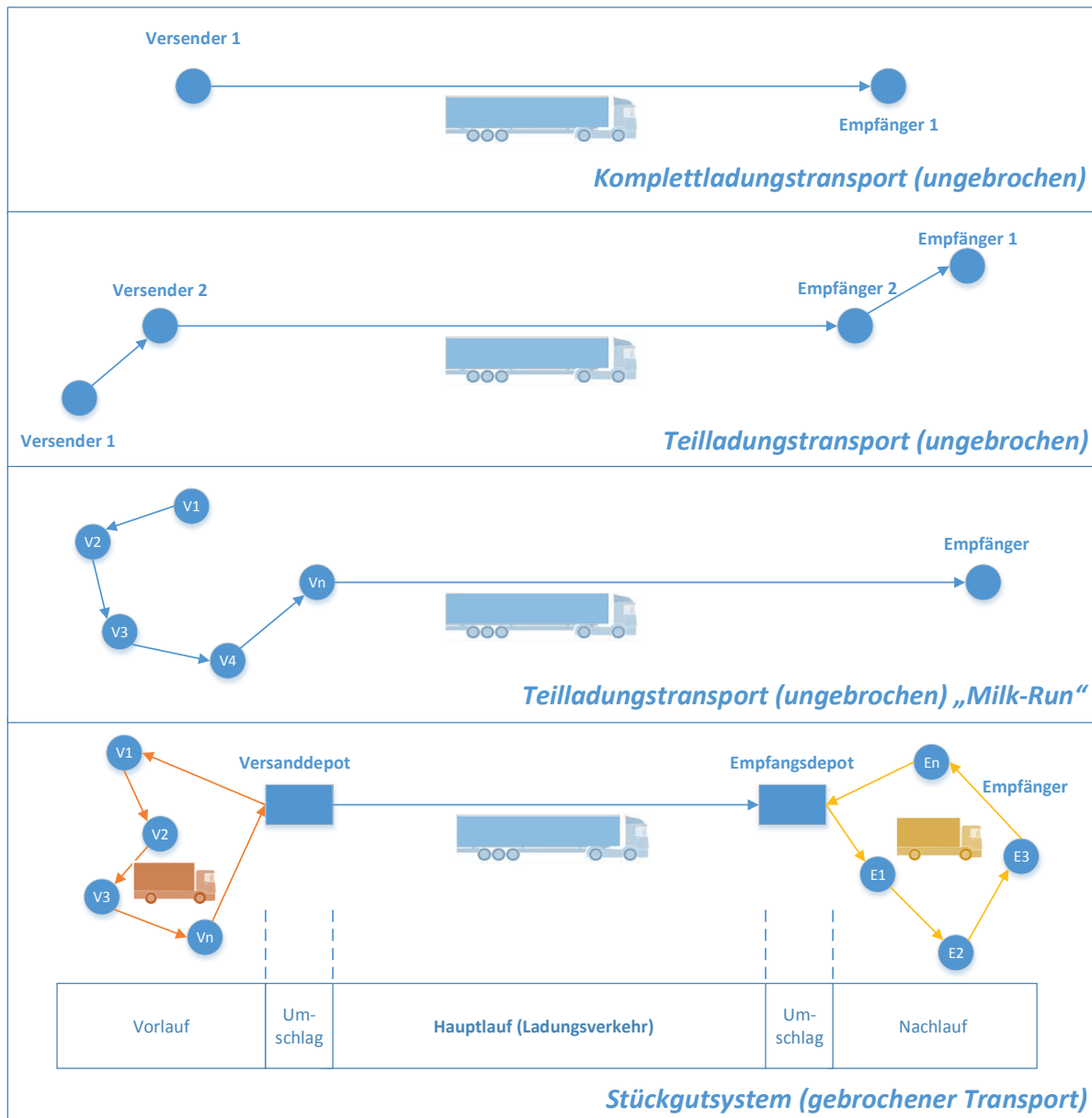


Abbildung 8: Wertschöpfungskette bei Komplettladungen, Teilladungen und Ladungsverkehren im Rahmen von Stückgutssystemen

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Müller und Klaus (2009), S. 11-12, Kille und Schwemmer (2014), S. 101 und S. 117 sowie Eikelau (1998), S. 50

Basierend auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsketten im FTL- und LTL-Bereich lassen sich zwei operative Hauptmuster der räumlichen Bedienung ableiten. Einerseits finden Ladungstransporte entlang von Linie (bspw. München-Hamburg) statt, wobei Be- und Entladepunkte entweder an den Enden der jeweiligen Linien oder aber auch entlang dieser Linie bedient werden, oder aber spezielle Bediengebiete stehen im Fokus der Dienstleister (vgl. Walther (2010), S. 62). Abschließend muss darauf verwiesen werden, dass in

der Literatur durchaus weitere Kombinationen der zuvor genannten Ladungsverkehrssysteme diskutiert werden. So beschreibt EIKELAU bspw. ein System des „gebrochenen Ladungsverkehrs“ mit Teilladungen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Komplettladung eines Lkw wiederum für ein entsprechendes Verkehrsmittel größerer Kapazität eine Teilladung darstellen kann. Im verkehrsträgerübergreifenden gebrochenen Verkehr werden beispielsweise eine Vielzahl an Komplettladungen mit dem Lkw am Umschlagpunkt angeliefert. Dort werden diese dann als einzelnen Teilladungen wiederum zu einer Komplettladung zusammengefasst, die im anschließenden Hauptlauf zu einem Empfangsumschlagpunkt transportiert wird. Der Hauptlauf findet dabei bspw. mit den Bahn oder dem Schiff statt (vgl. Eikelau (1998), S. 53).

Die vorliegende Arbeit adressiert jedoch vor allem die in Abbildung 8 (Seite 41) dargestellten Wertschöpfungsprozesse des Ladungstransports. Die Erläuterungen zu weiteren Anwendungsfällen von Ladungstransporten bspw. als Hauptlaufverkehre in Stückgutsystemen oder als gebrochene Ladungsverkehre innerhalb multimodaler Transportketten dienen an dieser Stelle vordringlich der Vollständigkeit und des Gesamtverständnisses, werden jedoch im weiteren Verlauf der Arbeit keine Berücksichtigung erfahren.

Ressourcen

Nach MÜLLER und KLAUS werden als am Leistungserstellungsprozess beim Ladungstransport primär beteiligte „Produktionsressourcen“ ein schwerer Lkw als *ziehende Einheit*, eine oder mehrere – in vielen Fällen austauschbare – *Ladeeinheit* und das *Fahrpersonal* identifiziert (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 14). Darüber hinaus kann es zweckmäßig sein, die Ladeeinheit noch einmal in die tatsächlich *gezogene Einheit* und, im Falle der gegebenen Austauschbarkeit, das *Ladegefäß* zu differenzieren (vgl. L. Schubert (2013), S. 35). Grundsätzlich werden zunächst die Fahrzeugtypen Sattelzug und Gliederzug, wie in Abbildung 9 (Seite 43) dargestellt, unterschieden. Der Sattelzug besteht aus einer Sattelzugmaschine (SZM) ohne Ladeeinheit (= ziehende Einheit) und einem Sattelaufleger (= gezogene Einheit). Sattelaufleger können als Festaufbau (gezogene Einheit = Ladeeinheit) oder als Chassis für Container (= gezogene Ladeeinheit + Ladegefäß, Container) zum Einsatz kommen.

Der Gliederzug besteht grundsätzlich aus einem Motorwagen und einem Anhänger. Der Motorwagen kann entweder mit festem Aufbau (ziehende Einheit = Ladeeinheit) oder als Trägerfahrzeug für austauschbare Ladeeinheiten wie

2.2. Der Ladungsverkehr in Deutschland

Wechselbrücken (auch Wechselaufbau, kurz WAB³⁹) oder Container (= ziehende Einheit + Ladeeinheit) gestaltet sein. Gleiches gilt dabei für den Anhänger.

Die Ladeeinheit selbst ist dabei im allgemeinen Ladungsverkehr als Plane und Spriegel, kastenartiger Kofferaufbau oder als Schiebepanenaufbau gestaltet. Diese Aufbauarten gelten als „Standard- bzw. nicht-spezialisiertes“ Equipment (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 100). Darüber hinaus sind Spezialaufbauten wie bspw. Kühlkoffer, Volumenaufbauten⁴⁰, Autotransporter und Coilmulden-Auflieger sowie Tank- und Silofahrzeuge für Flüssig- und Schüttgüter im spezialisierten Ladungsverkehr grundsätzlich möglich.



Abbildung 9: Fahrzeugtypen im nichtspezialisierten Ladungsverkehr mit entsprechenden Aufbauinnenmaßen

Quelle: Darstellungen entnommen aus Braun und Kolb (2012), S. 38 unter Verwendung von Daten aus Brandenburg et al. (2010), S. 116

Trotz unterschiedlich zulässiger Längenmaße von max. 16,50 m beim Sattelzug und max. 18,75 m beim Gliederzug gilt eine einheitlich maximal zulässige Gesamtmasse (zGM) von 40 t⁴¹. Zudem sind besonders beim Gliederzug von der Darstellung abweichende Achsanordnungen (z. B. 2-achsiger Motorwagen und

³⁹ Wechselaufbauten sind vom Trägerfahrzeug lösbar und haben eigene Stützen. Hebwerkzeuge wie Kran, Stapler usw. sind nicht erforderlich, das Trägerfahrzeug braucht lediglich eine Luftfederung (vgl. Braun und Kolb (2012), S. 29). Dadurch sind sie unabhängig vom Fahrzeug zu be- und entladen, als Zwischenlager nutzbar oder verkehrsträgerübergreifend weitertransportierbar (vgl. Brähler (2013), S. 151). Gleiche Handhabungsmöglichkeiten gelten für Sattelaufleger.

⁴⁰ Volumenaufbauten unterscheiden sich von Standardaufbauten generell durch die Innenhöhe des Aufbaus von mind. 2,9 m - 3,2 m, welche durch eine niedrige Fahrgestellrahmenoberkante des Trägerfahrzeuges ermöglicht wird. Dadurch werden bei volumenoptimierten Sattelkraftfahrzeugen bis zu 100 m³ Ladevolumen und bei volumenoptimierten Gliederzügen bis zu 120 m³ Ladevolumen realisiert (vgl. Brähler (2013), S. 27). Zusätzlich verfügen diese Aufbauten oft über Einrichtungen zur Erleichterung der Be- und Entladung wie bspw. Hubdächer (vgl. Brähler (2013), S. 140).

⁴¹ Siehe Abschnitt „Leistungsgegenstand“ Seite 36

3-achsiger Anhänger) denkbar. Die Einzel-Längenmaße des jeweiligen Laderaumes können ebenfalls innerhalb der vom Gesetzgeber vorgegebenen Bandbreite variieren (vgl. Brähler (2013), S. 162 und Jansen und Durmann (2009), S. 212 ff).

In Bezug auf das Fahrpersonal muss hervorgehoben werden, dass nach MÜLLER und KLAUS im allgemeinen Ladungsverkehr die weitaus häufigste Besetzungsform eines Fahrzeugs durch einen einzelnen, fest zugeordneten Fahrer beschrieben ist. Nur für weiträumige transkontinentale Transporte werden Lkw auch mit zwei Fahrern bemannt, um diese Transporte zu beschleunigen. Zudem ist wiederum nur in streng organisierten Systemverkehren (z. B. in Stückgutverkehrsnetzen) eine Mehrschichtbesetzung der Fahrzeuge bisher möglich (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 14). Die Mindestanforderung an die Qualifikation für einen im Ladungsverkehr beschäftigten Fahrer bestehen aus dem Führerschein der Klasse CE und der entsprechenden Grundqualifikation im Rahmen des Berufskraftfahrerqualifikationsgesetzes (BKrQG) (vgl. Jansen und Durmann (2009), S. 74). Ferner können zur Durchführung von Ladungsverkehren weitere personelle Ressourcenbedarfe aus anderen Berufsgruppen als dem Fahrpersonal identifiziert werden. Folgt man der Zusammenfassung der Logistikbeschäftigungsstruktur in die Berufsgruppen nach KÜBLER et al. so ist zur Durchführung von Ladungstransporten neben dem Fahrpersonal (Berufsgruppe Transport und Zustellung) durchaus der Bedarf „kaufmännischer Tätigkeiten“ und solcher aus dem Bereich der „Verwaltung“ sowie Bedarfe personeller Ressourcen der Berufsgruppe „Lager und Umschlag“ erkennbar⁴².

Im Sinne der später zu lösenden Forschungsfrage verursachen die zum Ladungstransport notwendigen Ressourcen im Rahmen der wiederum möglichen Kombinationsvarianten unterschiedliche Kosten, welche einen entsprechenden Einfluss auf die bevorstehende Untersuchung und das angestrebte Ergebnis der Arbeit ausüben. Insofern kann an dieser Stelle der Begriff „Equipmenttyp“ als Produktionsfaktorkombination aus ziehender Einheit, gezogener Einheit, Ladegefäß und Fahrer als zentral zu bewertende Größe von SCHUBERT übernommen werden (vgl. L. Schubert (2013), S. 35). Für die Berücksichtigung des personellen Ressourcenverbrauchs der übrigen Berufsgruppen gilt es in Abhängigkeit des Einsatzes und des Equipmenttyps, vor allem im Hinblick auf die kostenseitige Bewertung, wiederum geeignete Methoden zu finden und anzuwenden.

⁴² Weiterführende Informationen zur Struktur der Logistikbeschäftigung (vgl. Kübler et al. (2015), S. 48).

2.2.2. Der nationale Ladungsverkehrsmarkt

Der gesamtwirtschaftliche Logistikaufwand wird in Deutschland auf rund 230 Mrd. € geschätzt. Davon entfallen zunächst insgesamt 102 Mrd. € (rund 44 %) auf Transportleistungen⁴³. Differenziert man den Aufwand der Transportleistungen nach Verkehrsträgern, so übernimmt der Straßengüterverkehr mit 81,5 Mrd. € Marktvolumen (rund 80 % des Aufwandes der Transportleistung und 35 % des Gesamtlogistikaufwands) eine, mit der in Kapitel 2.1.2. beschriebenen Position im Modal Split korrespondierende dominierende Position ein.

Der Markt der nationalen allgemeinen landgebundenen Ladungsverkehre⁴⁴ umfasst dabei ein Logistik-Aufwandsvolumen von 24,3 Mrd. €, was einem Anteil von 10,6 % am Gesamtaufwand für Logistikleistungen entspricht (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 100). Dabei sind Ladungsverkehre bereits inkludiert, die relativ nahräumig transportiert werden (bspw. Filialbelieferungen von Handelsketten aus deren Zentrallägern) und Ladungstransporte, die auf der Schiene im sog. Einzelwagenverkehr abgewickelt werden. Ausgeschlossen aus der Betrachtung sind die internationalen Ladungsverkehre und Ladungsverkehre mit spezialisiertem Transportequipment (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 15). Der allgemeine Ladungsverkehr ist im Rahmen der Gesamtbetrachtung nach der „Industriellen Kontraktlogistik“ mit 65,4 Mrd. € und der „Konsumgüterdistribution“ mit 25,4 Mrd. € das drittgrößte Teilsegment des Logistikmarktes. Nach den von KILLE und SCHWEMMER erhobenen Unternehmenskennzahlen ergab sich 2013 für den allgemeinen Ladungsverkehr ein Transportaufkommen von 600 Mio. Tonnen, welches sich auf 75 bis 80 Mio. Aufträge verteilte und sich letztendlich zu einem Einzelaufwand von durchschnittlich 320,- € je Auftrag brechen lässt. In Korrespondenz zu der in Kapitel 2.1.2. vorgenommenen Differenzierung verschiedener Sendungstypen werden folgend in Tabelle 2 (Seite 46) noch einmal entsprechende Marktsegmente und deren charakteristische Merkmale und Kennzahlen denen des allgemeinen Ladungsverkehrs gegenübergestellt. Für den Vergleich wurden die Teilmärkte „Massengutlogistik“, „nationaler Stückgutverkehr“ und „Kurier-Express-Paket (KEP)“ herangezogen.

⁴³ Weitere Leistungsarten und deren Anteil am Gesamtaufwand: Bestände (57 Mrd. €), Logistikplanung (7 Mrd. €), Auftragsabwicklung (9 Mrd. €) und Lager und Umschlag (55 Mrd. €) (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 58).

⁴⁴ Der Gesamtmarkt Logistik wird dabei nach KILLE und SCHWEMMER in 13 praxisrelevante Marktsegmente differenziert. Neben dem dokumentierten „Ladungsverkehr landgebunden (FTL)“ werden u. a. Segmente wie die „Massengutlogistik“, „Stückgut- und Teilladungsverkehre (Groupage/LTL)“, „KEP“, aber auch „Luftfracht“, „Seefracht“ und spezialisierte Leistungsbereiche wie „Industrielle Kontraktlogistik“, „Terminaldienste, Lagerei- u. sonst. log. Mehrwertdienste“ differenziert betrachtet (vgl. Kille und Schwemmer (2014), S. 92).

KILLE und SCHWEMMER weisen jedoch explizit darauf hin, dass im Rahmen einer international vergleichbaren Marktsegmentierung der in Kapitel 2.2.1. als Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs beschriebene Teilladungsbereich (LTL) hier dem Stückgutmarkt zugeordnet wird. Somit ist von einem eigentlich noch größeren Marktvolumen auszugehen, betrachtet man den tatsächlichen Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs in entsprechend abgegrenzter Form.

Tabelle 2: Logistik-Teilmärkte im Vergleich

	nationale Massengut- logistik	nationaler Ladungs- verkehr	nationaler Stückgut- verkehr	KEP
Sendungstypisierung (Gewicht)	> 25 t	2,5 - 25 t	32 kg - 2,5 t	2 kg - 31 kg
Marktvolumen in Mrd. €	14,7	24,3	10	16,6
davon an Dienstleister vergeben (Mrd. €/%)	8,1 (55 %)	13,4 (55 %)	9,5 (95 %)	15,8 (95 %)
davon Anteil der "Top 10" Dienstleister (Mrd. €/%)	3,2 (39 %)	4,8 (36 %)	6,7 (71 %)	11,5 (73 %)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an L. Schubert (2013), S. 3 mit Daten aus Kille und Schwemmer (2014), S. 97, S. 100, S. 117 und S. 141.

Neben der quantitativen Beschreibung der Volumina in den einzelnen Teilmärkten sind in Zeile drei der Tabelle die jeweils an gewerbliche Ladungstransportanbieter vergebenen Marktanteile dargestellt. Für die vorliegende Untersuchung ist also der mit 55 % des Gesamtvolumens repräsentative Anteil des Ladungsverkehrsmarktes relevant, der an Dienstleister „outsourced“⁴⁵ ist. Nach MÜLLER und KLAUS liegt dieser Umstand vor allem darin begründet, dass noch immer ein vergleichsweise hoher Anteil des Ladungsverkehrsvolumens, bedingt durch die Einfachheit der zu erbringenden Leistung, von Flotten der Werkverkehrsbetreiber bewältigt wird. Im Stückgut- und KEP-Segment ist der Outsourcing-Anteil signifikant höher und liegt bei nahezu 100 % (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 16).

Weiterhin wird in Zeile vier der Tabelle der niedrige Konzentrationsgrad der Dienstleister im Segment der allgemeinen Ladungsverkehre deutlich. Nur 36 % des fremdvergebenen Marktvolumens werden von den zehn größten (umsatzstärksten) Dienstleistern erbracht. Vor allem im Stückgutverkehr und KEP-Segment (fast $\frac{3}{4}$ des fremdvergebenen Marktvolumens werden hier durch die Top 10 – Dienstleister bearbeitet) werden bereits heute deutlich höhere Anbieterkonzentrationen festgestellt. Der Ladungsverkehrsmarkt wird in der Literatur

⁴⁵ Siehe Abschnitt 2.1.1. „Logistik – Institution“, Seite 13.

als „atomistischer“ Markt beschrieben, in dem traditionell ein großer Teil der Kapazitäten von kleinen und kleinsten Anbietern bereitgestellt wird (vgl. ebenda). Von in Deutschland insgesamt ca. 50 000 Unternehmen des genehmigungspflichtigen gewerblichen Straßengüterverkehrs betreiben etwa 82 % nicht mehr als zehn Lkw. Demgegenüber betreibt ein mit 1,4 % nur sehr geringer Anteil an Unternehmen Flotten von mehr als 50 Fahrzeugen (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 5). Tabelle 3 zeigt die Fuhrparkstrukturen in Deutschland noch einmal im Überblick. Ferner spielt die Struktur des Anbietermarktes im weiteren Verlauf der Untersuchung eine entscheidende Rolle, weshalb auf die dargestellten Charakteristika im Rahmen der angestrebten Untersuchung zurückgegriffen wird.

Tabelle 3: Fuhrparkstruktur im Straßengüterverkehr in Deutschland

Unternehmen mit ...Lastkraftfahrzeugen	Unternehmen		
	Anzahl	Anteil in %	kumul. Anteil in %
1	13410	27,0%	27,0%
2 - 3	12679	25,5%	52,5%
4 - 10	14771	29,7%	82,3%
11 - 50	8099	16,3%	98,6%
51 und mehr	717	1,4%	100,0%
	49676	100%	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung nach Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 5

2.2.3. Produktion von Ladungsverkehren

2.2.3.1. Geschäftsmodelle

Die Produktion der Transportleistung im Ladungsverkehr geschieht nicht einheitlich. Nach MÜLLER und KLAUS existieren unterschiedliche Geschäftsmodelle, die sich in Ihrer jeweiligen Produktionsart, der Auftragsstruktur und Kundenbeziehung unterscheiden.

Der Begriff „Geschäftsmodell“ wird in der Literatur zunächst als Grundlogik eines Unternehmens definiert, die den quantifizierten Nutzen für Kunden und Partner beschreibt. Dabei wird zudem die Frage beantwortet, wie der gestiftete Nutzen an das Unternehmen zurückfließt (vgl. Schallmo (2013), S. 16). Als konstituierende Elemente des Geschäftsmodells an sich werden die Produkt-Markt-Kombination, die Konfiguration und Erreichung der Wertschöpfung, die

sog. Ertragsmechanik, Wettbewerbsorientierung, die Ressourcenstruktur und die Unternehmenskultur bzw. -organisation benannt (vgl. Becker und Ulrich (2013), S. 14). Im Folgenden werden die in der Literatur auch als „Einsatztypen“ (vgl. L. Schubert (2013), S. 36) oder „Verkehrsarten“ (vgl. Klaus, Fischer, und Prockl (2007), S. 14) bezeichneten Geschäftsmodelle im nationalen Ladungsverkehr vorgestellt. Dabei handelt es sich um den depotgebundenen Ladungsverkehr, den Trampverkehr, den Systemverkehr und sog. Dedicated-Verkehre. Die folgende Beschreibung der vier Geschäftsmodelle stützt sich insbesondere auf die Ausführungen von Müller und Klaus (2009), S. 19 ff; L. Schubert (2013), S. 36 ff und Klaus et al. (2007), S. 14 ff.

Depotgebundener Ladungsverkehr

Das am weitesten verbreitete bzw. das vorherrschende Geschäftsmodell im deutschen Lkw-Ladungsverkehr ist der depotgebundene Ladungsverkehr. Der Kundenstamm des Ladungsverkehrsanbieters ist räumlich in der Nähe des Standortes (am Depot) verortet. Dieser Kundenstamm mit regelmäßigem Ladungsaufkommen bildet die geschäftliche Basis. Fahrer und Disposition sind ebenfalls am Betriebsstandort oder in dessen Nähe beheimatet, der eigene Fuhrpark wird am Depot vorgehalten. Mit den entsprechenden Kunden werden überwiegend regelmäßige Mengen als Teil- und Komplettladungen aus der Region des Standorts zu den in Deutschland verteilten Zielgebieten gefahren. Nach Zustellung der Waren wird der Unternehmer versuchen, eine Rückladung in die Heimatregion zu akquirieren, damit der Lkw schnellstmöglich erneut einen Transport für den heimatansässigen festen Kunden durchführen kann⁴⁶. Diese Touren starten also am Heimatdepot und enden in der Regel ohne Fahrerwechsel an eben diesem Depot nach 24 bis 48 Stunden.

Trampverkehr (oder auch depotungebundener Ladungsverkehr)

Der wesentliche Unterschied zum depotgebundenen Ladungsverkehr besteht darin, dass typischerweise mehrtägige (oft grenzüberschreitende) Touren stattfinden, bei denen der Fahrer in den meisten Fällen nicht zum Schichtende, sondern erst nach mehreren Tagen und einer Stafette von Touren und Anschlusstouren zum Standort zurückkehren kann, deren Verlauf bei Abfahrt nicht gänzlich vorhersehbar ist. Die Standortbezogenheit des zuvor beschriebenen Modells entfällt. Stattdessen ist ein Fahrzeug mit demselben Fahrer für die

⁴⁶ In Ausnahmefällen, wie bspw. beim Einsatz von Spezialequipment oder bei nur sehr kurzen Transportdistanzen, kann eine Leer-Rückfahrt zum Depot wirtschaftlicher sein (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 21).

Dauer von mindestens einer Woche im Einsatz, bevor es wieder an den Standort zurückkehrt. Die Anschlussladungen aus den jeweiligen Zielgebieten der bekannten Aufträge werden i. d. R. erst „während der Fahrt“ akquiriert, was zu einem eher unregelmäßigen Sendungsaufkommen führt, welches im Voraus nicht planbar ist. Ziel ist dabei eine effiziente Verkettung von Aufträgen mit möglichst wenig Leerkilometern und unproduktiven Standzeiten.

Systemverkehre (oder auch systematisierte Ladungsverkehre)

Wie bereits in Kapitel 2.2.1. beschrieben finden Ladungstransporte als Hauptläufe, also Depot-zu-Depot-Verkehre oder Hub-Verkehre der Paket- und Stückgutnetzwerke statt, welche täglich oder an bestimmten Wochentagen als fahrplanmäßig und mitunter minutengenau geplante Linienverkehre abgewickelt werden. Hierbei werden die zulässigen Lenkzeiten der Fahrer optimal ausgenutzt. Die zu überwindenden Entfernungen eines Fahrers entsprechen meist maximal der halben zur Verfügung stehenden Lenkzeit, sodass der Fahrer das Heimatdepot am Schichtende wieder erreichen kann. Das Fahrzeug wird dann mit einem neuen Fahrer besetzt und kann im depotgebundenen Ladungsverkehr oder aber mit einem weiteren Hauptlaufverkehr erneut eingesetzt werden. Das bedeutet, dass durch Mehrschichtbetrieb, Begegnungsverkehre und minimale Standzeiten durch Wechselbrücken- und Aufliegertausch ein Niveau der Kosteneffizienz erreicht wird, welches in den zuvor genannten Modellen nicht möglich ist. Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung dieses Geschäftsmodells ist gleichmäßiges Ladungsaufkommen und eine stabile Grundlast auf den entsprechenden Relationen.

„Dedicated“-Verkehre

Für die Aufgaben in spezialisierten Logistiksystemen, wie insbesondere in der Filialbelieferung der Einzelhandelsketten oder der Tankstellenversorgung durch Mineralölkonzerne werden von auftraggebenden Organisationen zunehmend ganze Fahrzeugflotten mit Fahrern und Disponenten von Dienstleistern vertragsgebunden angemietet. Dabei übernimmt das Risiko der Auslastung und die Verantwortlichkeit der Einsatzplanung der Auftraggeber. Der Erfolg solcher Geschäftsmodelle basiert auf der Gewinnung und der Erhaltung des Vertrauens der Vertragspartner und des effizienten Managements der eingebrachten Ressourcen, die ausschließlich für eben diesen Kunden zum Einsatz gebracht werden. Die aus den jeweiligen Geschäftsmodellen resultierenden Tourmuster der Ressourceneinsätze werden in Abbildung 10 (Seite 50) noch einmal grafisch gegenübergestellt.

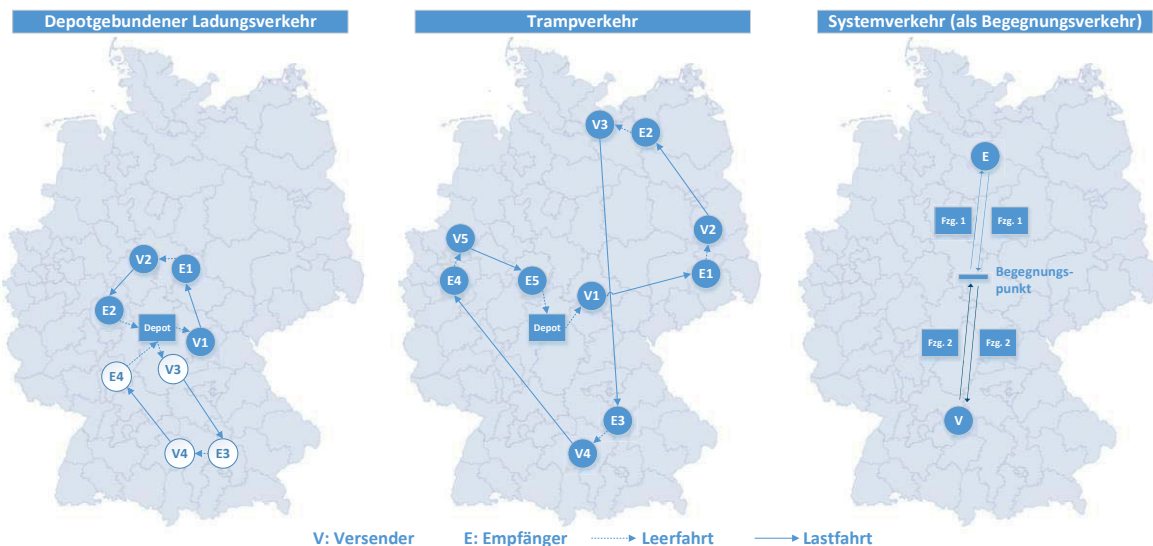


Abbildung 10: Exemplarische Tourmuster im Ladungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an L. Schubert (2013), S. 38; Müller und Klaus (2009), S. 21 u. S. 69 und Klaus et al. (2007), S. 14

2.2.3.2. Geschäftsbeziehungen der Akteure

Zunächst wurden in Kapitel 2.1.3. die am Frachtgeschäft bzw. der Transportdurchführung beteiligten Akteure nach HGB differenziert betrachtet und vorgestellt. An dieser Stelle werden nun die für den Ladungsverkehr relevanten Geschäftsbeziehungen zwischen eben diesen Akteuren näher betrachtet und auf den daraus resultierenden Kontext zur vorliegenden Aufgabenstellung der Arbeit hingewiesen. Im Ladungsverkehr sind zwei Arten möglicher Geschäftsbeziehungen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern zu unterscheiden. Das Kontraktgeschäft und das Spotgeschäft bilden die grundlegenden Geschäftsbeziehungen, die sich im Hinblick auf die Häufigkeit der Transporte im Rahmen einer Geschäftsbeziehung und der entsprechenden Dauer und rechtlichen Gestaltung signifikant unterscheiden. Transporte, die im Sinne der Häufigkeit der Geschäftsbeziehung nur sporadisch oder einmalig durchgeführt werden, finden am sog. Spotmarkt bzw. als Spotgeschäft⁴⁷ statt. Dabei gilt stets der tagesaktuell verhandelte Preis. Jede dieser Vereinbarungen gilt als eigenständige Transaktion, ohne Verpflichtungen bezüglich möglicherweise folgender Transaktionen (vgl. L. Schubert (2013), S. 33). Enge Beziehungen zwischen

⁴⁷ Das Spotgeschäft gilt als „Geschäft gegen sofortige Kasse und Lieferung“ (vgl. Held (2015)).

Auftraggebern und Auftragnehmern existieren nicht. Die Frachtraten orientieren sich stets am aktuellen Marktniveau (vgl. Walther (2010), S. 59).

Spotmarkttransaktionen finden im Ladungsverkehr sehr häufig auf virtuellen bzw. elektronischen Marktplätzen, sog. „Elektronischen Transportmärkten“ statt. Diese verfolgen den Grundgedanken, als elektronische Fracht- und Laderaumausgleichssysteme den Auslastungsgrad von Transportkapazitäten zu erhöhen (vgl. Sänger (2004), S. 72). Im Rahmen der Studie von SÄNGER wurden 93 europäische Marktplätze anhand ihrer Verhandlungsmechanismen und der vermittelten Transportleistung untersucht. Daraus geht insgesamt hervor, dass die meisten elektronischen Transportmärkte ihre Schwerpunkte auf standardisierte Teil- und Komplettladungsverkehre im Spotmarkt legen (vgl. Sänger (2004), S. 96).

Im Kontraktgeschaft hingegen ist die Geschäftsbeziehung langfristig angelegt. Dazu werden rechtlich bindende Rahmenvereinbarungen bezüglich anzuwendender Preise, Kapazitäten und Leistungsbeschreibungen im Voraus vereinbart und oft über Ausschreibungen an die Dienstleister vergeben. Die Vertragslaufzeiten betragen bei Kontraktgeschaften meist zwischen sechs Monaten und einem Jahr (vgl. L. Schubert (2013), S. 34 und Walther (2010), S. 60). Vor allem das häufig deutlich niedrigere Frachtpreisniveau auf dem Spotmarkt⁴⁸ im Vergleich zum Frachtpreisniveau von Langfristverträgen wird zu einem späteren Zeitpunkt der Untersuchung ein ausschlaggebendes Kriterium zur Formulierung der Problemstellung und bei der Auswahl der Handlungsalternativen sein.

2.2.3.3. Produktivität und Auslastung des Ressourceneinsatzes

Die allgemeine Betriebswirtschaftslehre definiert *Produktivität* als Verhältnis des mengenmäßigen Produktionsergebnisses zum mengenmäßigen Einsatz von Produktionsfaktoren (vgl. Wöhe und Döring (2010), S. 38). Im Kontext des Straßengüterverkehrs kann als mengenmaiges Produktionsergebnis die Gesamtmenge an Gütern, die wiederum über entsprechende Entfernungen transportiert wurde, bezeichnet werden. Kennzeichnend für den mengenmäßigen Input sind dabei die Art und der Umfang des Ressourceneinsatzes (Fahrzeug und Fahrer), der für den Ladungsverkehr als Forschungsgegenstand

⁴⁸ „Geringere Frachtkosten“ werden explizit als Vorteil der Nutzung von elektronischen Transportmärkten ausgewiesen. Dabei spielt vor allem die in hohem Maße geschaffene Markttransparenz und der dadurch erlaubte „Zugang zu den günstigsten Anbietern der Transportleistung“ eine entscheidende Rolle. (vgl. Sänger (2004), S. 77).

dieser Arbeit qualitativ bereits in Kapitel 2.2.1. erläutert wurde. Der mengenmäßig zu erzielende Output der eingesetzten Ressourcen ist unmittelbar von deren Auslastung im Einsatz abhängig. Dabei kann diese mit Hilfe des Auslastungsgrades als Quotient aus tatsächlich erbrachter Leistung und maximal möglich gewesener Leistung quantifiziert werden. ABERLE unterscheidet zur Bewertung von Verkehrsmiteinsätzen einerseits die Gewichts- und Volumenauslastung (tatsächliches Nutzgewicht/maximales Nutzgewicht; tatsächliches Ladevolumen/maximales Ladevolumen)⁴⁹, die Entfernungsauslastung (Fahrzeug-Last-kilometer/Fahrzeug-Gesamtkilometer)⁵⁰ und die Zeitauslastung (Ist-Fahrzeit des Fahrzeuges/mögliche Fahrzeit). Dabei ergeben die jeweiligen Quotienten mit dem Faktor 100 multipliziert die entsprechenden Auslastungskoeffizienten (vgl. Aberle (2009), S. 235).

Die Komplettladung als Leistungsgegenstand des Ladungsverkehrs wurde für die vorliegende Untersuchung bereits als Ladungsgröße definiert, für dessen Transport ein kompletter Lkw, Auflieger oder Wechselbrücke benötigt wird, oder aber ein Lkw hinsichtlich des Gewichts oder des Laderaumvolumens so stark auslastet ist, dass sich eine Zuladung eines weiteren Transportgutes nicht mehr lohnt (vgl. Kapitel 2.2.1.). Insofern ist die Gewichts- und Volumenauslastung von einer näheren Betrachtung auszuschließen, da hier eine vollständige Auslastung der Ressource durch mindestens einen der limitierenden Faktoren angenommen werden kann, wohingegen die Entfernungsauslastung im Komplettladungsverkehr vor allem durch die Notwendigkeit sog. Anschlussfahrten von der Entladestelle des abgearbeiteten Auftrages bis zur Beladestelle eines neuen Auftrages geprägt und zu maximieren ist. Nach MÜLLER und KLAUS kommt es im Ladungsverkehr häufig vor, dass nach erfolgreicher Entladung eine größere Entfernung zurückgelegt werden muss, bevor eine Anschlussladung aufgenommen werden kann. Problematisch an dieser Situation ist vor allem der Umstand, dass den bei diesen Leerfahrten entstehenden Kosten keine Erlöse gegenüberstehen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 59). Der Leerfahrtanteil im Straßengüterverkehr insgesamt betrug im Jahr 2011 38 % (vgl.

⁴⁹ SCHUBERT subsummiert die Gewichts- und Volumenauslastung als „Mengenauslastung“ und fügt als weitere Möglichkeit, die physische Auslastung des Transportmittels zu bewerten, die Größe „Lademeterauslastung“ hinzu (vgl. L. Schubert (2013), S. 39). Weiterhin können als limitierende Faktoren für eine Mengenauslastung die „Anzahl der Stellplätze“ für verschiedene Ladehilfsmittel definiert werden.

⁵⁰ Der Transport einer beladenen Einheit wird als Lastlauf bezeichnet (vgl. Brandenburg et al. (2010), S. 442). Somit kann die zurückgelegte Kilometerentfernung im Lastlauf als „Last-kilometer“ bezeichnet werden. Gleiches gilt für den unbeladenen Transport, den Leerlauf, dessen Kilometerentfernung als „Leerkilometer“ bezeichnet werden.

Statistisches Bundesamt (2013b), S. 14), im Jahr 2014 21,0 % (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015a), S. 12), zudem speziell im „Fernverkehr“ deutscher Lkw 10,4 % (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 60). Hierbei gilt es jedoch hervorzuheben, dass der jeweils ermittelte Leerfahrtanteil auch die sog. systembedingten anteiligen Leerfahrten, bspw. im Teilladungsverkehr, einschließt⁵¹. Für den Ladungsverkehr in seiner häufigsten Ausprägung dem Trampverkehr (vgl. Kapitel 2.2.3.1.), gilt die Minimierung der Leerfahrten zwischen einzelnen Aufträgen jedoch explizit als Erfolgsfaktor (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 21). Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit die Minimierung von Leerfahrtanteilen zur Formulierung der Forschungshypothese und im Hinblick auf die Auswahl und Bewertung von Lösungsalternativen erneut aufgegriffen.

Die zur Ermittlung der tatsächlichen Entfernungsauslastung notwendigen Fahrzeug-Gesamtkilometer lassen sich aus dem Produkt der tatsächlichen Einsatzzeit (Zeitauslastung) des Fahrzeuges und der entsprechenden Geschwindigkeit ermitteln. Die vom Gesetzgeber maximal zugelassene Höchstgeschwindigkeit für Lkw > 7,5 t zGM beträgt außerorts 60 km/h und auf Autobahnen 80 km/h (vgl. StVO (2013); § 3 (2) und § 18 (5) Nr. 1). Die Durchschnittsgeschwindigkeit eines im nationalen Ladungsverkehr eingesetzten Fahrzeuges ist mit **65 km/h** realistisch anzusetzen⁵². Um nun abschließend die möglichen Fahrzeug-Gesamtkilometer quantifizieren zu können, muss zuvor die zeitliche Auslastung insgesamt betrachtet werden. Unabhängig vom tatsächlichen Auslastungsgrad soll eingangs die mögliche (Gesamt-)Fahrzeit ermittelt werden, um letztendlich unter Verwendung der Durchschnittsgeschwindigkeit maximal mögliche Gesamtkilometer zu berechnen. Bei der Ermittlung der Einsatzzeiten der zum Einsatz kommenden Ressourcen ist grundsätzlich zwischen der Ressource Equipment und dem Personal zu differenzieren, da beide durch unterschiedliche Restriktionen des Gesetzgebers in unterschiedlicher Art und Höhe einge-

⁵¹ Nach Entladung der ersten Teilpartie ist das Fahrzeug während des weiteren Verlaufes des Einsatzes nur noch anteilig i. H. der verbleibenden Teilladungen ausgelastet. Eine sofortige erneute Zuladung ist aufgrund systembedingter Zwänge (zeitliche Restriktionen in Bezug auf die Zustellung der verbleibenden Teilladungen usw.) nicht möglich. Zur Quantifizierung der Auslastung entsteht in diesen Fällen also eine Kombination aus mengen- und entfernungsbezogener Auslastung, die entsprechend geringer ausfällt, als die reine entfernungsbezogene Auslastung eines Teilladungstransports. (vgl. beispielhaft Klaus et al. (2007), S.14).

⁵² Zwar gehen MÜLLER und KLAUS bspw. nur von 60 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit aus (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 41), jedoch erscheinen für den Komplettladungsverkehr mit entsprechend einer Be- und einer Entladestelle je Transportauftrag 65 km/h zudem auf Basis persönlicher Erfahrungen des Autors realistischer.

schränkt sind. Die Einsatzzeit des Equipments ist maßgeblich durch Restriktionen des Gesetzgebers eingeschränkt. Nach § 30 StVO (3) besteht in Deutschland bis auf wenige Ausnahmen ein Fahrverbot an Sonn- und Feiertagen für Lastkraftwagen >7,5 t zGM⁵³. Somit sind von 365 Kalendertagen als potentielle Einsatztage des Fahrzeuges zunächst alle Sonntage und alle Feiertage, welche nicht auf einen Sonntag fallen, zu subtrahieren. Im Jahr 2016 ist der Einsatz im allgemeinen Ladungsverkehr mit dem beschriebenen Equipment an insgesamt 66 Sonn- und Feiertagen ausgeschlossen⁵⁴. Weiterhin scheint ein vollumfänglicher Einsatz an Samstagen fraglich. Zwar sei die Argumentation zugelassen, an Samstagen tatsächlich uneingeschränkt „fahren“ zu können, jedoch ist auf Basis der in sich ergebenden Transportentfernungen im hier betrachteten nationalen Ladungsverkehr davon auszugehen, dass diese innerhalb eines Einsatztages zu überwinden sind. Das bedeutet, Einsatztage, an denen die zur Verfügung stehende Einsatzzeit tatsächlich exklusiv durch das Fahren, also ohne Be- und/oder Entladevorgänge ausgenutzt werden kann (wie bspw. im Rahmen von mehrtägigen internationalen Fernverkehrstouren), sind zu vernachlässigen. Somit muss an jedem Einsatztag auch die Möglichkeit zur Be- und Entladung des Fahrzeuges bestehen. An Samstagen ist dies i. d. R. jedoch maximal eingeschränkt, vereinfacht dargestellt, einen halben Tag lang, möglich. Aus diesem Grund sind von den bisher 299 möglichen Einsatztagen noch einmal 26 Samstage (52 Samstage im Jahr/2) zu subtrahieren. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die **maximal mögliche Einsatzzeit des Equipments** im Jahr 2016 **273 Tage** beträgt.

Die mögliche Einsatzzeit der Ressource Personal ist separat zu bewerten. Neben den bereits genannten 66 Sonn- und Feiertagen in 2016 sind für die Quantifizierung des maximalen Personaleinsatzes eines betrachteten Fahrers Samstage zunächst gänzlich zu subtrahieren. Zwar gilt der Samstag allgemein hin als Arbeitstag, auch sind durchaus Einsätze an einem Samstag denkbar, jedoch ist aufgrund der im weiteren Verlauf noch zu spezifizierenden Arbeits- und insbesondere Lenkzeitrestriktionen für das Fahrpersonal grundsätzlich von

⁵³ Ausgenommen sind Anschlussfahrten im kombinierten Verkehr, Fahrten zur Beförderung von frischen bzw. verderblichen Waren und damit in Zusammenhang stehende Leerfahrten (vgl. StVO (2013); § 30 (3) 1.-3.).

⁵⁴ Zur Vereinfachung wurden regionale Feiertage gleichbedeutend in die Betrachtung eingeschlossen und die Tatsache vernachlässigt, dass es sich 2016 um ein Schaltjahr mit 366 Tagen handelt.

einer Fünf-Tage-Woche auszugehen⁵⁵. Somit verbleiben mögliche 247 Arbeitstage, von denen nun der gesetzliche Urlaubsanspruch und eine prognostizierte Ausfallzeit durch Krankheit in Abzug gebracht werden müssen.

Der Mindestanspruch auf Erholungsurlaub beträgt für Arbeitnehmer in Deutschland 24 Werktage (vgl. Bundesurlaubsgesetz (BUrlG) (2013); § 3 (1)). Zusätzlich werden an dieser Stelle beispielhaft fünf Tage für krankheitsbedingten Ausfall und vom Gesetzgeber vorgeschriebene Schulungsmaßnahmen⁵⁶ subtrahiert. Letztendlich hat dies eine tatsächliche **maximale Einsatzzeit eines Fahrers** i. H. v. **218 Tagen** im Jahr zur Folge.

Anhand der deutlich niedrigeren maximal möglichen Einsatzzeit des Fahrpersonals im Vergleich zur Ressource Fahrzeug wird deutlich, dass die Beschäftigung von mehr als einem Fahrer notwendig ist, um für die Ressource Fahrzeug die Grundlage einer optimalen zeitlichen Auslastung durch Ausnutzung der möglichen Gesamteinsatztage zu gewährleisten. Aus dem Verhältnis von 273 Einsatztagen des Fahrzeuges und 218 Einsatztagen eines Fahrers resultiert ein sogenannter **Personalfaktor**⁵⁷ von **1,25**. Zum ganzjährigen Betrieb von vier Fahrzeugen werden im dargelegten Beispiel also fünf Fahrer benötigt. Vier sogenannte „Stammfahrer“, die den jeweiligen Fahrzeugen fest zugeordnet sind sowie ein sogenannter „Springer“. Ein hoher betriebsinterner Krankenstand (jährliche Krankentage > 5) führt an dieser Stelle schnell zu wesentlich höheren Personalfaktoren, mit entsprechenden Konsequenzen für die Ressourcenplanung und vor allem für die kostenseitige Bewertung des Ressourceneinsatzes (vgl. dazu Kapitel 2.3. Seite 59 ff).

Zur Quantifizierung der zeitlichen Auslastung bzw. der möglichen Gesamteinsatzzeit ist neben der Gesamtanzahl an Einsatztagen die *tägliche Einsatzzeit* zu betrachten. Diese ist durch die Restriktionen der Arbeits- und Lenkzeiten des

⁵⁵ VO (EG) Nr. 561/2006 Art. 6 (3) begrenzt die zulässige Gesamtlenkzeit eines Fahrers innerhalb zweier aufeinanderfolgender Wochen auf 90 Stunden. Somit ist davon auszugehen, dass die je Woche verbleibenden 45 Lenkzeitstunden in Korrespondenz zu der in VO (EG) Nr. 561/2006 Art. 6 (1) festgelegten täglich maximal möglichen neun Lenkzeitstunden an fünf Arbeitstagen in der Woche aufgebraucht werden (müssen).

⁵⁶ Vordergründig ist hier das Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) zu nennen, dass nach Abschluss einer Grundqualifikation (bei Führerschein nach dem 01.09.2009) oder einer 35-stündigen Weiterbildung (bei Führerscheinwerb vor dem 01.09.2009) die Auffrischung der Lehrinhalte in einem Zeitraum von max. 5 Jahren als Voraussetzung für die gewerbliche Nutzung des Führerscheins fordert (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2016a)).

⁵⁷ Der Personalfaktor wird in der Literatur auch gleichbedeutend als „Bemannungsfaktor“ bezeichnet (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 26) und stellt den Quotienten aus möglichen Fahrzeug-Gesamtstunden und möglichen Jahres-Einsatzstunden eines Fahrers dar.

Fahrpersonals determiniert. So beträgt die maximal zulässige wöchentliche Arbeitszeit nach ArbZG (2013), § 21a (4) *48 Stunden*⁵⁸, also im Rahmen der bereits andiskutierten Fünf-Tage-Woche 9,6 h/Tag.

Nicht als Arbeitszeit gelten dabei lediglich Zeiten der Bereitschaft, also Zeiten in denen sich ein Arbeitnehmer am Arbeitsplatz bereithalten muss, um seine Tätigkeit aufzunehmen, Zeiten während derer sich ein Arbeitnehmer bereithalten muss, um seine Tätigkeit auf Anweisung aufnehmen zu können, ohne sich an seinem Arbeitsplatz aufhalten zu müssen und für Arbeitnehmer, die sich beim Fahren abwechseln, Zeiten die während der Fahrt neben dem Fahrer oder in einer Schlafkabine verbracht werden (vgl. ArbZG (2013), § 21a (3), 1.-3.). Im Umkehrschluss sind also alle Tätigkeiten wie Fahren, Be- und Entladen, Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Be- und Entladung, Servicearbeiten usw., die also keine Bereitschaftszeiten, deren voraussichtliche Dauer vor Beginn dem Fahrer bekannt sind, der Arbeitszeit zuzurechnen. MÜLLER und KLAUS führen zur Bezeichnung des Tageseinsatzes eines Fahrers den Begriff „Schicht“ ein, der auch im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit verwendet wird (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 38). Entsprechend beträgt die **maximale Dauer einer Schicht** eines Fahrers **9,6 h**.

Diese Schichtzeit ist nun im Hinblick auf die Produktivität des Ressourceneinsatzes in produktive (Lenkzeit für das Fahren) und unproduktive Bestandteile (Arbeitszeit für das Be- und Entladen sowie das Warten darauf) zu differenzieren (vgl. L. Schubert (2013), S. 42). Dabei sind im Sinne eines möglichst produktiven Ressourceneinsatzes unproduktive Bestandteile zu minimieren. Zudem sind notwendige Rüstzeiten bspw. für die Betankung des Fahrzeuges und das Dokumentenwesen zu berücksichtigen, welche für den depotgebundenen Ladungsverkehr allgemein mit 6,29 %, also ca. 0,6 h quantifiziert wurden (vgl. Klaus et al. (2007), S. 35). Somit verbleiben bereits nur noch 9 h innerhalb einer Schicht, um tatsächlich wertschöpfende Tätigkeiten zu verrichten.

Betrachtet man als wertschöpfende Tätigkeit primär das „Fahren“, so wirken hier die Vorschriften der Lenk- und Ruhezeiten restriktiv. Nach der VO (EG) 561/2006 beträgt die maximal zulässige tägliche Lenkzeit eines Fahrers 9 h. Zwar darf diese zweimal in der Woche auf 10 h ausgedehnt werden (was zu einer maximalen Wochenlenkzeit von 56 h führt), jedoch sind innerhalb zweier

⁵⁸ Die wöchentliche Arbeitszeit kann auf maximal 60 Stunden verlängert werden, wenn innerhalb von vier Kalendermonaten oder 16 Wochen im Durchschnitt 48 Stunden wöchentlich nicht überschritten werden (vgl. ArbZG (2013), § 21a (4)).

aufeinanderfolgender Wochen, wie bereits dargelegt, maximal 90 Lenkzeitstunden erlaubt. Beachtet man nun noch einmal, dass sich alle arbeitszeitwirksamen Tätigkeiten mit einem summierten Aufwand von mehr als 0,6 h täglich zudem lenkzeitmindernd auswirken, die insgesamt zur Verfügung stehende Lenkzeit (45 h im Wochenmittel) jedoch im Hinblick auf die täglich maximale Entfernungsleistung so weit wie nur möglich ausgenutzt werden muss, so erklärt sich daraus noch einmal, warum es kaum möglich ist, einen wöchentlichen Einsatzzeitraum des Fahrers von fünf Tagen zu überschreiten. Es ist im Rahmen der Fünf-Tage-Woche also von einer durchschnittlichen Maximallenkzeit von 9 h täglich auszugehen.

Weiterhin werden innerhalb der VO (EG) 561/2006 alle Regelungen bzgl. vorgeschriebener Lenkzeitunterbrechungen und Ruhepausen geregelt. Eine Fahrzeitunterbrechung von 45 min ist spätestens nach 4,5 h Lenkzeit einzulegen, wobei diese in höchstens zwei Teile, mit einem ersten Teil von 15 min und einem zweiten Teil von 30 min, gesplittet werden darf. Ruhepausen sind dazu jeweils in Form von täglichen und wöchentlichen Ruhezeiten einzuhalten. Die regelmäßige Wochenruhezeit beträgt 45 h. Sie ist nach maximal sechs Tageslenkzeiten einzulegen und kann bei entsprechendem Ausgleich in der Folgewoche auf 24 h reduziert werden. Die täglich, also innerhalb von 24 h vorgeschriebene Ruhezeit beträgt 11 h, kann jedoch dreimal pro Woche auf 9 h verkürzt und darüber hinaus in zwei Teile von zuerst 3 h und anschließend 9 h gesplittet werden. Rechnerisch ergibt sich dadurch die Möglichkeit, innerhalb eines 24 h-Zeitraumes die zur Verfügung stehenden 9,6 Arbeitsstunden inklusive der möglichen 9 Lenkstunden und der notwendigen Fahrzeitunterbrechung(en) auf 13 h (bei 11 h Ruhezeit) bzw. 15 h (bei 9 h Ruhezeit) zu verteilen.

Vor dem Hintergrund der im Rahmen der Ressourcenbeschreibung bereits dargelegten, im Ladungsverkehr klassischerweise vorherrschenden Besetzungsform eines Fahrzeuges durch einen Fahrer (vgl. Seite 42), ergibt sich unter Verwendung des Schichtbegriffes eine **Gesamteinsatzzeit von jährlich 273 Schichten** (bei einer notwendigen Beschäftigung von 1,25 Fahrern) zu je 9,6 h, also **2 621 h**.

Die zeitliche Auslastung der Ressourcen ist nun aus verschiedenen Perspektiven zu beschreiben. Während auf Basis der möglichen Einsatztage ein Auslastungsgrad von 91 % (max. Einsatztage des Equipments/max. Einsatztage

des Fahrpersonals) erreicht wird, so ist im Kontext des täglichen Fahrereinsatzes im Einschichtbetrieb eine zeitliche Auslastung von lediglich 43,6 %⁵⁹ zu konstatieren.

Die nun quantifizierbaren Fahrzeug-Gesamtkilometer ergeben sich aus dem Produkt der zuvor beschriebenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h und der tatsächlich täglich zur Verfügung stehenden Lenkzeit. Ausgehend von 9,6 h täglicher Arbeitszeit im Einschichtbetrieb, die um 0,6 h Rüstzeit und mindestens 2 h täglicher Be- und Entladetätigkeit des Fahrers (Arbeitszeit) reduziert werden muss, verbleibt unter optimalen Bedingungen eine tatsächlich zum „Fahren“ nutzbare Lenkzeit von täglich 7 h.

Daraus ergibt sich eine maximale Streckenleistung von 455 km je Schicht⁶⁰, im Einschichtbetrieb also **455 Fahrzeug-Gesamtkilometer je Tag**. Im Rahmen von 273 nutzbaren Einsatztagen im Jahr ergeben sich also maximal **124 215 Fahrzeug-Gesamtkilometer**.

Abbildung 11 (Seite 59) fasst die wichtigsten, sich restriktiv auf die Produktivität der eingesetzten Ressourcen auswirkenden Faktoren noch einmal zusammen und stellt die entsprechenden Auslastungsgrade auf Basis der jeweiligen Bezugsgrößen noch einmal grafisch dar.

⁵⁹ Es wird unterstellt, dass ein Fahrzeug am Tag im Durchschnitt 22 h fahren kann, da neben der notwendigen Mehrfachbesatzung, also dem Mehrschichtbetrieb, jeweils 45 min Lenkzeitunterbrechung je 9 h Lenkzeit eingehalten werden muss (vgl. L. Schubert (2013), S. 43). Jedoch können ausschließlich sequentielle Fahrerwechsel zu einer derart hohen Auslastung führen, da Doppelbesatzungen, die gemeinsam unterwegs sind und nach Ableistung Ihrer jeweiligen Lenk- und Arbeitszeiten nicht das Fahrzeug verlassen können, innerhalb eines 30-Stunden-Zyklus mindestens 9 h Ruhezeit im stehenden Fahrzeug ableisten müssen (vgl. Rang (2006b), S. 36).

⁶⁰ MÜLLER und KLAUS gehen an dieser Stelle von 25 % nicht nutzbarer Schichtzeitanteile für Warte- und Ladezeiten aus und weisen unter der Annahme von nur 60 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit eine tägliche Fahrleistung von nur 400 km aus (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 41).

2.3. Das Kostenmodell des Ressourceneinsatzes

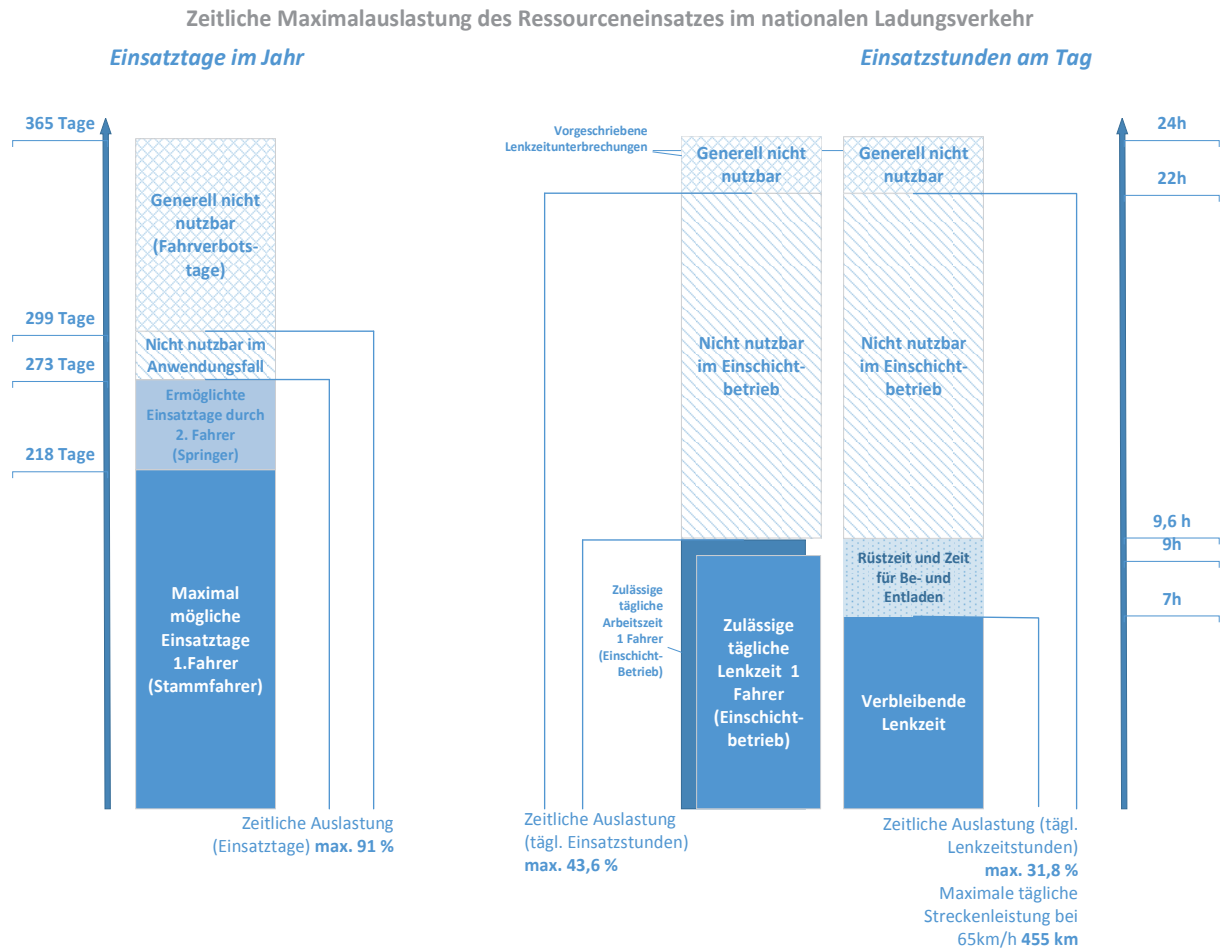


Abbildung 11: Zeitliche Auslastung des Ressourceneinsatzes im nationalen Ladungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

2.3. Das Kostenmodell des Ressourceneinsatzes

2.3.1. Überblick

Einen ebenfalls entscheidenden Beitrag zur Formulierung der Problemstellung und Auswahl der Handlungsalternativen liefert die Kostensituation im Ladungsverkehr. Um diese hinreichend genau analysieren zu können ist es zunächst notwendig, den Aufbau der klassischen Fahrzeugkostenkalkulation grundlegend zu erläutern.

Entsprechend der in Kapitel 2.2.1. vorgestellten Ressourcen der Leistungserstellung im Ladungsverkehr lassen sich die Kosten der Leistungserstellung aus Personalkosten (Fahrerlohn plus Nebenkosten), den variablen und fixen Fahrzeug- und Ladeeinheitskosten und den zugehörigen Verwaltungskosten zusammensetzen. Dabei hängen die variablen oder auch kilometerabhängigen

Kosten im Wesentlichen von der Einsatzintensität des Fahrzeuges ab, während die Personalkosten und die fixen Kosten zeitabhängig anfallen. Zusätzlich zu berücksichtigen sind Gemeinkosten. Diese fallen für den gesamten Fuhrpark oder das gesamte Unternehmen an und müssen dem einzelnen Fahrzeug mittels eines geeigneten Verrechnungsschlüssels zugeordnet werden (vgl. Wittenbrink (2011), S. 6; Fiedler (2007), S. 74 und Kerler (2008), S. 169).

Die Hauptkostengruppen und die jeweils dazu zählenden Kostenarten sind in Tabelle 4 im Überblick dargestellt.

Tabelle 4: Hauptkostengruppen der Fahrzeugkostenrechnung

Fahrzeug-Einzelkosten		Fixe Fahrzeug-Gemeinkosten
Variable Einsatzkosten	Fixe Einsatzkosten	
<i>Kosten, die immer dann auftreten, wenn das Fahrzeug bewegt wird.</i> Echte, variable Einsatzkosten: - Kraftstoffkosten - zusätzliche Betriebsmittel (z. B. AdBlue) - km-abhängige Mautkosten Proportionalisierte, variable Einsatzkosten: - km-abhängige Abschreibung - Reifenkosten - Schmierstoffkosten - Wartungs- und Instandhaltungskosten Bezugsgröße: - Jahresfahrleistung in km Verrechnungssatz: - €/km	<i>Kosten, die weitgehend unabhängig von der Intensität des Fahrzeugeinsatzes auftreten.</i> Fixe Fahrzeugkosten: - zeitabhängige Abschreibung oder Leasing/Miete - kalkulatorische Zinsen - Steuern und Versicherung - zeitabhängige Mautkosten Fahrpersonalkosten: - Fahrerlohn - Sozialversicherung - Fahrerspesen - Kommunikationskosten Sonstige fixe Einsatzkosten: - Miete für Stellplätze für das betrachtete Fahrzeug - Ladungssicherungsequipment Bezugsgröße: - Einsatzzeiten in Stunden (h) pro Jahr Verrechnungssatz: - €/h	<i>Kosten, die für den Fahrzeugeinsatz notwendigen Verwaltungsapparat anfallen.</i> Administrative, dem Fuhrpark zurechenbare Kosten: - Disposition - Fuhrpark- und Ladehilfsmittelmanagement - Auftrags- und Dokumentenabwicklung Unternehmensbezogene Gemeinkosten: - allgemeine Verwaltungskosten - kalkulatorischer Unternehmerlohn - sonstige Gemeinkosten

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an L. Schubert (2013), S. 126 nach Ausführungen von Wittenbrink (2011), S. 6; Fiedler (2007), S. 74; Bruhn, Perseke und Vatterrodt (2010), S. 216 ff.

Die entsprechende Differenzierung der variablen Kosten nach jeweils „echten“ und „proportionalisierten“ variablen Kosten folgt den Ausführungen von

SCHUBERT, der wiederum den proportionalisierten variablen Kosten keine direkte Leistungsabhängigkeit, sondern erst mit Hilfe des Verbrauchs oder der Wertminderung des Betriebsmittels eine Leistungsproportionalität attestiert (vgl. L. Schubert (2013), S. 126).

Nachfolgend werden die einzelnen Kostenpositionen entsprechend der in Tabelle 4 (Seite 60) vorgegebenen Reihenfolge beschrieben und eine beispielhafte Gesamtkalkulation der Leistungserstellungskosten im Ladungsverkehr angestellt. Dabei wird weniger die exakte Höhe einzelner Kostenwerte (jeder Ladungsverkehrsanbieter muss im Sinne einer validen Kostenkalkulation seine konkret ermittelten eigenen Werte ansetzen) für den Verlauf der Arbeit entscheidend sein, als vielmehr das Verständnis bzgl. der Struktur und der jeweiligen Zusammenhänge innerhalb des Kostenmodells. Diese werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

2.3.2. Variable Einsatzkosten

Als erste Hauptkostengruppe wurden die variablen Einsatzkosten identifiziert. Sie setzen sich aus den Kraftstoffkosten, Kosten für zusätzliche Betriebsmittel, den kilometerabhängigen Mautkosten, den kilometerabhängigen Abschreibungen, den Reifen-, Schmierstoff- und Wartungs- und Instandhaltungskosten zusammen, die folgend erläutert werden.

Im Rahmen der echten variablen Kosten ist an erster Stelle der *Kraftstoffkostensatz* (oder auch „Treibstoff-“ oder Dieselpkostensatz) zu betrachten. Dieser errechnet sich aus dem Produkt des durchschnittlichen Verbrauchs des Fahrzeugs und des Kraftstoffpreises (vgl. u. a. Wittenbrink (2011), S. 16)⁶¹. Der Kraftstoffverbrauch eines entsprechend zuvor beschriebenen Lkw im Ladungsverkehr (siehe Seite 43) wird in der Literatur mit Werten zwischen 30 und 35 Litern pro 100 km beschrieben. Für die vorliegende Untersuchung soll ein

⁶¹ Zusätzlich kann es zweckmäßig sein, bei vorhandener eigener Betriebstankstelle, den durchschnittlichen Dieselpreis als Produkt aus dem jeweiligen Dieselpreis und dem Anteil der Betankung an der Betriebstankstelle und den sog. Fremdtankungen anzusetzen. Hierdurch sollen Einkaufsvorteile im Rahmen der Kraftstoffbeschaffung in großen Mengen für die Betriebstankstelle Berücksichtigung finden (vgl. Fiedler (2007), S. 78). Da das Vorhandensein einer Betriebstankstelle einerseits, die Kostenvorteile im Einkauf und die Höhe der Anteile der Betankungsarten der Fahrzeuge aus eben dieser bei Ladungstransportanbietern jedoch höchst individuell geschieht und sich entsprechend schwer valide verallgemeinern lässt, wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zunächst auf diese Differenzierung verzichtet.

Durchschnittsverbrauch von 33 l/100 km angesetzt werden⁶². Als durchschnittlicher Dieselpreis wird ein Wert von 1,07 € pro Liter (netto) angenommen. Dieser ergibt sich als Mittelwert der vom BGL veröffentlichten „monatlichen Dieselpreise bei Abgabe an Großverbraucher ohne Umsatzsteuer“ bei einer Betrachtung von Januar 2010 bis einschließlich Oktober 2015 (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015b)). Somit ergibt sich für Kraftstoffkosten ein variabler Kostensatz i. H. v. **0,353 €/km**.

Neben den Kraftstoffkosten zählen Kosten für *zusätzliche Betriebsmittel* zu den echten variablen Kosten. Vordergründig werden an dieser Stelle Kosten für die Abgasnachbehandlung in Form der unter dem Markennamen „Ad Blue“ bekannten Harnstofflösung beschrieben, welche im Rahmen des SCR-Katalysatorverfahren (selektive katalytische Reduktion) benötigt wird, um die vom Gesetzgeber geforderten Abgasnormen bzw. Schadstoffklassen zu erreichen (zum SCR-Verfahren vgl. Braun und Kolb (2012), S. 527; Esch und Dahlhaus (2013), S. 430). Eine derartige Abgasnachbehandlung ist zum Erreichen der Abgasnormen EURO IV und EURO V notwendig. Zwar benötigen moderne EURO VI Fahrzeuge diese nicht mehr, jedoch haben trotz steigender Tendenz zum heutigen Zeitpunkt EURO VI Fahrzeuge den Markt noch nicht hinreichend durchdrungen⁶³, sodass als Kostenreferenzfahrzeug ein entsprechend weit verbreitetes EURO V Fahrzeug der Kostenrechnung unterstellt wird. Der Verbrauch der Harnstofflösung wird mit drei bis fünf Prozent des Kraftstoffverbrauches veranschlagt (vgl. Wittenbrink (2011), S. 14), der Liter Ad Blue kostet 0,27 €⁶⁴. Ausgehend von einem Verbrauch von 0,0165 l/km (5 % von 0,33 l/km Kraftstoffverbrauch) ergibt sich ein variabler Kostensatz für zusätzliche Betriebsmittel in Höhe von **0,0045 €/km**.

Dritte Position der echten variablen Kosten bilden die *kilometerabhängigen Mautkosten*. Die seit 01.01.2005 in Deutschland eingeführte entfernungsabhängige Benutzungsgebühr für Bundesautobahnen und einige Bundesstraßen gilt seit der letzten Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes (BFStrMG) zum 01.10.2015 für Fahrzeuge ab 7,5 t zGM (vorher ab 12 t zGM)

⁶² WITTENBRINK, LORENZ und auch SCHUBERT rechnen an dieser Stelle ebenfalls mit 33 l/100 km, MÜLLER und KLAUS, aber auch FIEDLER gehen von 35 l/100 km aus (vgl. Wittenbrink (2011), S. 14; Lorenz (2008), S. 283; L. Schubert (2013); S. 129; Müller und Klaus (2009), S. 129 und Fiedler (2007), S.81).

⁶³ Im Jahr 2013 verursachten EURO VI Fahrzeuge einen Anteil von 18,8 % der Gesamtmautkilometer in Deutschland, wogegen EURO V Fahrzeuge einen Anteil von 65,4 % verursachten (EURO IV 6,5 %, EURO 0-III insgesamt 9,2 %) (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 54).

⁶⁴ Bei einer Abgabemenge von 1.000 Litern im IBC-Container (vgl. BlauTanken.de (2015))

und ist somit für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand uneingeschränkt relevant. Notwendig für die Ermittlung des Kostensatzes sind die Schadstoffklasse, die Achsanzahl der Fahrzeugkombination und die mautpflichtige Gesamtstrecke (vgl. zur Mautsatzermittlung: TollCollect (2015a)). Aus bereits zuvor erläuterten Grund der nicht hinreichenden Marktdurchdringung von EURO VI Fahrzeugen, wird zur Mauthöheermittlung ebenfalls ein EURO V Fahrzeug als Referenz unterstellt⁶⁵. Diese zählen entsprechend der Neuordnung in die Kategorie B. Gleichzeitig werden, entsprechend der in Kapitel 2.2.1. beschriebenen Ressourcen, Fahrzeugkombinationen mit fünf Achsen⁶⁶ als Referenz angenommen.

Der entsprechende Mautsatz für Kategorie B – Fahrzeuge mit mindestens fünf Achsen beträgt 0,156 € (vgl. BFStrMG (2015), Anlage 1 zu § 3 Absatz 3). Der geschätzte Anteil der Autobahnnutzung scheint nach MÜLLER und KLAUS im nationalen Ladungsverkehr mit 80 % realistisch (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 28)⁶⁷. Insgesamt resultiert daraus ein variabler Kostensatz für die deutsche Lkw-Maut von **0,125 €/km**.

Im Rahmen der Betrachtung proportionalisierter variabler Kosten stellen die *kilometerabhängigen Abschreibungen* eine weitere bedeutende Position dar. Abschreibungen selbst haben die Aufgabe, den Wertverzehr an Vermögensgegenständen sachgerecht zu erfassen und die Wiederbeschaffung einer Ersatzanlage aus verdienten Abschreibungsgegenwerten zu sichern (vgl. Wöhe und Döring (2010), S. 947 ff). Sie werden sowohl den variablen Kosten als auch den Fahrzeugfixkosten zugerechnet, da sowohl die Jahreskilometerleistung, als auch die Nutzungsdauer des Fahrzeuges zu berücksichtigen ist. Deshalb wer-

⁶⁵ Die Emissionsklassen für Kraftfahrzeuge sind geregelt in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) § 48 mit Verweis auf Anlage XIV.

⁶⁶ Die durch den Gesetzgeber maximal zGM von 40 Tonnen ist nur mit mindestens fünf Achsen der Fahrzeugkombination realisierbar. Fahrzeugkombinationen mit vier Achsen realisieren je nach Achskonfiguration maximal 38 Tonnen zGM (vgl. Braun und Kolb (2012), S. 37).

⁶⁷ BRUHN et al führen an dieser Stelle den Begriff „Mautfaktor“ ein. Dieser berücksichtigt neben dem Fahrleistungsanteil auf Autobahnen gleichzeitig den Auslastungsgrad des Fahrzeuggesamteinsatzes, um Mautgebühren für Leerfahrten bereits an dieser Stelle in der Kalkulation zu berücksichtigen (vgl. Bruhn et al. (2010), S. 223). Da die Leerfahrproblematik zu einem späteren Zeitpunkt der Untersuchung jedoch ohnehin noch einmal exklusiv bearbeitet werden muss, wird der Ansatz des Mautfaktors (Quotient aus Fahrleistungsanteil auf Autobahnen und Auslastungsgrad des Fahrzeugeinsatzes) nicht übernommen.

den die Fahrzeugabschreibungen einerseits bei den variablen Kosten auf Kilometerbasis, als auch bei den Fixkosten auf Zeitbasis⁶⁸ kalkuliert (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 30).

Zur Ermittlung der Abschreibungen ist es zunächst notwendig, den Abschreibungswert des Fahrzeuges zu ermitteln. Dazu müssen die Begriffe Anschaffungskosten (der tatsächliche Kaufpreis zuzüglich sonstiger Kosten, die bis zur Einsatzbereitschaft entstehen), Wiederbeschaffungskosten am Ende der geplanten Nutzungsdauer (die zukünftigen Anschaffungskosten inkl. der Berücksichtigung von Preissteigerungen und technischen Fortschritten) sowie der Restwert der Investition am Ende der Nutzungsdauer (Verkaufserlöse nach Ablauf der Nutzungsdauer) differenziert und quantifiziert werden. Den Anschaffungswert einer in Kapitel 2.2.1. beschriebenen Ressource allgemein zu bestimmen gestaltet sich schwierig, da die realen Preise der Fahrzeuge nach Hersteller und Ausstattung entsprechend starken Schwankungen unterliegen. Entsprechend unterschiedliche Werte finden sich in der Literatur. Die Basiswerte für die vorliegende Kalkulation werden von WITTENBRINK übernommen, der den Marktwert einer Sattelzugmaschine des Typs „Mercedes Actros 1844 LS“ mit 81.000,- € und Marktwert eines Sattelauflegers mit 25.000,- € beziffert (vgl. Wittenbrink (2011), S. 8)⁶⁹.

Der Wiederbeschaffungswert soll Preissteigerungen in der Zukunft sowie technische Neuerungen (die naturgemäß einen Einfluss auf den Anschaffungswert ausüben) berücksichtigen, damit nach Ende der Nutzungsdauer eine entsprechende (teurere) Ersatzinvestition getätigt werden kann. FIEDLER argumentiert dagegen, die Differenz zwischen Wiederbeschaffungswert und ursprünglichem Anschaffungswert durch den Restwert, der im Rahmen der Nutzung nicht aufgezehrt wurde, auszugleichen, indem eben dieser Restwert nicht von vornherein vom Anschaffungswert in Abzug gebracht wird (vgl. Fiedler (2007), S. 75). Im Sinne der Vereinfachung gehen auch MÜLLER und KLAUS von einer Kompensation der vermeintlich zu erwartenden Preissteigerung und des zu erwartenden Restwertes aus und berücksichtigen entsprechend ausschließlich

⁶⁸ Siehe Kapitel „Fixe Einsatzkosten“ Seite 69 ff

⁶⁹ Nach FIEDLER 79.700,- € Lkw und 23.980,- € Anhänger, nach BRUHN et al. 87.000,- € für den Sattelzug, nach MÜLLER und KLAUS 95.000,- € für den Sattelzug (vgl. Fiedler (2007), S. 81); Bruhn et al. (2010), S. 213; Müller und Klaus (2009), S. 30). Da jedoch ausschließlich WITTENBRINK Auskunft über die Herkunft der jeweiligen Werte gibt (Nutzfahrzeugkatalog des Magazins „lastauto ominibus“ der ETM EurotransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH), werden diese Werte übernommen.

den Anschaffungswert. BRUHNS et al plädieren dabei im Rahmen der Ermittlung des Abschreibewertes jedoch für den Abzug des vermeintlichen Restwertes von einem prognostizierten Wiederbeschaffungswert, weisen dabei jedoch explizit auf die Schwierigkeiten bei der Schätzung beider Werte hin. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Kalkulation schließt sich der Argumentation von WITTENBRINK und BRUHN et al an und wird sowohl einen Wiederbeschaffungswert als auch einen Restwert berücksichtigen. Gestützt wird die Vorgehensweise zudem durch die Beispiele der Autoren KERLER, SCHMÄLTER sowie BARWIG und HARTMANN, die ebenfalls innerhalb Ihrer Ausführungen zur Abschreibungsermittlung einen Wiederbeschaffungswert *und* einen Restwert berücksichtigen (vgl. Kerler (2008), S. 35; Schmälter (2008), S. XII-1 und Barwig und Hartmann (2013), S. 26).

Sowohl bei der Ermittlung des Wiederbeschaffungswertes als auch bei der Kalkulation des Restwertes des Fahrzeuges sind zuvor von den Anschaffungskosten die Kosten für einen Satz Reifen (RK) zu subtrahieren, da die Reifenkosten aufgrund der wesentlich geringeren Nutzungsdauer gegenüber dem Fahrzeug separat (eine ausführliche Erläuterungen zu den Reifenkosten erfolgt im nächsten Abschnitt) erfasst werden. Unter Zuhilfenahme einer Preissteigerungsrate von $(p) = \text{zehn Prozent}$ gegenüber dem Anschaffungswert (vgl. dazu L. Schubert (2013), S. 10) und einem Restwert am Ende der Periode T von $(q) = \text{15 Prozent}$ (Mittelwert aus Bruhn et al. (2010), S. 213 und Wittenbrink (2011), S. 37) des Anschaffungswertes nach einer Nutzungsdauer (ND) von sechs Jahren, berechnet sich der Abschreibewert wie folgt:

Abschreibewert *Formel (1)*

$$\begin{aligned} &= \text{Wiederbeschaffungswert}_T - \text{Restwert}_T \\ &= (\text{Anschaffungswert}_{t_0} - RK) * (1 + p) - ((\text{Anschaffungswert}_{t_0} - RK) * q) \\ &= (106.000 \text{ €} - 4.800 \text{ €}) * 1,10 - ((106.000 \text{ €} - 4.800 \text{ €}) * 0,15) \\ &= 96.140 \text{ €} \end{aligned}$$

Die Höhe der Abschreibung wird neben dem Abschreibewert durch die Nutzungsdauer geprägt, die darüber entscheidet, über wie viele Jahre der Verkehr eines Wirtschaftsgutes realistisch anzusetzen ist. Um dabei gleiche Jahreskosten über die gesamte Nutzungsdauer zu erreichen, wird kalkulatorisch immer linear abgeschrieben (vgl. Fiedler (2007), S. 76). Nach SCHUBERT sind bei Fahrzeugen der abnutzungsbedingte Verschleiß durch Gebrauch und der natürliche Verschleiß und technische Überholung ursächlich für den Werteverzehr. Dabei drücken sich natürlicher Verschleiß und Überholung in einem von

der Leistungsmenge unabhängigen Werteverzehr aus, bei dem entsprechend der linearen Abschreibung ein gleichmäßiger Wertezehr im Laufe der Nutzungsdauer durch eine gleichmäßige Verteilung eines anteiligen Abschreibewertes auf die einzelnen Perioden der Nutzungsdauer unterstellt wird. Dieser Abschreibungsanteil wird später den fixen Fahrzeugkosten zugeordnet. Im Rahmen der aktuell betrachteten variablen Kosten wird der abnutzungsbedingte Verschleiß im Sinne der Leistungsabschreibung betrachtet. Dabei wird der anteilige Abschreibewert gleichmäßig auf die gesamte Leistungsmenge verteilt (vgl. L. Schubert (2013), S. 128). Die Verteilung der anteiligen Abschreibewerte erfolgt in Anlehnung an das Einsatzprofil des Fahrzeuges in der Regel im Verhältnis 50:50 ($\alpha_{var} = 0,5$) (vgl. Fiedler (2007), S. 77 und Wittenbrink (2011), S. 12). Während einer Nutzungsdauer von hier angenommenen sechs Jahren und einer Jahreslaufleistung von 124 290 km (siehe Seite 58) ergibt sich somit ein variabler Kostensatz Abschreibung_{var}⁷⁰ von:

Abschreibung_{var} *Formel (2)*

$$= \frac{\text{Abschreibewert} * \alpha_{var}}{\text{Gesamtfahrleistung}_{T-t_0}}$$

$$= \frac{96.140 \text{ €} * 0,5}{745\,290 \text{ km}}$$

$$= \mathbf{0,0645 \text{ €/km}}$$

Werden Fahrzeuge mittels Leasing oder Miete beschafft⁷¹, so fallen keine direkten variablen Abschreibungen an. Diese sind in der Regel vom Leasinggeber oder Vermieter bereits in die monatlich fixe Leasingrate bzw. Mietrate inkludiert, welche in den meisten Fällen an eine vom Leasinggeber oder Vermieter vorgegebene maximale Fahrleistung gekoppelt ist und den entsprechenden leistungsbedingten Werteverzehr kompensiert. Wird die vertraglich vereinbarte Fahrleistung überschritten, findet also ein stärkerer leistungsbedingter Werteverzehr statt, so muss dieser dem Leasinggeber oder Vermieter nachträglich entrichtet werden. Die leistungsabhängigen variablen Abschreibungen sind im Leasing- und Mietmodell, also im Rahmen einer vertraglich vereinbarten Höhe der Leistung fixiert (vgl. Kerler (2008), S. 47 ff)

⁷⁰ HABERSTOCK und BREITHECKER weisen explizit darauf hin, im Rahmen der Kostenrechnung nicht die Kurzform „kalkulatorische AfA“ zu verwenden, da „AfA“ begrifflich für die nur steuerliche Bezeichnung „Absetzung für Abnutzung“ steht und somit im Kontext der Kostenrechnung nicht verwendet werden darf. (vgl. Haberstock und Breithecker (1998), S. 80)

⁷¹ Es wird auch von „Fahrzeugbeschaffung über Dritte“ gesprochen. Ein externes (drittes) Unternehmen überlässt dabei die Fahrzeuge dem beschaffenden Unternehmen zur Nutzung und erhält dafür ein Entgelt (vgl. Kerler (2008), S. 47). Zu Beschaffungsvarianten des Fuhrparks allg. vgl. Grandjot (2007), S. 55 ff).

Reifen werden entsprechend ihrer tatsächlichen Abnutzung durch das Fahren als Kosten berechnet, wobei eine differenzierte Betrachtung bspw. der Antriebsräder und deren stärkere Abnutzung nicht erfolgt (vgl. Bruhn et al. (2010), S. 219). Weiterhin wird unterstellt, dass die Reifenkosten zu 100 % tatsächlich variabel sind (vgl. L. Schubert (2013), S. 128). Die Reifenkosten eines Fahrzeuges ermitteln sich dabei aus den Anschaffungskosten der Reifen dividiert durch deren erwartete Laufleistung. Eine Fahrzeugkombination im Ladungsverkehr entsprechend Kapitel 2.2.1. besitzt im Regelfall 12 Reifen. Dabei entfallen sechs Reifen auf das Zugfahrzeug (zwei Reifen an der Lenkachse und vier Reifen an der Antriebsachse, bei einem dreiachsigen Motorwagen weitere zwei Reifen an der sog. Nachlaufachse) und sechs Reifen am Anhänger bzw. Auflieger (je Achse zwei Reifen, bei dreiachsigen Zugfahrzeugen verfügt der Anhänger in der Regel über zwei Achsen, also vier Reifen). Geht man nun von einem Durchschnittspreis von 400,- € je Reifen (vgl. ReifenDirekt.de (2015)) und einer durchschnittlichen Laufleistung der Reifen von ca. 200 000 km (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 29), so ergeben sich Reifenkosten in Höhe von **0,024 €/km⁷²**.

Weiterhin sind im Rahmen der proportionalisierten variablen Kosten *Schmierstoffkosten* zu kalkulieren. Schmieröle (Motorenöl, Getriebeöl, Kühlflüssigkeit u. ä.) dienen vordringlich der Verschleißminderung, zur Abdichtung und Kühlung, dem Korrosionsschutz und auch der Sauberhaltung des Motors (vgl. Braun und Kolb (2012), S. 541), sind also für den Betrieb des Fahrzeuges zwingend erforderlich. Kostenseitig bewertet werden Schmierstoffe üblicherweise mit einem prozentualen Anteil der Kraftstoffkosten. Dieser Anteil wird in der Literatur mit Werten zwischen einem und fünf Prozent bemessen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung kommen, den Autoren FIEDLER, MÜLLER und KLAUS sowie BRUHN et al. folgend, drei Prozent der Kraftstoffkosten als Schmierstoffkosten zur Anwendung. Hieraus ergibt sich ein variabler Kosten-satz von **0,0106 €/km**.

⁷² Vergleicht man die unterstellten Reifenkosten und Reifenlaufleistungen verschiedener Autoren so ist festzustellen, dass die jeweiligen Werte stark differieren. Einerseits unterscheiden einige Autoren grundsätzlich zwischen Reifen für das Zugfahrzeug und Reifen für die gezogene Einheit und kalkulieren dabei entsprechend unterschiedliche Werte sowohl für Beschaffung, als auch für die Laufleistung (vgl. Fiedler (2007), S. 81; Wittenbrink (2011), S. 37 und L. Schubert (2013), S. 129). Andererseits gestalten sich die angesetzten Werte selbst dabei wiederum höchst individuell, sodass an dieser Stelle ein breites Spektrum an Reifencharakteristika und Kostenbandbreite offensichtlich wird. Da jedoch selbst FIEDLER von einer „häufig starken Überbewertung der Reifenkosten selbst“ spricht und diese insgesamt auf maximal 3 % der Gesamtkosten eines Fernverkehrsfahrzeuges quantifiziert (vgl. Fiedler (2007), S. 77), soll für die vorliegende Untersuchung der vereinfachte Ansatz nach MÜLLER und KLAUS genügen.

Letztendlich müssen Kosten für *Wartung und Instandhaltung* berücksichtigt werden. Als Kostenauslöser werden dabei die Wartung, als Aufwendungen im Zusammenhang mit geplanten Arbeiten am Fahrzeug wie bspw. die Inspektion und der Verschleißteileaustausch, die Instandhaltung, als Aufwendungen im Zusammenhang mit ungeplanten Arbeiten am Fahrzeug und die Instandsetzung, als Aufwendungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Unfallschäden unterschieden (vgl. Fiedler (2007), S. 78). SCHUBERT kritisiert in seinen Ausführungen den eigentlich nicht direkt nachweisbaren proportionalen Zusammenhang des Kostenanfalls und der Ressourceninanspruchnahme, da die Kostenstrukturen von Werkstätten und Fremdleistung vertragsmäßig einen fixierten Charakter aufweisen, unterstellt jedoch, wie andere Autoren auch, eine letztendlich langfristige Proportionalität. Die vorliegende Arbeit verwendet einen Wert von **0,0702 €/km**, der sich auf Basis der Literaturrecherche als Mittelwert ableiten lässt⁷³.

Insgesamt ergeben sich im Kalkulationsbeispiel für eine im nationalen Ladungsverkehr eingesetzte Fahrzeugkombination variable Kosten in Höhe von **0,652 €/km**. Tabelle 5 fasst die Ergebnisse der Kalkulation der variablen Einsatzkosten noch einmal zusammen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der variablen Kosten

Kostenart	Höhe des Kostensatzes	Einheit
Kraftstoffkosten	0,353	€/km
zus. Betriebsmittel	0,0045	€/km
km-abh. Maut	0,125	€/km
km-abh. Abschreibung	0,0645	€/km
Reifenkosten	0,024	€/km
Schmierstoffkosten	0,0106	€/km
Wartungs- und Instandhaltungskosten	0,0702	€/km
Σ	0,6518	€/km

Quelle: Eigene Darstellung

⁷³ Als Basiswerte dienen 6.961,48 € bei 110 000 km Jahresfahrleistung - verwendet von Bruhn et al. (2010), S.221; 5.200 € bei 120 000 km Jahresfahrleistung - verwendet von Müller und Klaus (2009), S. 30; 14.936 € bei 130 000 km Jahresfahrleistung - verwendet von Fiedler (2007), S. 81 und 0,06 €/km - verwendet von Wittenbrink (2011), S. 41.

2.3.3. Fixe Einsatzkosten

Die zweite Hauptkostengruppe bilden die fixen Einsatzkosten. Fixe Kosten, auch Bereitschaftskosten genannt, sind der Teil der Gesamtkosten, der auch bei einer Ausbringungsmenge (hier die gefahrenen Kilometer) von Null anfällt (vgl. Wöhe und Döring (2010), S. 308). Hierzu zählen die fixen Abschreibungen, kalkulatorische Zinsen, Kfz-Steuer und Kfz-Versicherung, ggf. fixe Mautkosten, die Fahrerkosten sowie unter dem Begriff „sonstige fixe Kosten“ subsummierte Bestandteile wie Ladungssicherungsequipment oder Stellplatz- bzw. Garagenmieten. Folgend werden diese Positionen kurz erläutert und entsprechend beispielhaft kalkuliert.

Die Basis zur Kalkulation der *fixen Abschreibungen* bildet der bereits zuvor ermittelte Abschreibewert des Fahrzeuges. Unter Anwendung von Formel (1) (Seite 65) konnte für das Referenzfahrzeug ein Abschreibewert i. H. v. 96.140,- € ermittelt werden. Zur späteren Ermittlung von Tageskostensätzen werden zunächst die Jahreswerte als Berechnungsgrundlage gebildet. Hierzu wird wiederum die Hälfte des Abschreibewertes den fixen Kosten zugeordnet (Verteilung des anteiligen Abschreibewertes erfolgt im Verhältnis 50:50, siehe Seite 66), $\alpha_{\text{fix}} = 0,5$. Vor dem Hintergrund des anzuwendenden linearen Abschreibeverfahrens⁷⁴ wird abschließend der entsprechend anteilige fixe Abschreibebetrag zur Kompensation des zeitabhängigen Werteverzehrs gleichmäßig auf die geplante Gesamtnutzungsdauer der Fahrzeugkombination (im vorliegenden Beispiel sechs Jahre) verteilt. Nun lassen sich die fixen Abschreibungen wie folgt ermitteln:

Abschreibung_{fix} *Formel (3)*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Abschreibewert} * \alpha_{\text{fix}}}{\text{Nutzungsdauer}_{T-t_0}} \\ &= \frac{96.140 \text{ €} * 0,5}{6 \text{ Jahre}} \\ &= \mathbf{8.011,67 \text{ €/Jahr}} \end{aligned}$$

⁷⁴ Es wird explizit darauf verwiesen, dass eine degressive oder progressive Abschreibung in der Speditionskosten- und -leistungsrechnung nicht zur Anwendung kommt, da sich diese Abschreibungsvarianten nicht mit dem Durchschnittsprinzip und der damit verbundenen Zielsetzung einer kontinuierlichen Preisbildung vereinbaren lassen (vgl. Barwig und Hartmann (2013), S. 29). Für weiterführende Informationen zu Abschreibemethoden vgl. u. a. Haberstock und Breithecker (1998), S. 83 sowie Coenenberg, Fischer und Günther (2012), S. 92.

Auch im Bereich der fixen Abschreibungen ergeben sich bei alternativen Beschaffungsformen wie Leasing oder Miete Abweichungen vom dargestellten Verfahren. So ist anstelle der zeitabhängigen Abschreibung die Leasing- bzw. Mietrate anzusetzen, gleichzeitig entfallen die variablen Abschreibungen entsprechend der Erläuterungen von Seite 66. Dadurch ergeben sich bei Leasing und Miete erhöhte Fixkosten bei gleichzeitig verringerten variablen Kostensätzen.

Weiterhin sind *kalkulatorische Zinsen* sog. Kapitalkosten als Bestandteil der fixen Einsatzkosten zu ermitteln. Diese stellen den Gegenwert für den entgangenen Nutzen durch die Bereitstellung des Kapitals für betriebliche Zwecke dar (vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 97). In der Finanzbuchhaltung werden als Aufwand nur die tatsächlich gezahlten Zinsen für Fremdkapital verrechnet. In der Kostenrechnung müssen jedoch kalkulatorische Zinsen auf das gesamte betriebsnotwendige Kapital, auch auf das Eigenkapital⁷⁵ verrechnet werden (vgl. Haberstock und Breithecker (1998), S. 95). Die Grundlage zur Ermittlung der kalkulatorischen Zinsen bildet das durchschnittlich gebundene betriebsnotwendige Kapital, welches mit dem kalkulatorischen Zinssatz zu multiplizieren ist. Das betriebsnotwendige Kapital wiederum setzt sich aus dem durchschnittlich gebundenem betriebsnotwendigem Anlagevermögen zuzüglich des durchschnittlich gebundenen Umlaufvermögens, abzüglich des Abzugskapitals zusammen.

Bei der Bewertung des Anlagevermögens (also des Fahrzeuges) sind die Anschaffungskosten, nicht die Wiederbeschaffungskosten zu berücksichtigen, da sich die Zinszahlungen auf die tatsächliche Höhe der Kapitalaufnahme beziehen. Nach HABERSTOCK und BREITHECKER lassen sich für die Berechnung der kalkulatorischen Zinsen zwei Methoden unterscheiden. Bei der Restwertverzinsung werden die Zinsen vom kalkulatorischen Restwert am Ende der jeweiligen Abrechnungsperiode berechnet, die Zinsen nehmen im Laufe der Zeit mit den Restwerten entsprechend ab. Bei der Durchschnittswertverzinsung berechnet man die Zinsen vom halben Ausgangswert, da dieser während der Nutzungsdauer durchschnittlich im Unternehmen gebunden ist, die kalkulatorischen Zinsen bleiben im Laufe der Zeit also konstant (vgl. Haberstock und Breithecker (1998), S. 96). Da im Rahmen der Fahrzeugkostenkalkulation bei

⁷⁵ Nach HABERSTOCK und BREITHECKER verursacht das Eigenkapital zwar keine Zinszahlungen, aber einen Nutzenentgang, nämlich die Zinsen, die der Kapitalgeber bei anderweitiger Anlage hätte erzielen können. Man spricht an dieser Stelle auch von Opportunitätskosten als „Kosten“ der entgangenen Gelegenheit, gleichbedeutend mit entgangenen Gewinnen (vgl. Haberstock und Breithecker (1998), S. 95).

allen recherchierten Autoren letztgenannte Methode zum Einsatz kommt, können 50 % der Anschaffungskosten des Fahrzeuges (inkl. Reifenkosten) als durchschnittliche Kapitalbindung angesetzt werden, wenn man die linearen Abschreibungsbeträge jährlich zur Tilgung nutzt (vgl. Fiedler (2007), S. 76). Ist am Ende der Nutzungsdauer ein Restwerterlös zu erwarten, so muss der Durchschnitt aus dem Anschaffungswert und dem Restwert ermittelt werden (vgl. Barwig und Hartmann (2013), S.33). Das durchschnittlich gebundene Anlagevermögen der dargelegten Beispielkalkulation berechnet sich also wie folgt:

Ø geb. Anlagevermögen

Formel (4)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Anschaffungswert} + \text{Restwert}}{2} \\ &= \frac{106.000 \text{ €} + 15.900 \text{ €}}{2} \\ &= 60.950 \text{ €/Jahr} \end{aligned}$$

Das durchschnittlich gebundene Umlaufvermögen erfasst alle Kosten, die vom Zeitpunkt der Anschaffung bzw. des Einsatzes des Fahrzeugs bis zum Zahlungseingang für erledigte Aufträge vorfinanziert werden müssen (vgl. Bruhn et al. (2010), S. 217). In der Literatur werden zur Vereinfachung häufig pauschalisierte Erfahrungswerte, wie bspw. 500 €/t zGM bei eigener Werkstatt oder 200 €/t zGM bei vollständiger Fremdvergabe der Reparaturleistungen, zur Bestimmung des Umlaufvermögens benutzt (vgl. Fiedler (2007), S. 75). Die vorliegende Untersuchung folgt an dieser Stelle dem Autor WITTENBRINK und unterstellt 14.000 € vorzufinanzierendes durchschnittlich gebundenes Umlaufvermögen.

Um Doppelerfassungen der Zinskosten zu vermeiden, erfolgt im nächsten Schritt die Korrektur des betriebsnotwendigen Vermögens, um zinsfrei vorhandenes Fremdkapital, dem sog. Abzugskapital, welches in Form von Kundenanzahlungen oder Lieferantenkrediten existiert (vgl. L. Schubert (2013), S. 132 und Haberstock und Breithecker (1998), S. 98). Nach SCHUBERT sind jedoch Kundenanzahlungen für Transportdienstleistungen unüblich, sodass als Abzugskapital lediglich Lieferantenkredite verbleiben, die wiederum anteilig für jedes Fahrzeug zu ermitteln sind. Aufgrund der nach FIEDLER wiederum geringen Bedeutung der Zinslast des Umlaufvermögens für die Gesamtkalkulation

wird im weiteren Verlauf der Arbeit SCHUBERT folgend auf die Berücksichtigung von Abzugskapital verzichtet⁷⁶. Das durchschnittlich gebundene betriebsnotwendige Kapital beträgt also 74.950 €.

Die Höhe des anzusetzenden Zinssatzes kann sich nach FIEDLER wiederum an verschiedenen Faktoren orientieren. So besteht eine zunächst einfache Möglichkeit darin, die tatsächlichen Finanzierungskosten des Fahrzeuges (Kreditzins) anzusetzen, wobei durch häufige Mischfinanzierung mit Eigen- und Fremdkapital dieser Ansatz nicht immer Verwendung finden kann. Weiterhin kann eine im weitesten Sinne Mindestverzinsung angenommen werden, die wiederum auf der Investitionserwartung des Unternehmens für das investierte Kapital basiert. Letztendlich bieten die maximal zu erwirtschaftenden Zinserträge alternativer Anlageformen einen zu verwendenden Wert für die kalkulatorische Verzinsung des betriebsnotwendigen Kapitals (vgl. Fiedler (2007), S. 76). Insgesamt sollte also der Zinssatz, zu dem die Vermögenswerte vorfinanziert werden müssen, der angestrebten Gesamtkapitalrentabilität des Unternehmens oder eben zumindest dem Zinssatz für Fremdkapital am Kapitalmarkt entsprechen (Bruhn et al. (2010), S. 217). Da die Festlegung des kalkulatorischen Zinssatzes jedoch einer Vielzahl unternehmensindividueller Einflussfaktoren unterliegt, soll für die vorliegende Untersuchung ein Zinssatz von 7,6 %⁷⁷ zur Anwendung kommen.

Daraus resultieren letztendlich **kalkulatorische Zinsen** in Höhe von **5.696,20 €** je Jahr.

Zudem gehören *Steuern und Versicherungsbeiträge* zu den fixen Fahrzeugkosten. Sie fallen ebenfalls unabhängig vom Fahrzeugeinsatz an. Für Ressourcen des Ladungsverkehrs, die der hier unterstellten Schadstoffklasse EURO V entsprechen, fallen dabei Steuern für die ziehende Einheit i. H. v. 556,- € und für die gezogene Einheit i. H. v. 373,24 € an (vgl. KraftStG (2002), § 9, Absatz 1, Nr. 4a und Nr. 5 in Verbindung mit StVZO (2009) § 48, Anlage XIV Nr. 3.1.2. ff).

⁷⁶ Die Nichtberücksichtigung des Abzugskapitals im Rahmen der Fahrzeugkostenrechnung kann als vorherrschende Meinung in einschlägiger Literatur angesehen werden (Bruhn et al. (2010), S. 213; Wittenbrink (2011), S. 11; Müller und Klaus (2009), S. 32; Schmälter (2008), S. XII-8).

⁷⁷ Mittelwert aus 6 % bei Müller und Klaus (2009), S. 32; 8 % bei Bruhn et al. (2010), S. 213; 8,5 % bei Fiedler (2007), S. 81 und 9 % auf das Umlagevermögen sowie 6,5 % auf das Anlagevermögen bei Wittenbrink (2011), S. 41.

Bei den Versicherungen werden grundsätzlich fahrzeugbezogene und güterbezogene Versicherungen unterschieden. Fahrzeugbezogene Versicherungen sind dabei die Haftpflicht- und Kaskoversicherung. Zusätzlich fallen Beiträge für die Güterschadenhaftpflichtversicherung (vgl. Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) (1998) § 7a) an. Bedingt durch differierende Angebote der einzelnen Versicherer existieren keine allgemein gültigen Versicherungskosten. WITTENBRINK spricht allgemein von summierten Versicherungskosten i. H. v. ca. 4.000,- € - 6.000,- € jährlich und setzt anschließend insgesamt 6.500,- €/Jahr (5.600,- € Kfz-Versicherung und 900,- € Transportversicherung) im eigenen Kalkulationsmodell an (vgl. Wittenbrink (2011), S. 41). Die in der Literatur zu findenden Versicherungsprämien weisen dabei eine Bandbreite von 4.000,- € (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 33) bis hin zu 7.500,- € (vgl. Bruhn et al. (2010), S. 213) auf. Da jedoch ausschließlich WITTENBRINK konkrete Differenzierungen nach Kfz- und Transportversicherung vornimmt und auf die Herkunft der verwendeten Größenwerte verweist, folgt die vorliegende Arbeit eben diesem Autor. Für die Gesamtkalkulation sind somit jährlich Kosten i. H. v. **7.429,24 € für Steuern und Versicherung** zu berücksichtigen.

Die *Fahrerkosten* stellen einen der bedeutendsten Kostenblöcke der Fahrzeugeinsatzkosten dar. Sie setzen sich aus den Positionen der Bruttolöhne der Fahrer, dem Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung und den Spesen zusammen. Die Bruttolöhne von Berufskraftfahrern werden in der Literatur in einer Bandbreite von 26.000,- € jährlich (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 26) bis hin zu jährlich knapp 30.000,- € (Lorenz (2008), S. 284 und Fiedler (2007), S. 82) beziffert. Nach Analyse des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2013 betrug der mittlere Bruttoverdienst eines Kraftfahrzeugführers in Deutschland 28.862,- € jährlich, wobei dieser in den neuen Bundesländern bei nur durchschnittlich 22.039,- € jährlich (30.445,- € jährlich in den alten Bundesländern) lag (vgl. Statistisches Bundesamt (2013a), S. 517, S. 521 und S. 525) und somit einmal mehr die noch immer deutlich unterschiedlichen Gehaltsstrukturen im regionalen Vergleich unterstreicht.

Der für die vorliegende Beispielkalkulation veranschlagte Jahresbruttolohn wird der Analyse folgend mit 28.862,- € bemessen. Der Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung beträgt für das Jahr 2015 9,35 % für die Pflegeversicherung, 1,5 % für die Arbeitslosenversicherung, 7,3 % für die gesetzliche Krankenversicherung und 1,175 % für die Pflegeversicherung (vgl. Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern (2014)). Dazu kommen entsprechend der vom Gesetzgeber getroffenen Festlegung 0,15 % Insolvenzgeldumlage (vgl.

§ 360 SGB III) und der Beitrag zur gesetzlichen Unfallversicherung. Dieser wiederum ist abhängig von der Gefährklasse des Betriebes und nach SCHUBERT für den vorliegenden Untersuchungsfall mit 1,6 % zu berücksichtigen (vgl. L. Schubert (2013), S.134). Somit ergibt sich ein Arbeitgeberanteil von insgesamt 21,075 % des Bruttoverdienstes des Fahrers, der in die Kalkulation einbezogen werden muss. Entsprechend der in Kapitel 2.2.3.3. herausgearbeiteten Differenz zwischen der jährlichen Einsatzzeit eines Fahrers und der Einsatzzeit eines Fahrzeuges muss im Rahmen der Berücksichtigung von Urlaubs- und Krankheitszeiten ein Aufschlag auf die Personalkosten mit Hilfe eines Personal- oder Bemannungsfaktors kalkuliert werden. Mit Hilfe dieses Aufschlages werden die Mehrkosten berücksichtigt, die durch den personellen Mehraufwand entstehen, um das Fahrzeug tatsächlich ganzjährig zu betreiben. Der Personalfaktor beträgt im vorliegenden Beispiel 1,25 (zur Herleitung siehe Seite 55). Die bisher ermittelten Fahrerkosten werden mit dem Personalfaktor multipliziert.

Fahrerspesen oder Verpflegungsmehraufwendungen, als die freiwilligen Leistungen des Arbeitgebers, unterliegen bis zu einem vom Gesetzgeber bestimmten Höchstbetrag nicht der Sozialversicherungs- und Lohnsteuerpflicht. Die aktuellen Pauschalbeträge für Spesen in Deutschland betragen bei einer Abwesenheit von mehr 24 Stunden 24,00 € am Tag und bei Abwesenheit von weniger als 24 Stunden, jedoch mehr als acht Stunden, 12,00 € (vgl. Jansen und Durmann (2009), S. 112). Im Wochenmix des nationalen Fernverkehrseinsatzes (Fahrtbeginn am Montagmorgen und Rückkehr am Freitagabend) kann von einem Tagessatz an Spesen von täglich 19,20 €⁷⁸ ausgegangen werden. Insofern fallen auf ein Fahrzeug bezogen jährlich Kosten für Verpflegungsmehraufwendungen der Fahrer von 5.241,60,- € an. In der Summe resultieren für einen im nationalen Ladungsverkehr eingesetzten Fahrzeugeinsatz **Fahrerkosten** i. H. v. $28.862,- € * 1,21075 * 1,25 + 5.241,60 € = 48.922,43 €/\text{Jahr}$.

Sonstige fixe Einsatzkosten sind in der Literatur bspw. als Stellplatzmiete bzw. Mieten für Garagen oder Unterstellplätze beschrieben. FIEDLER setzt hierfür exemplarisch Jahreskosten i. H. v. insgesamt **1.000,- €** (je 500,- € für ziehende und gezogene Einheit) an (vgl. Fiedler (2007), S. 82), die innerhalb der vorliegenden Untersuchung zur Anwendung kommen.

Neben den Kosten für Fahrer und Fahrzeugbetrieb verursacht der Einsatz des Fahrzeuges auch Verwaltungs- und Dispositionskosten. Diese stellen die letzte

⁷⁸ Spesen am Montag: 12,- €; Spesen von Dienstag-Donnerstag je 24,- €; Spesen am Freitag: 12,- €

Hauptkostengruppe, die *fixen Fahrzeuggemeinkosten* dar. Die dieser Kosten-
gruppe zuzuordnenden Kosten entstehen zwar im Rahmen des Fahrzeug-
einsatzes, sind aber nicht ohne weiteres ursächlich einem bestimmten Fahr-
zeug zuzuordnen, müssen also im Controlling kostenrechnerisch den einzelnen
Fahrzeugen zugeschlüsselt werden (vgl. Fiedler (2007), S. 79).

Zur differenzierten Betrachtung der fixen Fahrzeuggemeinkosten werden in der
Literatur verschiedene Kostengruppen vorgeschlagen. Die vorliegende Arbeit
folgt an dieser Stelle den Autoren SCHUBERT sowie MÜLLER und KLAUS, die
ihrerseits Fahrzeuggemeinkosten in „Administrative, dem Fuhrpark zurechen-
bare Kosten (Dispositions-kosten)“ und „Unternehmensbezogene Gemein-
kosten“ differenzieren. Dabei zählen zu erstgenannter Kostengruppe die auf ein
Fahrzeug anteilig umgelegten Disponentengehälter inkl. den Beiträgen zur
Sozialversicherung und zusätzlicher Leistungen wie Weihnachts- und Urlaubsgeld.
Zur korrekten Verteilung der Dispositions-kosten auf die Fahrzeuge muss
neben den absoluten Kostenwerten die Anzahl der durch einen Disponenten
betreuten Fahrzeuge berücksichtigt werden (vgl. L. Schubert (2013), S. 134 und
Müller und Klaus (2009), S. 34). Da wiederum beide Werte in der Praxis starken
Schwankungen unterworfen sind, werden für die vorliegende Beispielkalkulation
die Werte von MÜLLER und KLAUS übernommen. Bei jährlichen Dispositions-
kosten je Disponent von 42.000,- €⁷⁹ und einer Anzahl von 35 Fahrzeugen je
Disponent verbleiben Dispositions-kosten von **1.200,- € je Fahrzeug und Jahr**.

Unternehmensbezogene Gemeinkosten setzen sich letztendlich aus den allge-
meinen Kosten für Verwaltung (Aufwendungen für Vertrieb, Personalverwal-
tung, Büromieten und Büroeinrichtungen sowie Material für die EDV usw.) und
den allgemeinen kalkulatorischen Kosten, also dem Unternehmerlohn und
einem Wagniszuschlag zusammen (vgl. Fiedler (2007), S. 79). Die dem einzel-
nen Fahrzeug zuzuordnenden Verwaltungskosten werden dabei über einen
Betriebsabrechnungsbogen (BAB) – Verteilschlüssel ermittelt und innerhalb der
Kalkulation mit einem prozentualen Zuschlagssatz oder mit einem festen Betrag
pro Lkw berücksichtigt (vgl. Eberhardt, Egger, und Weckbach (2013), S. 181).
Der kalkulatorische Wagniszuschlag soll das Risiko einer Unmöglichkeit des
Fahrzeugeinsatzes, z. B. durch Streikfolgen oder extremes Wetter, abdecken
und der kalkulatorische Unternehmerlohn bietet letztendlich die Möglichkeit, das
unternehmerische Risiko zu berücksichtigen (vgl. Fiedler (2007), S. 79).
Aufgrund der in Abhängigkeit der Unternehmensstruktur höchst unterschiedli-
chen Ausprägungsformen der jeweiligen Kostenwerte in der Praxis werden,

⁷⁹ 34.700,- € Jahres-Bruttogehalt zzgl. 21 % Arbeitgeberanteil

dem Autor SCHUBERT folgend, **10 % der bisherigen Fahrzeugeinsatzkosten insgesamt** für die **allgemeinen Verwaltungskosten** sowie den **kalkulatorischen Unternehmerlohn und kalkulatorische Wagnisse** angesetzt (vgl. L. Schubert (2013), S. 135). Somit ergeben sich im Kalkulationsbeispiel für eine im nationalen Ladungsverkehr eingesetzte Fahrzeugkombination im Einschichtbetrieb Fixkosten in Höhe von **87.579,93 €/Jahr**. Abschließend fasst Tabelle 6 die Ergebnisse der Fixkostenkalkulation noch einmal zusammen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Fixkosten

Kostenart	Höhe des Kostensatzes	Einheit
zeitabhängige Abschreibungen	8.011,67	€/Jahr
kalkulatorische Zinsen	5.696,20	€/Jahr
Steuern und Versicherung	7.429,24	€/Jahr
Fahrerkosten	48.922,43	€/Jahr
sonstige fixe Einsatzkosten	1.000,00	€/Jahr
Dispositionskosten	1.200,00	€/Jahr
Allg. Verwaltung, Unternehmerlohn, Wagnis	15.320,38	€/Jahr
Σ	87.579,92	€/km

Quelle: Eigene Darstellung

2.3.4. Gesamtkalkulation und Kennzahlen

Die herausgearbeiteten Kostenkennzahlen erlauben nun unter Zuhilfenahme der in Kapitel 2.2.3.3. erarbeiteten Produktivitätskennzahlen eine Gesamtkalkulation der Einsatzkosten. Diese ist in Tabelle 7 (Seite 78) noch einmal zusammengefasst dargestellt. Unter der Maßgabe, 124 215 km Jahresfahrleistung (siehe Seite 58) tatsächlich zu erreichen, ergeben sich für den Ressourceneinsatz im nationalen Ladungsverkehr also **Gesamtkosten i. H. v. 168.524,17 €**.

Für den weiteren Verlauf der Arbeit sind vor allem folgende, daraus ableitbaren Kostenkennzahlen von hoher Bedeutung. So bleibt festzuhalten, dass der Ressourceneinsatz insgesamt

- **Fixkosten i. H. v. 320,81 € je Einsatztag zzgl.**
- **variabler Kosten i. H. v. 0,652 € je Einsatzkilometer**

verursacht.

Schlägt man die Gesamtkosten noch einmal auf die maximal erreichbaren Fahrzeug-Gesamtkilometer (124 215) um, so sind weiterhin

- **Gesamtkosten i. H. v. 1,357 € je Einsatzkilometer**

als dritte wichtige Kennzahl des Ressourceneinsatzes im nationalen Ladungsverkehr zu berücksichtigen.

Abschließend muss jedoch noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die hier verwendete Beispielkalkulation vordergründig dem allgemeingültigen Nachweis der Funktionalität des im Rahmen der noch zu formulierenden Forschungshypothese vorgeschlagenen Lösungsansatzes dient, wofür der hier dargestellte zusammenfassende Charakter der Kalkulation hinreichend genaue Ergebnisse liefert. Abweichend davon muss jedes Transportunternehmen naturgemäß auf Basis der für das Unternehmen zutreffenden Wertdimensionen jede Kostenposition der Kalkulation selbst und individuell ermitteln. Abweichungen von den o. g. Kennzahlen sind bei unternehmensscharfer Betrachtung also durchaus möglich.



2. Abgrenzung und Charakterisierung des Untersuchungsraumes

Tabelle 7: Vollkostenkalkulation für den Ressourceneinsatz im nationalen Ladungsverkehr (Einschichtbetrieb)

Kostenkalkulation Ressourceneinsatz im nationalen Ladungsverkehr								
1	I. Kostenarten/Annahmen	Basisdaten	Textbezug	Kosten/ Jahr	Kosten/ Tag	Kosten/ km	(Benennung)	Anteil an den Gesamtkosten
2	Einsatztage/Jahr	273	S. 54					
3	Basisdaten Personal							
4	Fahrerlohn/Jahr	28.862,00	S. 73				€/Jahr	
5	Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung	21,075	S. 73				%	
6	Personalfaktor	1,25	S. 55					
7	Fahrerspesen/Einsatztag	19,20	S. 73				€/Einsatztag	
8	Basisdaten Fahrzeugbetrieb							
9	Anschaffungspreis Fahrzeug	106.000,00	S. 64				€	
10	Nutzungsdauer in Jahren	6	S. 65					
11	Restwert am Ende der Nutzung	15%	S. 65				% von Anschaffung	
12	Wiederbeschaffungswert	110%	S. 65				% von Anschaffung	
13	Laufleistung	124.215,00	S. 58				km/Jahr	
14	Kraftstoffverbrauch	33	S. 61				Liter/100km	
15	Kraftstoffpreis	1,27	S. 61				€/Liter (brutto)	
16	Verbrauch zus. Betriebsmittel	5%	S. 62				% vom Kraftstoffverbrauch	
17	Preis zus. Betriebsmittel	0,32	S. 62				€/Liter (brutto)	
18	Schmierstoffanteil	3%	S. 67				% der Kraftstoffkosten	
19	Reifenkosten (1. Satz)	4.800,00	S. 67				€	
20	Reifenlaufleistung	200.000,00	S. 67				km	
21	Reparatur und Wartung	0,0702	S. 68				€/km	
22	Abschreibungsanteil zeitabhängig	50%	S. 66					
23	Abschreibungsanteil nutzungsabhängig	50%	S. 66					
24	Umlaufvermögen	14.000,00	S. 71				€	
25	Zinssatz kalkulatorischer Zinsen	7,6%	S. 72				%	
26	Kfz-Steuer/Jahr	929,24	S. 73				€/Jahr	
27	Kfz-Haftpflichtversicherung + Kasko	5.600,00	S. 73				€/Jahr	
28	Transportversicherung	900,00	S. 73				€/Jahr	
29	Maut in Deutschland je km	0,156	S. 62				€/km	
30	Anteil mautpflichtiger Strecke	80%	S. 62				% an Gesamtstrecke	
31	Basisdaten Verwaltung/Disposition							
32	Dispositionsstellen	42.000,00	S. 75				€/Jahr	
33	Fahrzeuge/Disponent	35	S. 75				Fahrzeuge	
34	Sonstige allgemeine Verwaltungskosten	10%	S. 75				% der Fzg.-einsatzkosten	
35	II. Personalkostenkalkulation							
36	Fahrerlohn/Jahr		S. 73	28.862,00 €				
37	Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung		S. 73	6.082,667 €				
38	Fahrerlohn und Nebenkosten je Fahrer		S. 73	34.944,67 €				
39	Personalkosten nach Personalfaktor		S. 73	43.680,83 €				
40	Fahrerspesen		S. 73	5.241,60 €				
41	Summe Personalkosten			48.922,43 €	179,20 €	0,394 €		29,0%
42	III. Fixe-Fahrzeugkostenkalkulation							
43	Abschreibungskosten (fix)		S. 69	8.011,67 €	29,35 €			4,8%
44	Kalkulatorische Zinsen		S. 72	5.696,20 €	20,87 €			3,4%
45	Kfz-Steuer und -versicherung		S. 73	7.429,24 €	27,21 €			4,4%
46	Sonstige fixe Einsatzkosten		S. 75	1.000,00 €	3,66 €			0,6%
47	Summe der fixen Fahrzeugkosten			22.137,11 €	81,09 €	0,18 €		13,1%
48	IV. Variable-Fahrzeugkostenkalkulation							
49	Kraftstoffkosten		S. 61	43.860,317 €	160,66 €	0,353 €		26,0%
50	Kosten zus. Betriebsmittel		S. 62	553,378 €	2,03 €	0,0045 €		0,3%
51	Mautkosten		S. 62	15.502,032 €	56,78 €	0,125 €		9,2%
52	Reifenkosten		S. 67	2.981,160 €	10,92 €	0,024 €		1,8%
53	Schmierstoffkosten		S. 67	1.315,809 €	4,82 €	0,0106 €		0,8%
54	Reparatur- und Wartungskosten		S. 68	8.719,893 €	31,94 €	0,0702 €		5,2%
55	Abschreibungskosten (var.)		S. 66	8.011,67 €	29,35 €	0,0645 €		4,8%
56	Summe der variablen Einsatzkosten		S. 68	80.944,255 €	296,50 €	0,652 €		48,0%
57	V. Verwaltungs- und Dispositionsstellen							
58	Dispositionsstellen		S. 75	1.200,00 €	4,40 €			0,7%
59	Sonstige allgemeine Verwaltungskosten		S. 75	15.320,38 €	56,12 €			9,1%
60	Summe der Verwaltungs- und Dispositionsstellen			16.520,38 €	60,51 €	0,1330 €		9,8%
61	VI. Ergebnis Fahrzeugkalkulation							
62	Summe Personalkosten			48.922,43 €	179,20 €			29,0%
63	Summe der fixen Fahrzeugkosten			22.137,11 €	81,09 €			13,1%
64	Summe der variablen Einsatzkosten		S. 58/S. 68	80.944,255 €		0,652 €		48,0%
65	Summe der Verwaltungs- und Dispositionsstellen			16.520,38 €	60,51 €			9,8%
66	Gesamtkosten Fahrzeugeinsatz			168.524,17 €	617,30 €	1,357 €		100,0%
67	Fixkosten je Einsatztag				320,81 €			
68	Variable Kosten je Einsatzkilometer					0,652 €		

Quelle: Eigene Darstellung

3. Problemanalyse und aktuelle Handlungsansätze

3.1. Probleme im Umfeld der Ladungsverkehrsproduktion

Nachdem bereits im einleitenden Kapitel der vorliegenden Arbeit auf die Herausforderungen im Ladungsverkehrsmarkt aufmerksam gemacht wurde, beschäftigt sich das folgende Kapitel noch einmal intensiv mit den Hintergründen der aktuellen Wettbewerbs- und Ertragssituation nationaler Anbieter von Lkw-Ladungsverkehren. Dabei wurde und wird der deutsche Straßengüterverkehr insgesamt durch eine Reihe von Entwicklungen beeinflusst, die den Druck, vor allem auf Ladungsverkehrsanbieter steigen lassen. Diese Entwicklungen werden folgend unter der Subsummierung „äußere, vom Anbieter nicht zu beeinflussende Veränderungen im Umfeld des Marktes“ vorgestellt. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden daraufhin sog. „Strukturelle Probleme auf Basis des Zusammenwirkens der charakteristischen Merkmale des nationalen Ladungsverkehrs“, also anbieterseitig beeinflussbare Faktoren besprochen.

Als zentrales Charakteristikum des Ladungsverkehrsmarktes kann das sich Gegenüberstehen stetig steigender Kosten der Leistungserstellung auf Anbieterseite und die kaum auskömmlichen Frachtpreise, welche die Nachfrageseite bereit ist zu vergüten, hervorgehoben werden (vgl. exemplarisch Bollig (2013) und Bollig (2016b)). Die aktuelle „Marktbeobachtung Güterverkehr“ des BAG konstatiert dem Anbietermarkt eine weiterhin geringe Bereitschaft zur Investition zur Erweiterung des Laderaumangebotes und begründet dies vorrangig mit dem anhaltend niedrigen Niveau der Beförderungsentgelte. Folglich führe dies zu mehr Fremdvergabe an Unterfrachtführer – häufig aus Ostmittel- und Südosteuropa und dem Abbau bzw. der Andersnutzung des eigenen Fuhrparks (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015a), S. 26). Nach WALTHER sind die vielschichtigen Ursachen für den durch das BAG aufgezeigten Umstand nicht zuletzt in einer zusammengefasst als „feindliche Geschäftsumgebung“ bezeichneten Situation (vgl. Walther (2010), S. 11) zu suchen. Dabei stehen naturgemäß zunächst Veränderungen im Fokus, die seitens des Gesetzgebers veranlasst wurden und deren Effekte und Auswirkungen i. d. R. zu nicht beeinfluss- bzw. kompensierbaren Kostensteigerungen führten und führen.

Hierzu gehörten in mittelfristiger Vergangenheit vor allem die zusätzliche Besteuerung des Kraftstoffes ab dem Jahre 1999 mit der sog. **Energiesteuer**, die bis heute 0,4704 € je Liter Diesel beträgt und die sog. Ökosteuern i. H. v. 0,1534 € enthält und zu einem vorgegebenen Anstieg der variablen Kosten führte. Als weitere Besonderheit ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass zur Ermittlung der zu entrichtenden Mehrwertsteuer je Liter Diesel nicht allein der

Warenwert wie sonst üblich, sondern zusätzlich die Energiesteuer als Berechnungsgrundlage gilt (vgl. ExxonMobil Central Europe Holding GmbH (2015)).

Die Einführung der **streckenbezogenen Maut** im Jahre 2005 und die bis heute zahlreichen Anpassungen des entsprechenden gesetzlichen Rahmens⁸⁰ führten in einer gewissen Regelmäßigkeit zu weiteren extern vorgegeben Erhöhungen der variablen Kosten. Beispielhaft entsprach der Mautsatz für eine entsprechend in Kapitel 2.2.1. beschriebene Ressource der seinerzeit günstigsten Schadstoffklasse EURO V zur Einführung im Jahr 2005 0,10 €/km (vgl. Kerler (2004), S. 13) und beträgt heute 0,156 €/km (vgl. BFStrMG (2015), Anlage 1 zu § 3 Absatz 3). Selbst heute verfügbare EURO VI Fahrzeuge, die aufgrund der im Vergleich noch umweltschonenderen Abgastechnologie mit dem niedrigsten Mautsatz belegt sind, verursachen mit 0,135 €/km (vgl. BFStrMG (2015), Anlage 1 zu § 3 Absatz 3) im Vergleich zur günstigsten Mautkategorie im Jahr 2005 35 % Mehrkosten in diesem Bereich. Mit der Erhöhung der eigentlichen Mautsätze ging bis heute weiterhin eine regelmäßige Erweiterung des mautpflichtigen Streckennetzes einher⁸¹, die wiederum zur Erhöhung der variablen Kosten des Ressourceneinsatzes beiträgt. Nicht zuletzt ergibt sich aus den häufigen Anpassungen der Maut durch den Gesetzgeber nicht nur ein hoher Anpassungsaufwand seitens der Transportunternehmen im Hinblick nicht nur auf langfristige Verträge, auch ergeben sich durch kaum frühzeitig absehbare Umgruppierungen von Fahrzeugcharakteristika (Schadstoffklassen und Achsanzahl) langfristige Planungsunsicherheiten für Fuhrparkinvestitionen (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 165). Trotz der anzustrebenden 100%igen Weiterbelastung der Mautkosten an Auftraggeber gelingt dies vor allem Ladungsverkehrsanbietern meist nicht. 10-20 % der Mautkosten können von Transportunternehmen i. d. R. nicht an deren Kunden weiterbelastet werden (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 53 und Bundesamt für Güterverkehr (2005), S. 9 ff).

Zum 1. Mai 2006 wurde mit Änderung der VO (EWG) Nr. 3821/85 nach Artikel 3 Abs. 1 in Verbindung mit Artikel 1 weiterhin der **digitale Tachograph** verbindlich eingeführt. Seitdem müssen alle neu zugelassenen Fahrzeuge und Fahrzeugeinheiten, die der Güterbeförderung dienen und deren zulässiges Ge-

⁸⁰ Vordergründig die Mauthöheverordnung (MauthV), abgelöst seit 19. Juli 2011 vom Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG)

⁸¹ Letzte Ausdehnung der Mautpflicht auf weitere circa 1 100 Kilometer vierstreifige Bundesstraßen seit dem 1. Juli 2015, kommende Ausdehnung der Mautpflicht ab 1. Juli 2018 auf alle Bundesstraßen (für exakte Information vgl. TollCollect (2015b)).

samtgewicht 3,5 t übersteigt, mit dem digitalen Tachographen ausgestattet werden. Dabei handelt es sich um ein digitales Gerät, mit dem die Fahreraktivitäten doppelt gespeichert werden, in einem Massenspeicher im Gerät und auf Fahrerkarten (Chipkarten) (vgl. Rang (2006a), S. 16). Im Massenspeicher werden für einen Zeitraum von bis zu 365 Kalendertagen die für die Überwachung der Lenkzeitvorschriften relevanten Daten sämtlicher Fahrer und Zweitfahrer, die das betreffende Fahrzeug benutzt haben, minutengenau erfasst. Dabei geht es neben den Daten zur Fahreridentifizierung um Daten der Lenkzeiten, der sonstigen Arbeitszeiten, der Bereitschaftszeiten sowie der Zeiten der Fahrtunterbrechung und der Ruhezeiten. Zusätzlich werden alle Daten zur Fahreraktivität noch einmal fahrerbezogen auf der Fahrerkarte, die bei jeder Fahrt in den Tachographen eingelegt werden muss, für einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen gespeichert.

Folglich entstanden bei Einführung und Nutzung des neuen Kontrollgerätes zusätzliche Kosten auf Seiten der frachtführenden Unternehmen im Rahmen notwendiger Schulungsmaßnahmen der Fahrer im Umgang mit den Geräten, Schulungsaufwand bei Disponenten und Flottenmanagern im Sinne der neuen Regelungen und deren korrekten Anwendung, nicht zuletzt bei Datenmanagement, Speicherung und Dokumentation (vgl. Walther (2010), S. 19). Wesentlich weitreichendere kostenwirksame Folgen ergaben sich jedoch mit der Einführung des digitalen Kontrollgerätes in Wechselwirkung mit dem **Inkrafttreten der VO (EG) 561/2006** am 11. April 2007, durch welche die bis dahin geltenden EU-Sozialvorschriften eine Novellierung erfuhren. Weiter verschärfte die Situation die zum 1. September 2006 in **§ 21a** des deutschen **ArbZG umgesetzten Arbeitszeitrichtlinie 2002/15/EG**, durch welche der Fahrpersonaleinsatz für den Ladungsverkehrsunternehmer nun einerseits deutlich schwieriger und unflexibler gestaltbar wurde und es in dessen Konsequenz zu teils signifikanten Produktivitätseinbußen kommen kann (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 56) und zudem aufgrund der nahezu 100%igen Überprüfungsmöglichkeit das Risiko für Bußgeldzahlungen, auch bei unbeabsichtigten bzw. vom Fahrer nicht beeinflussbaren Überschreitungen stieg (vgl. Klaus et al. (2007)).

Die Änderungen des gesetzlichen Rahmens betrafen vor allem die Begrenzung der Wochenlenkzeit auf max. 56 h bei max. 90 h innerhalb einer Doppelwoche (zuvor waren bis zu 60 h Lenkzeit in einer Woche bei maximal 113 h Lenkzeit in der Doppelwoche erlaubt). Zusätzlich reglementiert § 21a (VI) des ArbZG die

wöchentlich zugelassene Arbeitszeit im 4-Monats-Mittel auf 48 h⁸² (zuvor waren bis zu 56,5 h wöchentlicher Arbeitszeit im Mittel erlaubt). Zwar fallen die Novellierungen beider Rechtsrahmen absolut gesehen augenscheinlich moderat aus, dennoch quantifizieren KLAUS, FISCHER und PROCKL die aus den o. g. Veränderungen resultierenden Kostensteigerungen mit 8,1 % im depotgebundenen Ladungsverkehr und 16,1 % im Trampverkehr (vgl. Klaus et al. (2007), S. 21)⁸³.

Zum Zweck der Verbesserung, insbesondere der Sicherheit im Straßenverkehr durch die Vermittlung besonderer tätigkeitsbezogener Fertigkeiten und Kenntnisse (vgl. BKrFQG (2008), § 1), gilt seit September 2009 das „Gesetz über die Grundqualifikation und Weiterbildung der Fahrer bestimmter Kraftfahrzeuge für den Güterkraft- oder Personenverkehr“, kurz **Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG)**. Dieses schreibt vor, dass Fahrerinnen und Fahrer, die gewerblichen Güterkraft- oder Personenverkehr auf öffentlichen Straßen durchführen und die ihre Fahrerlaubnis in den entsprechend relevanten Klassen nach dem 10. September 2008 (Personenverkehr) bzw. 10. September 2009 (Güterkraftverkehr) erworben haben, eine zusätzliche Qualifikation über den eigentlichen Führerschein hinaus benötigen. Sie wird erworben durch erfolgreiche Ablegung einer Prüfung bei der Industrie- und Handelskammer. Darüber hinaus besteht für alle Fahrerinnen und Fahrer, die eine entsprechende Fahrerlaubnis besitzen, die vor dem 10. September 2008 bzw. 10. September 2009 erteilt worden ist, die Pflicht zur Weiterbildung gemäß § 5 BKrFQG im Umfang von insgesamt 35 Stunden (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2016a)).

Die hier entstandene zusätzliche Kostenbelastung für den Ladungsverkehrsanbieter resultiert vor allem aus den zu tragenden realen Ausbildungskosten, aber auch aus zusätzlich entstandenen Ausfallzeiten des Fahrpersonals aufgrund notwendiger Freistellungszeiträume zur Teilnahme an entsprechenden Schulungsmaßnahmen (vgl. Walther (2010), S. 18 und Klaus et al. (2007), S. 9).

⁸² Zur Auswirkung der (Neu-)Regelung im Kontext der Wechselwirkung von wöchentlich maximal zul. Arbeitszeit und der wöchentlich ebenfalls restriktierten Lenkzeit auf die Produktivität des Ressourceneinsatzes im Ladungsverkehr vgl. Kapitel 2.2.3.3.

⁸³ Eine zeitgleich in Österreich erstellte Studie geht von 6,5 % Kostensteigerung im selbst entwickelten Szenario der Leistungserstellung „Schwerverkehr“ und von 9,1 % Kostensteigerung innerhalb der Leistungserstellungsart „nationaler Linienverkehr“ aus, vordergründig verursacht durch die Verkürzung der wöchentlichen Arbeitszeit auf 48 h (vgl. Kummer und Einbock (2007), S. 9 und S. 16).

Das am 16. August 2014 in Kraft getretene Gesetz zur Regelung eines allgemeinen Mindestlohns, das **Mindestlohngesetz (MiLoG)**, garantiert jeder Arbeitnehmerin und jedem Arbeitnehmer ab dem 1. Januar 2015 einen Mindestlohn. Dieser gilt für alle auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland tätigen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer i. H. v. 8,50 € je Zeitstunde als Lohnuntergrenze und trug zu weiteren Kostensteigerungen bei Personal- und Verwaltungsaufwendungen bei. Die Auswirkungen der neuen Gesetzgebung fielen zwar regional unterschiedlich aus, insgesamt wurden jedoch Kostensteigerungen bei den Personalkosten im nationalen Fernverkehr von durchschnittlich ca. 16,44 % und durch den erhöhten Dokumentationsaufwand eine Zunahme der Verwaltungskosten um ca. 1,98 %, jeweils im Vergleich zur Situation vor Einführung des MiLoG, analysiert (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015a), S. 1)⁸⁴.

Neben dem realen Anstieg an Produktionskosten durch zuvor genannte Maßnahmen, die aus wettbewerblicher Perspektive gesehen alle Marktteilnehmer gleichermaßen beeinflussen sollten, kam es jedoch in Folge der mit Verordnung 92/881/EWG des Rates vom 26. März 1992 verwirklichten Dienstleistungsfreiheit im Straßengüterverkehr, als eine der letztverbliebenen Deregulierungsmaßnahmen zur Liberalisierung des Europäischen Transportmarktes⁸⁵, zudem zu teils massiven wettbewerbsbeeinflussenden Effekten mit negativen Konsequenzen für nationale Anbieter von Transportdienstleistungen insgesamt und den hier betrachteten Ladungsverkehrsanbietern im Speziellen. So ist im Güterkraftverkehr die Kabotage, also der Güterverkehr zwischen zwei Orten eines (desselben) Staatsgebietes, dessen Verkehrsleistung von einem ausländischen Verkehrsunternehmen erbracht wird (vgl. Lorenz (2008), S. 36), seit 1. Juli 1998 für die 15 alten EU-Mitgliedsstaaten (EU 15) sowie für die EWR-Staaten Norwegen, Island und Liechtenstein freigegeben. Für die später der EU beigetretenen Länder, ausgenommen Slowenien, Malta und Zypern, galten zunächst sog. Übergangsfristen. Seit dem 1. Mai 2009 sind die Übergangsfristen für Transportunternehmen aus Polen, Ungarn, Estland, Lettland, Litauen, der Slowakei und Tschechien sowie seit dem 1. Januar 2012 die Übergangsfristen für Transportunternehmen aus Bulgarien und Rumänien erloschen (vgl. Bundesamt für

⁸⁴ Zukünftig ist von einer Anhebung des Mindestlohns auf 8,84 €/h ab dem 1. Januar 2017 auszugehen.

⁸⁵ Auf eine ausführliche Diskussion aller Deregulierungsmaßnahmen zur Liberalisierung des Europäischen Transportmarktes wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit verzichtet. Für weiterführende Informationen zu den verkehrspolitischen Maßnahmen zu Marktzugangs- und Kapazitätsregelungen im deutschen und europäischen Straßengüterverkehr vgl. Frerich und Müller (2004), S. 69 ff; Aberle (2009), S. 173 ff und Vahrenkamp (2011), S. 312.

Güterverkehr (2012), S. 2), am 30. Juni 2015 endete zudem das deutsche Kabotageverbot für Kroatien⁸⁶. Somit ist das **generelle Kabotageverbot innerhalb der EU aufgehoben**. Die Kabotage ist jedoch nur „zeitweilig“ erlaubt. In Artikel 8 der VO (EG) 1072/2009 wird die Zulässigkeit der Kabotage geregelt. Danach dürfen im Anschluss an eine grenzüberschreitende Beförderung nach vollständiger Entladung der Güter bis zu drei Kabotagebeförderungen innerhalb von 7 Tagen mit demselben Fahrzeug durchgeführt werden⁸⁷. Entsprechend der Ziele der EU-Kommission ist die komplette Freigabe der Kabotage im Rahmen des angekündigten neuen „Road Package“⁸⁸ zukünftig zu erwarten (vgl. Rauser (2014), S. 7).

Bereits im Vorfeld der beschlossenen Marktöffnung für Unternehmen aus den neuen Beitrittsländern prognostizierte man deutschen Straßengüterverkehrsunternehmen eine abnehmende Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich mit osteuropäischen Anbietern und eine entsprechend hohe Gefahr, bis dahin bestehende Marktanteile an eben diese zu verlieren. OTREMBA konstatierte bereits im Jahre 2004 Osteuropäischen Frachtführern große Chancen vor allem auf den internationalen Relationen (vor allem Deutschland – Osteuropa, aber auch zwischen anderen EU-Staaten), aber durchaus auch in beachtenswertem Maße im innerdeutschen Fernverkehr, Marktanteile zu Lasten nationaler Anbieter zu gewinnen (vgl. Otremba (2004), S. 229). Als überproportional am stärksten bedrohte Marktsegmente galten nach Einschätzung der Untersuchung Komplettladungsverkehre von Standardgütern im internationalen und nationalen Fernverkehr (vgl. Otremba (2004), S. 234). So offenbarte bereits OTREMBA's Untersuchung ein um ein Vielfaches höheres Lohnkostenniveau deutscher Straßengüterverkehrsunternehmen im Vergleich zu Wettbewerbern der neuen

⁸⁶ Angesichts der schwierigen Marktlage im Straßengüterverkehr befürworteten mehrere Transportverbände, das nach Eintritt Kroatiens in die EU zunächst für zwei Jahre geltende Kabotageverbot um weitere zwei Jahre bis einschließlich 30. Juni 2017 zu verlängern (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 147). Nachdem Deutschland festgelegt hatte, die Kabotage mit Kroatien zum 1. Juli 2015 freizugeben, haben zwischenzeitlich Belgien, Dänemark, die Niederlande und Österreich beschlossen, das bestehende Kabotageverbot mit Kroatien bis zum 1. Juli 2017 zu verlängern (vgl. Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLTV) (2015)).

⁸⁷ An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Wirksamkeit der nur „zeitweilig“ erlaubten Kabotagedurchführung seitens im jeweiligen Land ansässiger Marktteilnehmer aufgrund mangelnder Kontrolle und Kontrollierbarkeit in der öffentlichen Diskussion massiv bezweifelt wird (vgl. exemplarisch: Schneider (2015)).

⁸⁸ Als Road Package wird die grundlegende Gesetzgebung für den Straßengüterverkehr in der EU bezeichnet. Sie wurde erstmals am 14. November 2009 veröffentlicht (für weiterführende Informationen vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2016c)), eine Überarbeitung wird nicht vor Dezember 2016 erwartet (vgl. Cordes, Hassa, Gieße, und Spirkel (2016), S. 25).

Beitrittsländer, welches selbst durch eine attestierte doppelte Arbeitsproduktivität nicht zu kompensieren ist (vgl. ebena). Zwar konnte im Rahmen einer Untersuchung durch das Bundesamt für Güterverkehr zur Auswirkung der EU-Osterweiterung auf das deutsche Güterverkehrsgewerbe⁸⁹ eine „leichte Annäherung“ der Personalkosten westeuropäischer und mittel- bzw. osteuropäischer Wettbewerber festgestellt werden, dennoch quantifizierte man bereits zu diesem Zeitpunkt die Gesamtkostenunterschiede zwischen deutschen und polnischen bzw. tschechischen Wettbewerbern mit bis zu 25 % (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2006), S. 8). Die daraus resultierende Wettbewerbsintensität auf dem internationalen Markt veranlasste eine beträchtliche Anzahl an Unternehmen, sich zunehmend aus der grenzüberschreitenden Transportdurchführung zurückzuziehen, die Aktivitäten auf den nationalen Markt zu begrenzen. Gleichwohl wurde bereits zu diesem Zeitpunkt eine erhebliche Erhöhung des Wettbewerbsdrucks durch mittel- und osteuropäische Unternehmen nach der bereits abzusehenden Liberalisierung der Kabotage auf dem deutschen Binnenmarkt erwartet (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2006), S. 16).

Die aufgrund signifikanter Wettbewerbsnachteile gegenüber bisher zugelassenen Unternehmen aus den neuen Beitrittsländern bereits aus dem grenzüberschreitenden Verkehr auf den nationalen Markt zurückgedrängten deutschen Unternehmen gerieten weiterhin nicht nur durch die folgende Öffnung des Binnenmarktes selbst unter zunehmenden Druck, vielmehr ging mit der zusätzlichen Aufhebung der Übergangsfrist für rumänische und bulgarische Unternehmen eine erneute Verschärfung der kostenbedingten Wettbewerbsnachteile deutscher Unternehmen einher. Nach Analyse des Bundesamtes für Güterverkehr belaufen sich die Kostenvorteile rumänischer und bulgarischer Transportunternehmen auf einen Gesamtkostenvorteil von 30 % gegenüber nationalen Anbietern, was sich wiederum vordringlich auf vergleichsweise niedrige Personalkosten zurückführen lässt (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2012), S. 17). Nach BAG betragen die betrieblichen Gesamtkosten für einen rumänischen bzw. bulgarischen Kraftfahrer je nach Einsatz und Berufserfahrung insgesamt 1.400,- bis 1.600,- €/Monat. Im Rahmen der in Kapitel 2.3.4. vorgestellten Gesamtkalkulation ergibt sich allein durch den Ersatz der bisherigen Personalkosten auf nationalem Niveau i. H. v. 48.922,43 €/Jahr (Seite 78, Zeile 41) durch entsprechende Personalkosten für rumänische Wettbewerber i. H. v. 24.000,-

⁸⁹ Die Untersuchung bezog sich auf Auswirkungen des seit 1. Mai 2004 für Unternehmen aus den neuen EU-Mitgliedsstaaten vollständig geöffneten grenzüberschreitenden Verkehrsmarktes.

€/Jahr im Mittel (1.500,- €/Monat x 12 Monate x Personalfaktor⁹⁰) ein Gesamtkostenvorteil durch Personalkostendifferenzen von 17,2 % bzw. 0,23 €/km.

Aufgrund weiterer wettbewerbspolitischer Harmonisierungsprobleme, vor allem im Bereich Mineralöl- und Kraftfahrzeugsteuer (vgl. dazu ausführlich Aberle (2009), S. 178), kommt es zu weiteren marktstörenden Kostendifferenzen. Exemplarisch sei an dieser Stelle das ebenfalls durch das BAG thematisierte Niveau der Kraftstoffkosten in Rumänien und Bulgarien erwähnt. Die Kraftstoffpreise für Diesel ab Tankstelle lagen dabei im Jahr 2011 in Rumänien und Bulgarien um 0,24 bzw. 0,26 €/l niedriger als in Deutschland (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2012), S. 18-19). Moderne Sattelzugmaschinen verfügen heute über ein maximales Tankvolumen von 1 300 - 1 500 Litern⁹¹. Bei einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 33 l/100 km (siehe Seite 61) ist mit einer Tankfüllung eine Raumüberwindung von bis zu 4 500 km zu erreichen. Es ist also nicht auszuschließen, dass die im Anschluss an einen grenzüberschreitenden Transport erlaubte Anzahl Binnentransporte auf deutschem Gebiet unter ausschließlicher Nutzung von zuvor in Rumänien zu vergleichsweise niedrigeren Kosten beschafftem Kraftstoff durchgeführt werden⁹².

Setzt man folglich den Kraftstoffpreis innerhalb der Gesamtkalkulation (Seite 78, Zeile 15) um 0,25 €/l im Mittel herab, so ergibt sich ein weiterer Kostenvorteil von knapp 5 %. Langfristig ist zwar davon auszugehen, dass sich die jeweiligen Endpreise innerhalb der EU zumindest annähern, jedoch bleibt abzuwarten, ob eine tatsächliche Harmonisierung erreicht wird, liegt doch selbst im bereits 2004 der EU beigetretenen Nachbarland Polen der Dieselpreis noch immer ca. 16 Cent unter dem einheimischen Niveau (vgl. ADAC e.V. (2016)).

Insgesamt lässt sich anhand der Beispielkalkulation im Rahmen der dargelegten Merkmale ein **Gesamtkostenvorteil** der zur Erbringung von Transportdienstleistungen auf dem Binnenmarkt nun zugelassenen rumänischen bzw.

⁹⁰ Zur Vereinfachung wird der in Kapitel 2.2.3.3. hergeleitete Personalfaktor von 1,25 beibehalten. Bedingt durch den in Rumänien nur 21 Tage betragenden Mindesturlaub (vgl. Deutsch-Rumänische AHK (2013)) reduziert sich rein rechnerisch der Personalfaktor um wenige Punkte, was bei genauerer Betrachtung eine zusätzliche Reduktion der jährlichen Personalkosten zur Folge hätte.

⁹¹ Maximale Tankkapazität bei Sattelzugmaschinen nach Fabrikat: Scania: 1 500 Liter (vgl. Scania Deutschland GmbH (2016)), Mercedes Benz: 1 300 Liter (vgl. Daimler AG (2016)) und Volvo: 1 480 Liter (vgl. AB Volvo (2016b))

⁹² Beispielhafter Umlauf: Bukarest – Hamburg ca. 2 000 km + Hamburg – München ca. 800 km + München – Bukarest ca. 1 500 km = 4 300 km, mit 1 500 Litern in Bukarest getanktem Diesel zu bewältigen.

bulgarischen Unternehmen gegenüber deutschen Anbietern von **23 % bzw. 0,31 €/km** allein **durch Personal- und Energiekostenvorteile** ableiten.

Aufgrund der bestehenden kostenbedingten Wettbewerbsvorteile ist davon auszugehen, dass rumänische und bulgarische Güterkraftverkehrsunternehmen ihre Beförderungsleistung zu Frachtraten anbieten, die für deutsche Wettbewerber nicht kostendeckend wären (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2012), S. 22). Gleiches ist ebenso von Unternehmen der bereits genannten weiteren osteuropäischen Beitrittsstaaten zu erwarten.

Als Zwischenfazit bleibt festzuhalten, dass insbesondere deutsche Ladungsverkehrsanbieter in mittelfristiger Vergangenheit also nicht nur reale Steigerungen der eigenen Produktionskosten durch:

- Energiebesteuerung,
- streckenbezogene Maut und deren veränderte Modalitäten,
- Inkrafttreten der VO (EG) 561/2006, der umgesetzten Arbeitszeitrichtlinie 2002/15/EG in §21a ArbZG, in Verbindung mit der verbindlichen Einführung des digitalen Tachografen,
- Umsetzung der geforderten Maßnahmen nach Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) und
- Umsetzung der geforderten Rahmenbedingungen nach Mindestlohngesetz (MiLoG)

in deren Angebotskalkulation zu inkludieren hatten, gleichzeitig sorgte die Aufhebung des Kabotageverbotes innerhalb der EU dafür, einer Vielzahl an Wettbewerbsunternehmen, die aufgrund signifikanter Harmonisierungslücken (vor allem in Bezug auf differierende soziale Rahmenbedingungen) vergleichbare Dienstleistungen in weiten Teilen wesentlich kostengünstiger produzieren können, Zugang zum bis dahin geschützten Binnenmarkt zu verschaffen.

Aus verkehrspolitischer Sicht ist an dieser Stelle natürlich darauf hinzuweisen, dass die Liberalisierung des Verkehrsmarktes und die damit verbundenen Maßnahmen vordergründig als positiv zu bewertende Ziele verfolgen. Dabei sind in erster Linie die Überwindung der in Folge der staatlichen Marktregulierung des Straßengüterverkehrs aufgetretenen negativen Kosten- und Marktstrukturwirkungen zu nennen (vgl. dazu ausführlich Ihde (2001), S. 170 ff). Ein deformierter Markt, ineffiziente Prozesse auf Seiten der Anbieter und regulierungsbedingt überhöhte Angebotspreise galt es, durch die sukzessive Deregulierung und Liberalisierung des Marktes zu überwinden - was in weiten Teilen zunächst auch gelang. So konnte nach JÜRGENS, KEITEL und GERIG bspw. der spezifische

Energieverbrauch wie auch der Leerfahrtanteil des Straßengüterverkehrs bis 2010 im Vergleich zum Jahr 1998 in Folge des zunehmenden Wettbewerbs um je 25 % gesenkt werden (vgl. Jürgens, Keitel, und Gerig (2014), S. 57-60).

Mit dem Rückblick auf die Definition des Leistungsgegenstandes und der Beschreibung der Leistungserstellung im Ladungsverkehr (siehe Kapitel 2.2.1., Seite 36) wird der Mangel an Alleinstellungsmerkmalen im Hinblick auf das Dienstleistungscharakteristikum des einzelnen Anbieters deutlich. Ein einfaches Produkt (Ganzladung, unter Einsatz von nicht-spezialisiertem Equipment) im Rahmen eines einfachen Prozesses (Direktverkehr, ungebrochen) erbracht, ermöglicht eine seitens der Kunden uneingeschränkt vergleichbare Leistung, unabhängig von der Größe und Struktur des Anbieters. Nach MÜLLER und KLAUS ist der individuelle Anbieter, vor allem aber Kleinanbieter, die ihrerseits wiederum den Anbietermarkt im Ladungsverkehr dominieren (siehe Kapitel 2.2.2., Seite 45), aus Sicht des Auftraggebers deshalb leicht austauschbar. Zudem stehen die überwiegend klein- und mittelständisch strukturierten Anbieter meist ungleich größeren Auftraggebern gegenüber, zu denen ein deutliches Marktungleichgewicht besteht. In der Konsequenz führen diese Bedingungen dazu, dass Anbieter in „harter“ Weise um Kunden konkurrieren und eben dieser Wettbewerb nahezu ausschließlich über den Preis stattfindet (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 51). Die leichte Austauschbarkeit der Anbieter untereinander in Verbindung mit der Marktmacht der verladenden Wirtschaft, die eine Anbieterdifferenzierung i. d. R. ausschließlich nach den jeweiligen Angebotspreisen betreibt, ergeben in Korrespondenz zu den dargelegten kostenseitigen Wettbewerbsvorteilen ausländischer Unternehmen und deren nahezu uneingeschränktem Zugang selbst zum Binnenmarkt bisweilen zwei wesentliche Konsequenzen für den deutschen Ladungsverkehrsanbieter.

Einerseits lässt sich anhand der genannten Faktoren ableiten, dass sich Ladungsverkehrsanbieter in einer Situation des „harten“ Wettbewerbs befinden, der es sehr schwierig macht, die eigene Leistung zu auskömmlichen Preisen zu vermarkten (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 52). Eine sich daraus ergebende direkte Folge ist die als äußerst „angespannt“ beschriebene Ertragslage nationaler Anbieter, welche zuletzt nicht selten mit **einer Umsatzrendite von nur einem bis maximal drei Prozent** auskommen mussten (vgl. Cordes (2013); Cordes (2015a) und Bundesamt für Güterverkehr (2015a), S. 25).

Andererseits lässt sich eine zunehmende kundenseitige Substitution nationaler Anbieter durch günstiger produzierenden Wettbewerber aus dem Ausland anhand signifikanter Verschiebungen der jeweiligen Marktanteile feststellen.

So stieg das Beförderungsvolumen ausländischer Lkw im Jahr 2014 im Vergleich zum Vorjahr um 6,3 % (bei 6,0 % Leistungssteigerung), während bedingt durch ein deutlich gewachsenes Gesamtgüteraufkommen von plus 3,7 %, die Beförderungsleistung inländischer Unternehmen lediglich um 1,3 %, das Beförderungsvolumen dieser nur um 3,4 % stieg (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 55).

Betrachtet man dabei speziell die Kabotageverkehre, so ist eine Zunahme des Güteraufkommens von 12 % gegenüber dem Vorjahr (ebenso bei der Transportleistung) zu beobachten. Insgesamt stieg der Anteil von im Ausland zugelassenen Lkw an der gesamten Straßengüterverkehrsleistung in Deutschland auf mittlerweile knapp 40 % (vgl. ebenda).

Abbildung 12 (Seite 90) verdeutlicht noch einmal die Entwicklung und den ungebrochenen Trend der wachsenden Marktanteile gebietsfremder Unternehmen zu Lasten einheimischer Anbieter in den vergangenen Jahren. Lag der Marktanteil inländischer Unternehmen Mitte der 90er Jahre noch bei knapp 80 %, so ist er bis zum Jahr 2014 um gut 20 Prozentpunkte gesunken.

Die bereits im Jahre 2004 im Rahmen der Arbeit von OTREMBA prognostizierten Chancen osteuropäischer Frachtführer und die gleichzeitig beschriebenen Bedrohungen deutscher Unternehmen (vgl. Otremba (2004), S. 229) sind kaum fünf Jahre nach der ersten Aufhebung von Übergangsfristen zur Kabotagefreigabe für Osteuropa grundsätzlich und eindeutig nachweisbar.

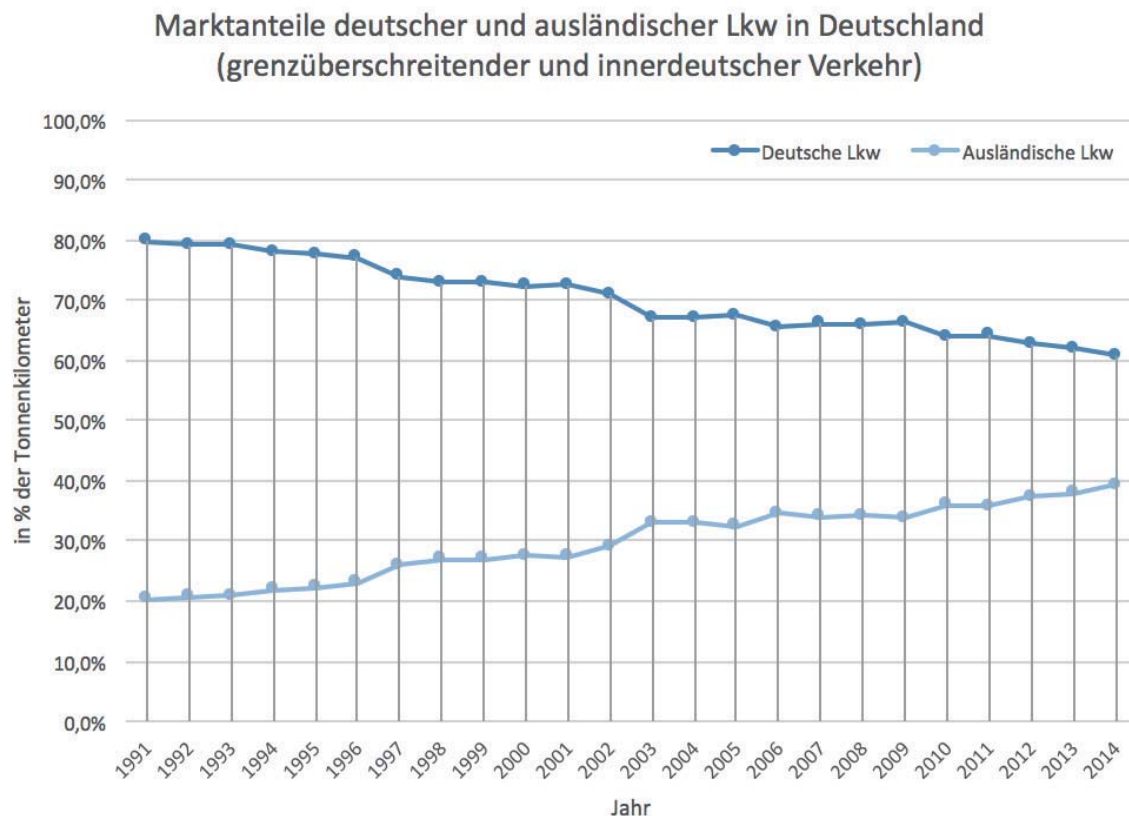


Abbildung 12: Marktanteile deutscher und ausländischer Lkw in Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015c) unter Nutzung der Daten aus Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d)

Die aktuelle Mautstatistik des BAG bestätigt diesen Sachverhalt. **40,1 % der in Deutschland erbrachten mautpflichtigen Fahrleistungen wurden im Jahr 2015 durch ausländische Fahrzeuge** erbracht (führend Fahrzeuge aus Polen mit einem Anteil von 13,6 %, aus Tschechien mit 4,3 %, aber auch aus Rumänien und Bulgarien mit 2,9 % bzw. 1,3 %), wobei eine Zunahme von 8,4 % im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen war (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2016b), S. 14). Während im Vergleich der Jahre 2013 und 2014 eine Anteilszunahme an der Gesamtfahrleistung ausländischer Fahrzeuge von 6,9 % verzeichnet wurde (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015), S. 11), ist nach aktueller Analyse zudem eine Verstärkung des Trends festzustellen.

So bedarf es einer grundsätzlichen Analyse der Effekte der Liberalisierung des Straßengüterverkehrs und des Marktes in seiner heutigen Form über die ursprünglichen Ziele und deren Erreichungsgrad hinaus. KNOFLACHER und FREY bspw. erkennen dabei nicht nur die beschriebenen Effekte auf den inneren Wettbewerb, also die Substitution nationaler Anbieter auf Basis ungleicher Randbedingungen, sondern auf Basis günstigerer Transportkosten als

Substitutionsfolge auch Wettbewerbsverzerrungen zwischen den Verkehrsträgern, die wiederum eine zunehmende Verlagerung von Gütertransporten zur Straße hin bewirkt und die angestrebten CO₂-Ziele nicht erreichen lässt (vgl. Knoflacher und Frey (2012), S. 29-32)⁹³. Zudem werden nachgelagerte Problemfelder wie die Möglichkeit des Sozial- und Lohndumpings bei gleichzeitiger Vernichtung inländischer Arbeitsplätze als Folge des liberalisierten Marktes diskutiert (vgl. dazu auch Bollig (2016a), S. 2).

Gestützt werden kann dieses Ergebnis durch die Ergebnisse der Transportpreisanalyse von JÜRGENS, KEITEL und GERING. So stiegen die realen Frachtpreise bis 2010 im Vergleich zum Jahr 1994 zwar um ca. 31 %, bereinigt um entsprechende Kostensteigerungen im gleichen Zeitraum durch Energiekostenerhöhung und Mautgebühren (siehe Seite 80), Personalkostensteigerungen und Inflation ergeben einen **neutralisierten Endwert der Frachtpreisbetrachtung, der um 25 % niedriger** ausfällt als im Bezugsjahr (vgl. Jürgens et al. (2014), S. 57-60).

Abgesehen vom kundenseitigen Wettbewerb der Ladungsverkehrsanbieter untereinander stehen diese seit mittelfristiger Vergangenheit in einem weiteren, nicht minder sich zunehmend verschärfendem Wettbewerb. Bereits 2009 stellten MÜLLER und KLAUS eine zunehmende **Konkurrenzsituation** der Anbieter **um Personalressourcen** fest und konstatierten vor allem dem Ladungsverkehr einen zunehmend eklatanten Fahrer- und Nachwuchsfahrermangel (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 54), der bis zum Zeitpunkt des Entstehens der vorliegenden Arbeit allgegenwärtig ist (vgl. exemplarisch: Bottler (2015c), S. 6). Zwar handelt es sich nach der aktuellen Fachkräfteengpassanalyse der Bundesagentur für Arbeit bei Berufskraftfahrern zunächst nicht um einen sog. Engpassberuf⁹⁴, zumindest werden diese im Rahmen der Studie nicht als Engpassberufe identifiziert (vgl. Bundesagentur für Arbeit Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung (2015)), jedoch zeigt eine Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln aus Dezember 2014 das Problem sehr deutlich. Danach waren von 535 800 sozialversicherungspflichtig beschäftigten Berufskraftfahrern im Jahr 2014 43 % älter als 49 Jahre (vgl. Bußmann und Seyda

⁹³ Die Analyse von KNOFLACHER und FREY bezieht sich zwar auf den österreichischen „Frächtermarkt“, die identifizierten Ergebnisse können jedoch als gleichbedeutend für Deutschland bzw. Mitteleuropa gelten.

⁹⁴ Von Engpass oder Problemen bei der Besetzung von Arbeitsstellen wird gesprochen, wenn die Besetzung freier Stellen deutlich länger dauert als „üblich“ bzw. als von den Betrieben für vertretbar gehalten wird oder wenn die Suche mangels Erfolgsaussichten ganz aufgegeben wird (vgl. Bundesagentur für Arbeit Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung (2015), S. 22).

(2014), S. 30). Mit gut 230 000 Berufskraftfahrern, die in den nächsten maximal 15 Jahren den Arbeitsmarkt verlassen werden, ergibt sich für diesen Beruf der höchste Ersatzbedarf der Studie. Nach Berechnungen des BAG waren 23,7 % der Berufskraftfahrer⁹⁵ (127 724) Ende 2014 der Altersgruppe 55-65 Jahre zuzuordnen, 1,8 % sogar 65 Jahre oder älter (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 7). Nach Schätzungen des BGL verlassen also in den nächsten fünf bis zehn Jahren jährlich ca. 30 000 Kraftfahrer und Kraftfahrerinnen altersbedingt den Arbeitsmarkt (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 93). Diesem Ersatzbedarf wiederum stehen nach BUßMANN und SEYDA aktuell nur 2 % (also knapp 10 700) sozialversicherungspflichtig beschäftigte Berufskraftfahrer im Alter unter 25 Jahren gegenüber (nach BAG 2,6 %, also 13 972 Fahrer). Mit 3 149 neuen Ausbildungsverträgen im Jahr 2014 war nach BGL zudem erneut ein leichter Rückgang neuer Ausbildungsverhältnisse zu verzeichnen, wobei Unternehmen bereits seit einigen Jahren mehr Ausbildungsstellen anbieten als Bewerber zur Verfügung stehen (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d), S. 93). Abbildung 13 stellt die beschriebene Altersstruktur der Berufskraftfahrer noch einmal grafisch dar.

Struktur der sozialversicherungspflichtig beschäftigten
Berufskraftfahrer, Stand: 31.12.2014, n = 538 010

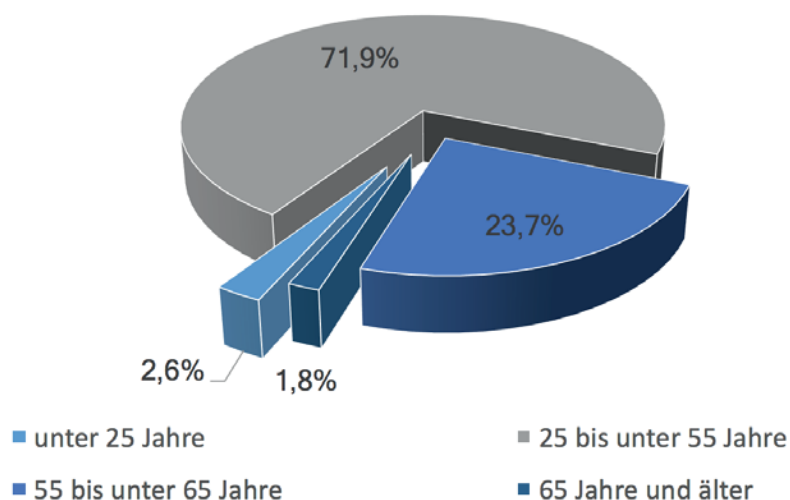


Abbildung 13: Struktur der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Berufskraftfahrer 2014

Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 7

⁹⁵ Die Analyse des BAG geht hier abweichend von BUßMANN und SEYDA von 538 010 sozialversicherungspflichtig beschäftigten Berufskraftfahrern aus (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 7).

Die Gründe für das sich hier verschärfende Problem sind vielschichtig. Einerseits sorgt die demografische Veränderung in Deutschland für einen allgemeinen Nachwuchsmangel in allen Berufen (im Jahre 2013 standen 7,47 Mio. Beschäftigte im Alter von 50-64 Jahren ca. 1,46 Mio. Beschäftigten unter 25 Jahren gegenüber (vgl. Bußmann und Seyda (2014), S. 13)), andererseits kämpft einmal mehr die Transport- und Logistikbranche zusätzlich mit Image- und Attraktivitätsproblemen, vor allem bei der Gewinnung von Nachwuchskräften.

Nicht zuletzt tragen vor allem im Bereich des Ladungsverkehrs teils lange Abwesenheitszeiten von zu Hause und unplanbare sowie ungünstige Arbeitszeiten maßgeblich zum schlechten Image des Berufszweiges bei (vgl. Lohre et al. (2014), S. 48 und Bundesamt für Güterverkehr (2015b), S. 10), die in einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) gar explizit als Quelle „sozialer Belastungen“ von Berufskraftfahrern beschrieben werden (vgl. Evers (2009), S. 34). Dies gilt nicht nur als Grund der mangelnden Begeisterung des Nachwuchses für den Beruf des Kraftfahrers, nur etwa 45 % der sich im Beruf befindlichen deutschen Kraftfahrer sind mit ihrer Tätigkeit hinreichend zufrieden, um sich bei erneuter Möglichkeit noch einmal für den Beruf zu entscheiden (vgl. Bundesamt für Güterverkehr (2014), S. 24).

3.2. Entwicklung und Bewertung von Handlungsstrategien

Die Suche nach möglichen Strategien, insbesondere den in Deutschland produzierten Ladungsverkehr innerhalb der genannten ungünstigen Rahmenbedingungen wieder erfolgreicher zu gestalten, soll auf einem abstrakten betriebswirtschaftlichen Niveau beginnen. Im Vordergrund steht dabei zunächst der unter 3.1. (Seite 79 ff) dargelegte Zusammenhang unauskömmlicher Frachtraten, beeinflusst durch kostengünstiger produzierende Wettbewerber aus dem Ausland und sich daraus ergebende geringe Renditen des Ressourceneinsatzes deutscher Anbieter.

Das betriebswirtschaftliche Handeln nach dem ökonomischen Prinzip verlangt eine Optimierung des Verhältnisses aus dem Produktionsergebnis und Produktionseinsatz wie folgt (vgl. Wöhe und Döring (2010), S. 34):

$$\begin{array}{lclcl} \text{Output(-menge)} & \times & \text{Güterpreis} & = & \text{Ertrag} \\ \text{Input(-menge)} & \times & \text{Faktorpreis} & = & \text{Aufwand} \\ & & & & \text{Ertrag} \\ & & & & - \text{Aufwand} \\ & & & & = \text{Erfolg} \end{array}$$

Für den Leistungsprozess im betrachteten Ladungsverkehr kann dabei als Output bzw. Ergebnis die Menge der erbrachten frachtpflichtigen⁹⁶ Kilometer gelten, die wiederum multipliziert mit der jeweiligen Frachtrate als Güterpreis den Ertrag bilden. Als Inputmenge des Leistungserstellungsprozesses sollen zusammengefasst die in Kapitel 2.3.4. ausführlich besprochenen Gesamtkosten auf Basis der Gesamtkilometerleistung⁹⁷ gelten, die wiederum den Ressourceneinsatz als Inputmenge monetär quantifizieren. Die Basis der Faktoranalyse im Hinblick auf die Beeinflussung des Gesamterfolgs sowie die anschließende Untersuchung der externen Beeinflussbarkeit einzelner Faktoren bildet für den vorliegenden Forschungsgegenstand also folgende Gleichung:

$$\text{Erfolg} = \text{Frachtrate} \times \text{Kilometerleistung}_{(\text{frachtpflichtig})} - \text{Gesamtkosten}_{(\text{Gesamtkilometerleistung})}$$

Daraus lassen sich im mathematischen Sinne drei grundlegende strategische Maßnahmen und deren Kombination ableiten, das Gesamtergebnis, also den Erfolg zu verbessern.

- Maximierung der Frachtraten
- Maximierung der frachtpflichtigen Kilometerleistung

⁹⁶ Exklusive (unbezahlter) Leerkilometer

⁹⁷ Inklusive (unbezahlter) Leerkilometer

- Minimierung der Gesamtkosten

Folgend werden die genannten Möglichkeiten nun differenziert auf Beeinflussbarkeit durch den Anbieter und mögliche Handlungsalternativen hin geprüft. Dabei stehen praktikable Lösungsansätze im Hinblick auf die zuvor ausführlich dargelegten Markt- und Anbietercharakteristika im Vordergrund der Untersuchung.

Eine **Maximierung der Frachtraten** erscheint vor dem Hintergrund der bereits beschriebenen schwachen Kundenbindung des einzelnen Ladungsverkehrsanbieters und der dargelegten Wettbewerbssituation als keine tatsächlich praktikable Strategie (vgl. dazu Seite 83 ff). Die Handlungsfähigkeit des „überwiegend kleinbetrieblich aufgestellten Anbieters“ gegenüber den „häufig ungleich größeren Auftraggebern“ ist nach MÜLLER und KLAUS im Sinne eines Marktungleichgewichts oder gar Abhängigkeitsverhältnisses nur äußerst beschränkt (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 50). Die bereits beschriebene Austauschbarkeit der Anbieter untereinander und der ausschließlich über den Preis stattfindende Wettbewerb lassen in Verbindung mit den zu günstigeren Konditionen produzierenden Osteuropäischen Wettbewerbern die Schlussfolgerung zu, dass Preisanpassungen bzw. eine Maximierung der Frachtraten zugunsten einer besseren Rendite und Maximierung des Erfolges nationaler Anbieter als lösungsstrategisches Instrument auszuschließen sind. Zwar steigen Frachtraten in der Folge von Kostensteigerungen bspw. durch die in der Vergangenheit kontinuierlich angestiegenen Energiekosten oder durch zyklisch auftretende Frachtraumknappheit zu Produktionsspitzenzeiten der Industrie, jedoch erfolgen solche Preisanpassungen i. d. R. maximal in Höhe der entsprechenden Kostenveränderung⁹⁸ und besitzen somit kaum Einfluss auf die letztendlich unbefriedigende Erlössituation (vgl. Cordes (2011a), Cordes (2011b) und Semmann (2016)). Zwar etablieren sich zunehmend Maßnahmen, die eine leistungs- und kostengerechte Preisermittlung und -verrechnung sicherstellen sollen, beispielhaft sei an dieser Stelle der „Dieselfloater“ genannt, also die Möglichkeit, Kostensteigerungen ohne Zeitverzug in der Preisgestaltung auch bei längerfristigen Vertragssituationen durch Indexierung, d. h. durch einen Energiekostenzuschlag in Form eines prozentualen Zuschlags auf den Transportpreis, berücksichtigen zu können (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 66).

⁹⁸ Nach einer Befragung von 196 vorwiegend kleinen und mittelständischen Speditionen durch das Beratungsunternehmen HWH schafften es in der Vergangenheit sogar nur etwa 30 % der befragten Unternehmen, selbst nachweisbare Kostensteigerungen vollständig im Preis umzusetzen (vgl. Cordes (2015b)).

Jedoch ergeben sich in Folge dessen Anwendung keine signifikanten Erfolgs- bzw. Renditezuwächse.

Eine Strategie zur **Minimierung der Gesamtkosten** steht einerseits ebenso im Widerspruch zu den bereits dargestellten Rahmenbedingungen, denen der derzeitige Leistungserstellungsprozess des Ladungsverkehrs, vordergründig geprägt durch nahezu kontinuierliche Kostensteigerungen (vgl. Seite 79 ff) unterliegt, wie die zuvor diskutierte Strategie einer Preisanpassung. Andererseits lohnt an dieser Stelle eine differenzierte Betrachtung der Minimierungsmöglichkeiten der Gesamtkosten im Sinne von Maßnahmen zur *direkten Beeinflussung einzelner Kostentreiber* und deren Auswirkung auf die Gesamtkosten als auch die Betrachtung des Potentials einer gewissermaßen *abgeleiteten Gesamtkostenveränderungen* durch eine positive Beeinflussung anderer Bezugsgrößen wie bspw. der Gesamtkilometerleistung des Ressourceneinsatzes.

Im Rahmen der Maßnahmenentwicklung zur direkten Beeinflussung einzelner Kostentreiber orientiert sich die allgemeine Diskussion daran, welche Kostenarten welchen Einfluss auf die Gesamtkosten ausüben. Ein Blick auf die in Kapitel 2.3. dargelegte Vollkostenkalkulation offenbart dabei einen hohen Anteil der Personalkosten (29 %) sowie einen noch höheren Anteil variabler Kosten für Energie, Betriebsmittel, Schmierstoffe und Wartung (insgesamt 32,3 %) an den Gesamtkosten. Insofern versprechen zielführende Maßnahmen zur positiven Beeinflussung der entsprechenden Kostentreiber eine positive Beeinflussung der Gesamtkostensituation in entsprechendem Maße. Nun ist auf Grundlage der zuvor diskutierten Situation des eklatanten Nachwuchs- und allgemeinen Fachkräftemangels und der zunehmend eingeschränkten Flexibilität im Rahmen des Personaleinsatzes (vgl. Kapitel 3.1.) der Spielraum für kosten-senkende Maßnahmen im Personalbereich augenscheinlich nicht gegeben, im Gegenteil, derzeit zählen die aktuellen Rahmenbedingungen im Personalbereich zu den größten Kostentreibern des Straßengüterverkehrs (vgl. Bottler (2015c)). Anders verhält es sich bei den variablen Fahrzeugkosten. Die Gesamtkalkulation offenbart eine stark ausgeprägte Abhängigkeit der Gesamtkostensituation von den Energiekosten, den Kosten für Kraftstoff und zusätzliche Betriebsmittel. Diese wiederum stellen das Produkt aus Kraftstoffpreis und der Verbrauchsmenge dar. Während die Beeinflussung des Kraftstoffpreises an

dieser Stelle aus der Maßnahmenentwicklung ausgeklammert werden kann⁹⁹, ergeben sich jedoch erhebliche Kostensenkungspotentiale bei der Betrachtung der Verbrauchsmenge.

Abbildung 14 zeigt die Simulationsergebnisse der Gesamtkostenkalkulation des vorgestellten Kostenmodells nationaler Ladungsverkehrsanbieter im Hinblick auf die Veränderung der Gesamt- und variablen Kosten in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauches bei sonst unveränderten Werten. Ausgehend von einem Kraftstoffverbrauch von 33 Litern je 100 km kann bei einem Dieselpreis von 1,27 € brutto eine Veränderung der Gesamtkosten von -1 % je einem Liter eingespartem Kraftstoff festgestellt werden. Die variablen Kostensätze folgen dem Kraftstoffverbrauch im Verhältnis von ca. 1 Cent/km Kostenreduktion je einem Liter Kraftstoffverbrauchsreduktion.

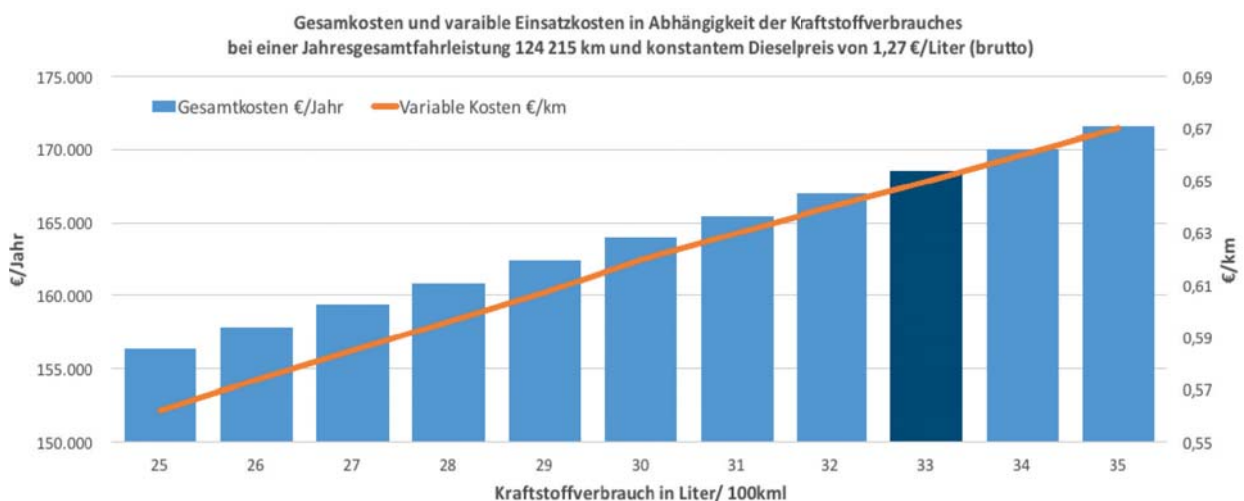


Abbildung 14: Gesamtkosten und variable Einsatzkosten in Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauches

Quelle: Eigene Darstellung

Auf Basis der vielversprechenden Ergebnisse der Simulation gilt es jedoch, Maßnahmen zu entwickeln, die entsprechende Kostensenkungspotentiale auch nutzbar machen. So können zunächst nach KRANKE, SCHMIED und SCHÖN drei Hauptfaktoren identifiziert werden, die den Energieverbrauch eines Lkw beeinflussen. Der Luftwiderstand, der Rollwiderstand und die Straßenlängs-

⁹⁹ Eine Beeinflussung des tatsächlichen Kraftstoffpreises ist nicht gegeben. Allerdings existieren Möglichkeiten, bspw. im Rahmen des Vorhandenseins einer Betriebstankstelle, durch entsprechend große Abnahmemengen von Preisnachlässen im Vergleich zum „Zapfsäulenpreis“ zu profitieren. Die vor allem durch Klein- und Kleinstanbieter geprägte Struktur speziell im hier untersuchten Ladungsverkehr lässt jedoch die Annahme zu, dass eigene Betriebstankstellen nur selten zur Verfügung stehen, sodass dieser Ansatz letztendlich keine allgemeingültigen Maßnahmen liefern kann.

neigung stellen die drei Kräfte dar, denen die Antriebskraft des Motors entgegenwirkt (vgl. Kranke, Schmied, und Schön (2011), S. 127). Während Topografie und Verkehrssituation in der Regel unveränderbar sind, bestehen bei Luft- und Rollwiderstand hingegen eine Vielzahl von Einflussmöglichkeiten.

WITTENBRINK beschreibt ausführlich Maßnahmen wie bspw. Spoiler und deren korrekte Einstellung zur Senkung des Luftwiderstandes, Möglichkeiten der richtigen Reifenwahl und vor allem des korrekten Luftdrucks zur Senkung des Rollwiderstandes sowie neben einer Vielzahl weiterer Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz innerhalb der Fahrzeugtechnik, insbesondere die Beeinflussung der Fahrweise des Fahrers durch gezielte Schulungsmaßnahmen (vgl. Wittenbrink (2011), S. 81 ff).

Weiterhin verweisen WITTENBRINK und auch KERLER auf weitere, wenn auch mit geringerem Gesamtkostensenkungspotential behaftete Möglichkeiten, einzelne Kostentreiber positiv zu beeinflussen. So bestehen im Rahmen der Beschaffung durch Bündelung von Einkaufsbedarfen und/oder Bildung von Einkaufsgemeinschaften Möglichkeiten, Einkaufsvorteile durch Mengendegression des Angebotspreises zu generieren (vgl. Wittenbrink (2011), S. 134 und exemplarisch E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016e)) oder aber im Rahmen der Wahl der richtigen Beschaffungs- und Finanzierungsvariante kostenoptimal zu agieren (vgl. Kerler (2008), S. 31 ff).

Zusammenfassend ist aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Veröffentlichungen zum Thema „Energieeffizientes Fahren“ oder der Reduktion von Fuhrparkkosten allgemein (vgl. exemplarisch: AB Volvo (2016a)) sowie dem breiten Angebot an Schulungsmaßnahmen für Fahr- und Fuhrparkpersonal (vgl. exemplarisch: Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2016)) letztendlich zu konstatieren, dass Maßnahmen und Strategien zur direkten Beeinflussung einzelner Kostentreiber bereits auf hohem Niveau vorhanden sind, entsprechend zum Einsatz gelangen und deren Ergebnisse im Rahmen der Ergebnisse der Problemanalyse bereits beinhaltet sind.

Nachdem also eine Anpassung der Frachtpreise und eine direkte Beeinflussung einzelner Kostenpositionen der Gesamtkalkulation von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden müssen, verbleibt als mögliche Strategie, eine Verbesserung der Erlös- und Renditesituation von Ladungsverkehrsanbietern herbeizuführen, eine **Gesamtkostenveränderung durch eine positive Beeinflussung der Bezugsgrößen** zu erreichen.

Hierbei steht im Sinne der Bezugsgröße das zuvor ebenfalls herausgearbeitete Instrument der **Maximierung der frachtpflichtigen Kilometerleistung**, also die Maximierung der Produktivität des Ressourceneinsatzes (hier vordergründig des Fahrzeugeinsatzes) im Vordergrund. Der Fokus der Analyse liegt dabei auf der bereits in Kapitel 2.2.3.3. dargelegten unbefriedigenden zeitlichen Auslastungssituation des eingesetzten Equipments. Während auf Basis der möglichen Einsatztage ein Auslastungsgrad von 91 % erreicht wird, so konnte im Kontext des täglichen Fahrereinsatzes im vorherrschenden Einschichtbetrieb eine zeitliche Auslastung von lediglich 43,6 % festgestellt werden.

Daraus ergab sich unter günstigsten Bedingungen eine maximal zu erreichende tägliche Gesamtkilometerleistung i. H. v. 455 (siehe Seite 58). Der im Untersuchungsfeld vorherrschende und bereits von WALTHER sowie MÜLLER und KLAUS kritisierte Personaleinsatz im Einschichtverfahren (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 41; Walther (2010), S. 5) sowie die sich daraus ergebende weit verbreitete enge Fahrer-Fahrzeug-Bindung verhindern, wie bereits dargelegt, eine intensivere Nutzung des eingesetzten „Materials“ über die durch den Gesetzgeber restriktierte Einsatzzeit eines Fahrers hinaus. Im Sinne der angestrebten positiven Beeinflussung der Gesamtkostensituation durch eine entsprechend maximierte frachtpflichtige Kilometerleistung wird nun davon ausgegangen, durch eine Verteilung der Fahrzeugfixkosten auf (bis zu zweimal) mehr Einsatzkilometer, eine insgesamt günstigere Gesamtkostensituation trotz der voraussichtlichen Notwendigkeit eines entsprechend kostenwirksamen zweiten Fahrers zu erreichen.

Gelänge es also, die bisherige Fahrer-Fahrzeug-Bindung zu lösen, das Fahrzeug durch verschiedene Fahrer bedienbar zu machen, so ist entsprechend Abbildung 15 (Seite 100) unter optimalen Bedingung eine zeitliche Auslastung des Fahrzeuges von bis zu 81,8 % denkbar. Dies setzt jedoch neben dem sequentiellen Einsatz der Fahrer weitere Maßnahmen zur Reduktion von arbeitszeitrelevanten Tätigkeitsbestandteilen, die wiederum keine Lenkzeit darstellen, voraus. Im dargestellten Best-Case-Szenario beträgt die maximale tägliche Kilometerleistung bei gleicher unterstellter Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h nun 1 170 km¹⁰⁰. Selbst eine angenommene reine Verdopplung des IST-Zustandes von heute maximal sieben täglich verfügbaren Lenkzeitstunden auf 14 h könnte eine zeitliche Auslastung des Fahrzeuges von 63,6 % bewirken.

¹⁰⁰ Möglicherweise ist im Mehrschichtbetrieb gar von einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit auszugehen, da ein erheblicher Teil der Gesamtkilometerleistung voraussichtlich in Tagesrandlagen und in der Nacht erbracht wird.

Zeitliche Maximalauslastung des Ressourceneinsatzes im Vergleich verschiedener Schichtmodelle

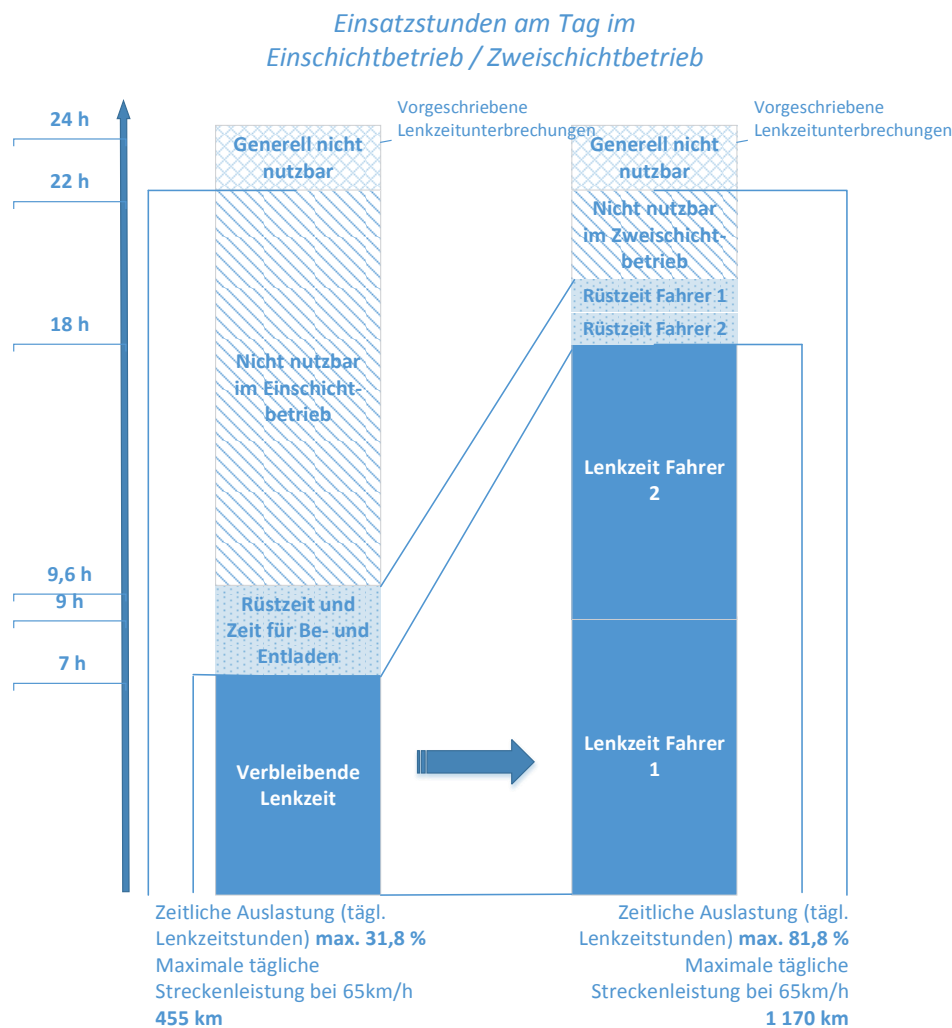


Abbildung 15: Zeitliche Maximalauslastung des Ressourceneinsatzes im Vergleich verschiedener Schichtmodelle

Quelle: Eigene Darstellung

Die Theorie der positiven Beeinflussung der Gesamtkostensituation geht nun davon aus, näherungsweise in beiden Schichtmodellen ähnliche Fixkosten des Fahrzeuges auf wesentlich mehr Einsatzkilometer verteilen zu können. Unterstellt man daraufhin vereinfacht in beiden Modellen gleichbleibende Fixkosten des Fahrzeuges bei einer gleichzeitigen Verdopplung der Personalkosten (hier durch Anpassung des Personalfaktors, Zeile 6 der Vollkostenkalkulation, siehe Seite 78) und keiner weiteren Veränderung anderer Kostenpositionen, so ergibt sich in Abhängigkeit der jeweils erreichbaren Gesamtkilometerleistung (Veränderung in Zeile 13 der Gesamtkalkulation) ein in Abbildung 16 (Seite 101) dargestellter absoluter und satzbezogener Gesamtkostenverlauf. Vorbehaltlich noch anzustellender Untersuchungen im Hinblick auf das detaillierte Verhalten eines jeden einzelnen Kostenfaktors bei der Veränderung des Schichtmodells

3.2. Entwicklung und Bewertung von Handlungsstrategien

und einer daraufhin zu erwartenden exakten Kalkulation des Mehrschichtmodells, ist vorab ein enormes Potential einer Reduktion der satzbasierten Gesamtkosten festzustellen. Im Rahmen der (Grob-)Simulation der Kostenentwicklung sinken die Gesamtkosten je Kilometer **von aktuell 1,357 € im Einschichtbetrieb** bei einer maximalen Tagesfahrleistung von 455 km (siehe Seite 58) bereits bei einer unterstellten Tagesfahrleistung von 910 km in Folge der durch einen zweiten Fahrer ermöglichten Tageslenkzeit von **14 h auf 1,195 €/km**. Dies entspricht unter sonst vergleichbaren Rahmenbedingungen einem Reduktionspotential von 16,2 Cent pro Kilometer, d. h. 12 % des aktuellen Kostenvolumens.

In Anbetracht des zunächst geschätzten und später valide zu quantifizierenden Potentials der Produktivitätserhöhung des Ressourceneinsatzes und der dadurch ermöglichten Maximierung der Gesamtfahrleistung sowie der daraus wiederum resultierenden positiven Gesamtkostenveränderung, ist eine Implementierungsstrategie und Weiterentwicklung dieses Ansatzes weiter zu fokussieren.

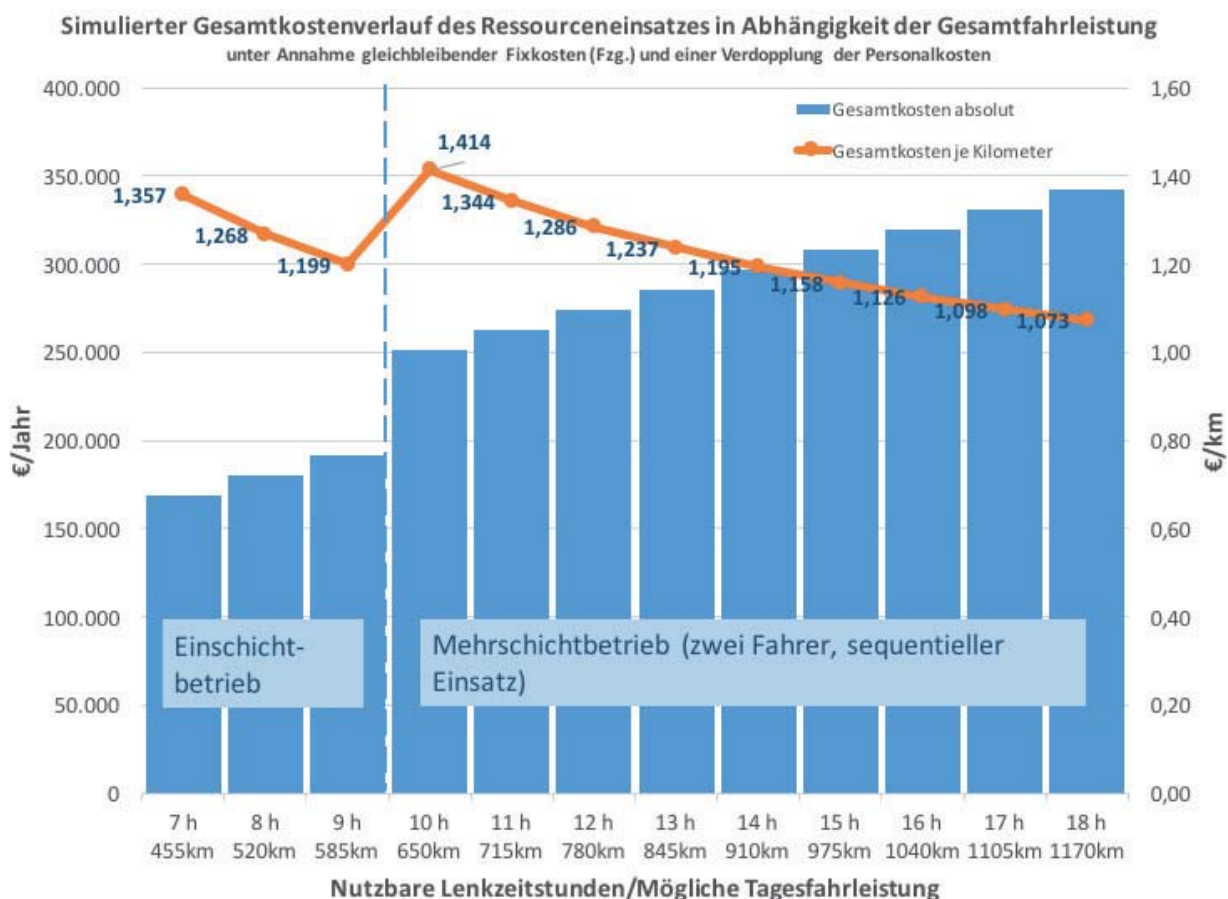


Abbildung 16: Simulierter Gesamtkostenverlauf des Ressourceneinsatzes in Abhängigkeit der Gesamtfahrleistung

Quelle: Eigene Darstellung

Zum Abschluss der Bewertung alternativer Lösungsstrategien muss noch einmal differenziert auf die bereits identifizierte zielführende Maßnahme der Produktivitätserhöhung des Ressourceneinsatzes im Sinne der Maximierung der frachtpflichtigen Gesamtfahrleistung des eingesetzten Fahrzeuges eingegangen werden. Vor dem Hintergrund, dass eine alleinige Maximierung der möglichen Gesamtfahrleistung zunächst zwar die Grundlage der diskutierten Optimierungen schafft, jedoch nur dann auch tatsächlich zum Erfolg verhelfen kann, wenn möglichst vielen der gefahrenen bzw. zu fahrenden Kilometer auch entsprechende Erlöse entgegenstehen. Da die Höhe des Erlöses in Form des absoluten Frachtpreises als nicht zu beeinflussen charakterisiert wurde (siehe Seite 95), bleibt weiter zu prüfen, inwieweit die Auslastungssituation außerhalb der bereits behandelten zeitlichen Auslastung positiv beeinflussbar ist. Wie bereits in Kapitel 2.2.3.3. ausgeführt, stehen nach ABERLE neben der zeitlichen Auslastung, die volumen- bzw. gewichtsmäßige Auslastung und die Entfernungsauslastung als quantitatives Instrument zur Bewertung des Verkehrsmiteinsatzes zur Verfügung (vgl. Aberle (2009), S. 235).

Da die vorliegende Arbeit insgesamt die Maßnahmenentwicklung zur Optimierung des entsprechend Kapitel 2.2.1. charakterisierten *Komplettladungsverkehrs* fokussiert (der Teilladungsverkehr als Anwendungsfall des Ladungsverkehrs ist von der Untersuchung zwar nicht ausgeschlossen, steht jedoch auch nicht im Vordergrund), ist davon auszugehen, dass eine größtmögliche Volumen- und/oder Gewichtsauslastung im Rahmen der Charakterisierung des Leistungsgegenstandes „Komplettladung“ gegeben ist. Maßnahmen zur Verbesserung eben dieses Auslastungsgrades sind deshalb vor allem im Bereich der Konfiguration und Ausstattung der Ressource Fahrzeug zu finden. So ermöglichen bereits heute moderne Volumenaufbauten eine entsprechende Erhöhung der Volumenauslastung (vgl. exemplarisch: Kögel Trailer GmbH & Co.KG (2016)) sowie Fahrzeuge und Aufbauten, die durch spezielle Leichtbauverfahren ein reduziertes und nutzlastoptimiertes Eigengewicht besitzen, die gewichtsmäßige Auslastung zu erhöhen (vgl. exemplarisch: Berger Fahrzeugtechnik Ges.m.b.H. (2016)).

Darüber hinaus stellt aber die Entfernungsauslastung, also das Verhältnis der Fahrzeuglastkilometer zu den Gesamtkilometern eine weitere zu optimierende Größe dar. Der Begriff „Lastkilometer“ beschreibt dabei gleichbedeutend zum zuvor verwendeten Begriff des „frachtpflichtigen“ Kilometers den Anteil der Gesamtstrecke, auf dem entsprechende Erlöse generiert werden. Umgekehrt lässt sich die hieraus abzuleitende Problemstellung als „Minimierung des Leerfahrtanteils“ formulieren. Da bereits in Kapitel 2.2.3.3. (Seite 51 ff) auf ein Defizit

im Hinblick auf die Entfernungsauslastung des Ladungsverkehrs ausführlich hingewiesen wurde bzw. diese zudem als Erfolgsfaktor des am häufigsten vorzufindenden Geschäftsmodells, dem Trampverkehr, identifiziert werden konnte (siehe Seite 48), ist in Anbetracht eines noch eingehend zu quantifizierenden Potentials der strategische Ansatz der Erhöhung der Produktivität des Ressourceneinsatzes in Form der Maximierung der Entfernungsauslastung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ebenfalls zu fokussieren. Abschließend werden in Abbildung 17 die Ergebnisse der Analyse möglicher Lösungsansätze noch einmal zusammengefasst dargestellt.

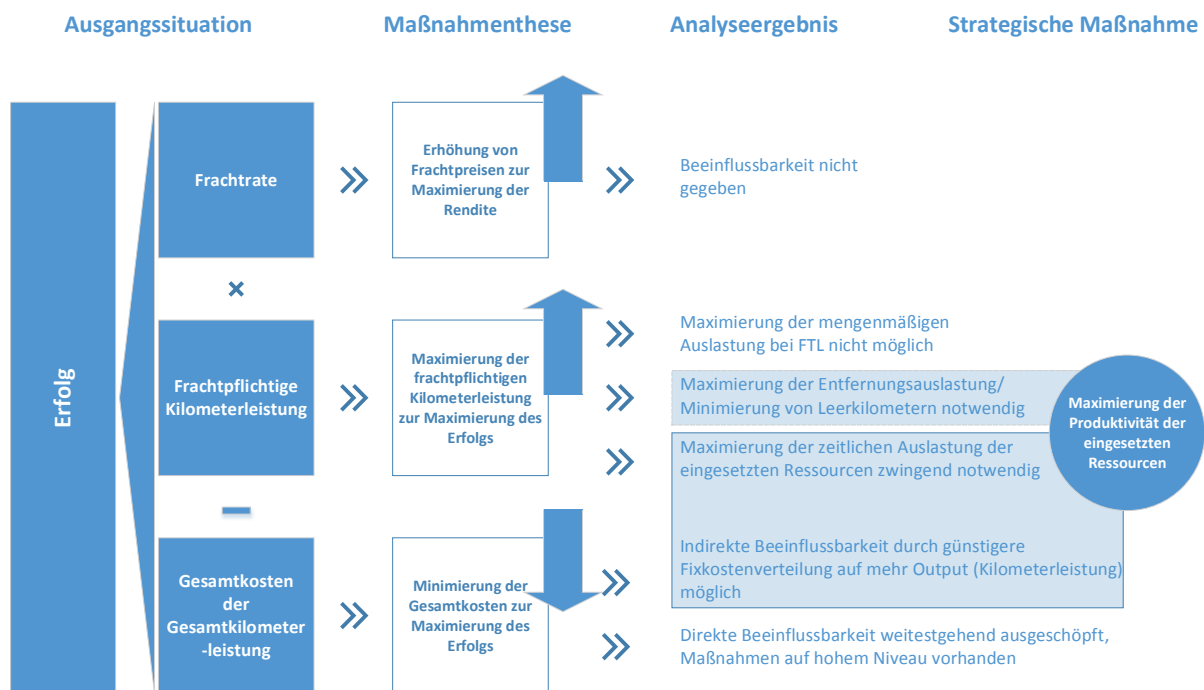


Abbildung 17: Übersicht zur strategischen Maßnahmenentwicklung

Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt versprechen die herausgearbeiteten Ansätze also nicht nur eine Möglichkeit, bei entsprechender Umsetzung zuvor dargelegte Defizite auf Basis von aktuellen Harmonisierungslücken im liberalisierten Marktumfeld abzuschwächen, sondern vielmehr auch bei fortschreitender Harmonisierung perspektivisch Wettbewerbsvorteile durch einen Innovationsvorsprung im nationalen Anbietermarkt zu generieren.

3.3. Aktuelle Lösungsansätze in Praxis und Literatur

Nachdem eine Maximierung der Produktivität des Ressourceneinsatzes nun also als zielführende Strategie zur Erfolgsmaximierung nationaler Ladungsverkehrsanbieter formuliert werden konnte, muss folgend hinterfragt und analysiert werden, welche Handlungsalternativen existieren, diese Maßnahme(n) operativ umzusetzen und welche Randbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung notwendig sind.

Die Ergebnisse der diesbezüglichen Recherche in Praxis und Literatur werden folgend vorgestellt und erläutert, woraufhin abschließend die entsprechende, der vorliegenden Arbeit zugrundeliegende Forschungslücke identifiziert werden kann. Zunächst gibt Abbildung 18 (Seite 105) einen Überblick über die derzeit vorstellbaren Möglichkeiten, die Produktivität des Ressourceneinsatzes durch Erhöhung der jeweiligen Auslastungsebenen nach ABERLE (siehe 2.2.3.3., Seite 51) insgesamt zu maximieren. Um einen umfassenden Überblick zu gewährleisten sind dabei neben möglichen Maßnahmen zur Erhöhung der unmittelbar im Vordergrund der Untersuchung stehenden *zeitlichen Auslastung* sowie zur positiven Beeinflussung der *Entfernungsauslastung* auch noch einmal die für den Komplettladungsbereich nachgelagert relevanten *Mengenauslastungsoptionen* aufgeführt.

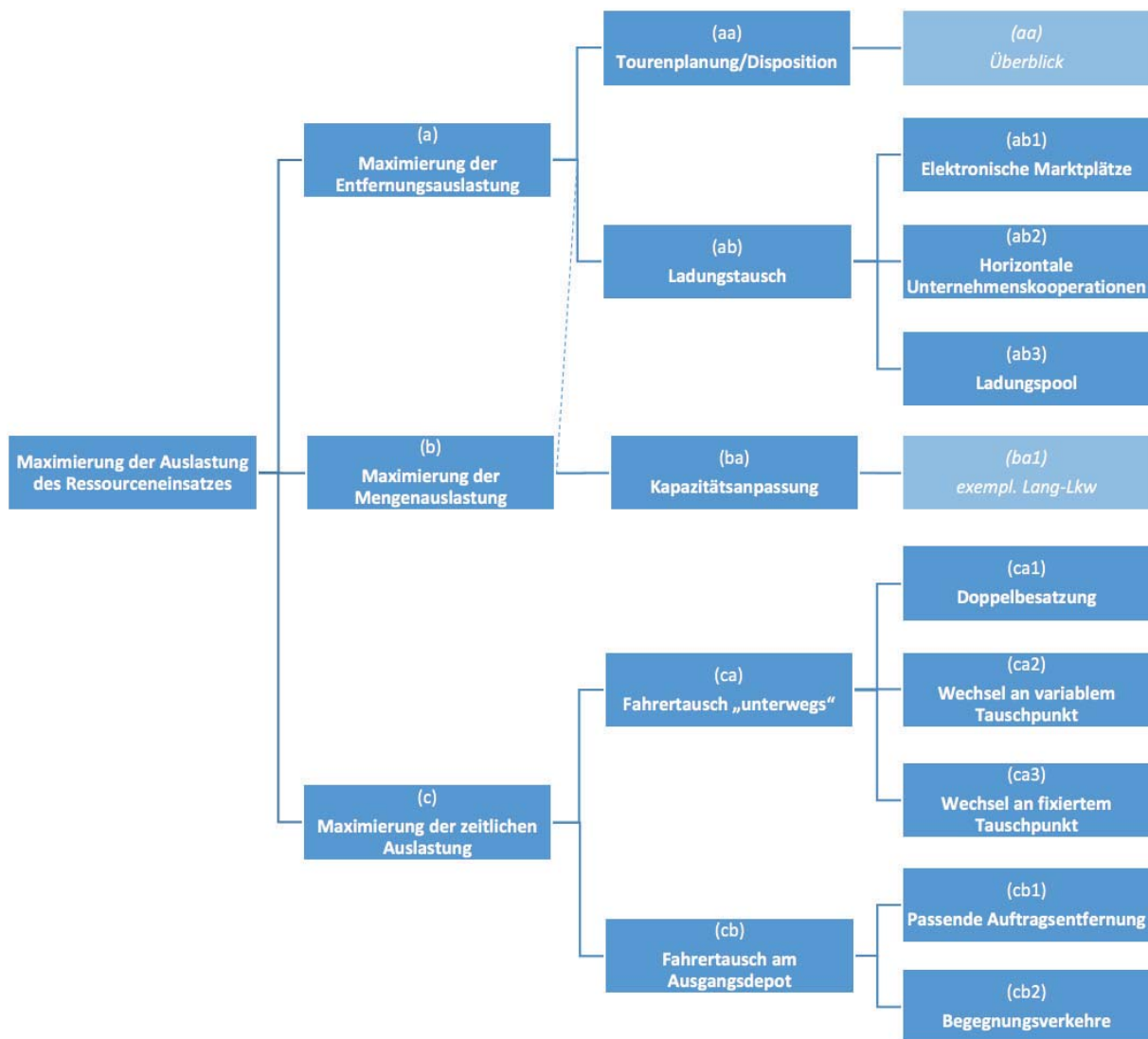


Abbildung 18: Handlungsalternativen zur Auslastungsmaximierung des Ressourceneinsatzes im Ladungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Auf die dargelegten alphanummerisch strukturierten Einzelmaßnahmen wird im weiteren Verlauf des Kapitels chronologisch eingegangen. Dabei sollen der Grad der wissenschaftlichen Bearbeitung und entsprechende praktische Anwendungserfolge oder aber deren Hemmnisse aufgezeigt werden.

3.3.1. Handlungsoptionen zur Maximierung der Entfernungs- und/oder Mengenauslastung

Zur **Tourenplanung (aa)** oder auch der Fahrzeugdisposition als zusammenfassende Begriffe zur Beschreibung eines ausgedehnten Themenfeldes zur

Entwicklung von Handlungsalternativen zur Maximierung der Entfernungs- und gleichermaßen im Teilladungs- und Stückgutsegment auch der Mengenauslastung, existieren grundsätzlich eine enorme Vielzahl an Forschungsarbeiten in den Disziplinen Operation Research, Informatik und Mathematik, die auf einen hohen Erschließungsgrad des Themas schließen lassen. Aufgrund der bereits im Kapitel 3.2. dargelegten nachgelagerten Relevanz der zugrundeliegenden Strategie, soll an dieser Stelle ein sehr grober Einblick in das Themenfeld genügen. Ausgehend vom allgemeinen „Pickup&Delivery-Problem“ (General Pickup and Delivery Problem, GPDP) werden eine Vielzahl von dessen Spezialfällen, wie z. B. das „Vehicle Routing Problem“ (VRP), das „Pickup&Delivery Problem“ (PDP), das „Dial-a-Ride-Problem“ (DARP) oder auch die allgemeine „Disposition von Komplettladungen“ umfassend in der Literatur diskutiert. Neben GRÜNERT und IRNICH oder DOMSCHKE liefern beispielsweise STUMPF und PANKRATZ einen ersten Überblick über die Problemsituationen und entsprechende Lösungsansätze in diesem Forschungsbereich (vgl. Domschke (1997); Grünert und Irnich (2005); Stumpf (1998) und Pankratz (2002)), welche seither entsprechende Weiterentwicklungen sowohl auf der Seite der Problemformulierung als auch im Bereich der Lösungsansätze erfuhren (vgl. exemplarisch: Bock (2004), Ohrt (2008) und Rieck (2008)).

Aktuelle anwendungsorientierte Fragestellungen beschäftigen sich u. a. mit der Integration der Gesetzgebung im Bereich der Sozialvorschriften für das Fahrpersonal und der Behandlung von zunehmend komplexeren Zeitfensteranforderungen in die Algorithmik des Vehicle Routings und der zunehmenden Berücksichtigung von Dynamik (vgl. Prescott-Gagnon, Desaulniers, Drexler, und Rousseau (2010) und Goel (2010)). Darüber hinaus wird im Rahmen des Forschungsprojektes EfficientLoad¹⁰¹ beispielhaft versucht, Fragestellungen der Mengen- und der Streckenauslastung gleichzeitig und gleichberechtigt zu berücksichtigen und im Rahmen neuer Verfahren durch Kopplung von Laderaumoptimierungs- und Tourenplanungsalgorithmen eine Maximierung der Fahrzeugauslastung zu erreichen (vgl. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (2016)). Zudem beschäftigen sich eine Reihe von Forschungsar-

¹⁰¹ Das Forschungsprojekt „EfficientLoad“ ist ein vom BMWi (heute Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) im Rahmen des Förderprogramms „Intelligente Logistik“ mit 697.000,- € gefördertes Verbundprojekt des Fraunhofer IML, Dortmund; der VCE Verkehrslogistik GmbH, Dortmund; der PSI Logistics GmbH, Berlin; der GEFCO Deutschland GmbH, Mörfelden-Walldorf und der M-real Corporation (weiterführende Informationen zum Projekt unter: <http://www.intelligente-logistik.org/index.php?id=efficientload>).

beiten aktuell mit der Synchronisation unterschiedlicher Ressourceneinsatzpläne, welche im Rahmen der Diskussion zu Handlungsalternativen (Abschnitt 3.3., Seite 104) zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal thematisiert werden. Einen umfassenden Überblick zum derzeitigen Forschungsstand im Themenfeld „Vehicle Routing“ liefern TOTH und VIGO, die die offensichtlich wichtigsten Varianten der o. g. Planungsprobleme und deren heute verfügbaren Algorithmen und Heuristiken sowie deren bekannte Varianten anhand zahlreicher Anwendungsbeispiele diskutieren (vgl. Toth und Vigo (2014)). Insgesamt kann dem Themenfeld Tourenplanung somit ein hinreichender Erschließungsgrad durch anwendungsorientierte Forschung mit einem entsprechend vielseitigen Lösungsangebot konstatiert werden. Somit ist anzunehmen, dass entsprechende Fortschritte und Lösungen bereits eine Verbreitung und Anwendung erfahren haben und deren Potentiale bereits genutzt werden. Die Suche nach neuen Lösungsalternativen wird in diesem Themengebiet nicht vertieft.

Als weiteres übergeordnetes Themenfeld zur Entwicklung von Handlungsalternativen zur Maximierung der Mengen- und/oder der Entfernungsauslastung wurde der sog. **Ladungstausch (ab)** identifiziert. Dieser bezeichnet zunächst, vereinfacht formuliert, das Bestreben der Transportdienstleister, ihr eigenes Sendungsportfolio durch am Markt oder innerhalb mehr oder weniger exklusiver Pools verfügbare Transportaufträge anderer Anbieter zu erweitern und so durch Kombination „eigener“ und „fremder“ Aufträge die eingesetzten Ressourcen optimal auszunutzen. Diese Kombination kann dabei einerseits im Sinne der zu maximierenden Mengenauslastung durch zusätzliche Beiladungen zur das Ladegefäß nicht gänzlich beanspruchenden eigenen Sendung geschehen, aber auch im Sinne einer zu maximierenden Entfernungsauslastung durch die Kombination von bspw. einem Transport von Sendung(en) der eigenen Kundschaft auf dem Hinweg und einer am Markt akquirierten Fremdladung als „Rückladung“ unter Inanspruchnahme möglichst wenig Leerkilometer. In der praktischen Umsetzung sind zudem auch Kombinationen aus beiden Strategien erkennbar.

Um einen zielführenden Ladungstausch zu ermöglichen, existieren wiederum verschiedene Möglichkeiten. Folgend werden entsprechend Abbildung 18 (Seite 105) die Optionen des Ladungstausches durch

- Elektronische Transportmärkte (ab1),
- Horizontale Unternehmenskooperationen (ab2) und
- sog. Ladungspools (ab3)

kurz vorgestellt und auf deren Potential zur Lösungsfindung hin untersucht.

Elektronische Transportmärkte (ab1)

SÄNGER definiert in seiner Arbeit den elektronischen (Transport-) Markt als einen „[...] Teilmarkt eines bestimmten Marktes für Güter oder Leistungen, der durch Informations- und Kommunikationssysteme in allen oder einzelnen Phasen der marktmäßig organisierten Leistungskoordination unterstützt wird“ und identifiziert dabei vier mögliche Verhandlungsmechanismen, Katalog (Anbieter-/Nachfragerverhältnis: 1:1), die Auktion (1:n), die Börse (m:n) und die Ausschreibung (m:1), welche zum Teil exklusiv oder aber in Kombination den jeweiligen Transportmarkt charakterisieren (vgl. Sänger (2004), S. 32 und S. 44 ff). Mit Hilfe von elektronischen Transportmärkten wird im Rahmen von internetbasierten Plattformen also die Möglichkeit geschaffen, die Nachfrage nach Transportdienstleistungen und das Angebot an Transportkapazitäten zu verknüpfen und in Abhängigkeit des Angebotes eine optimale Mengen- und Streckenauslastung zu erreichen. WROBLEWSKI beschreibt die Funktionalität elektronischer Transportmärkte dabei treffend als „virtuelles schwarzes Brett“ (vgl. Wroblewski (2005)). Dabei werden nicht mehr nur Transportdienstleister im Spotmarktgeschäft (siehe Kapitel 2.2.3.2.) adressiert, sondern zunehmend auch Verlader angesprochen und Kontraktgeschäfte abgewickelt (vgl. Bottler (2015a)).

Namhafte Anbieter wie „TimoCom“, „Teleroute“ oder „TRANSPOREON“ sind an dieser Stelle jedoch stellvertretend für eine mittlerweile nahezu unüberschaubare Anzahl an Transportmarktplattformen zu nennen. Eine Studie des Deutschen Speditions- und Logistikverbandes (DSLVL) aus dem Jahr 2012 listet allein 23 deutschsprachige Marktplätze (vgl. Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLVL) (2012), S. 4). Europaweit existieren 180 – 200 Anbieter von Frachtenbörsen, Tendermanagementsystemen und Brokeragesystemen (vgl. Hassa (2016)). Neben der Vielzahl an Anbietern und Plattformen insgesamt bleibt zudem festzuhalten, dass neben der o. g. reinen Unterstützung der Leistungskoordination zunehmend Serviceleistungen massiv vorangetrieben werden. Dabei stehen vor allem komplexe Sicherheitsservices im Vordergrund, aber auch die Integration von Telematikdiensten der Nutzer, die Entwicklung mobiler Anwendungen und der Ausbau verkehrsträgerübergreifender Lösungen (vgl. Bottler (2015b)). Im Hinblick auf die bereits umfängliche wissenschaftliche Bearbeitung des Themenfeldes u. a. durch SÄNGER, die Vielzahl der Anbieter, die durch stetige Serviceerweiterungen und eigene Entwicklung innovativer Zusatzleistungen das Angebot beständig erweitern und schärfen, bleibt auch an dieser Stelle festzustellen, dass entsprechende Fortschritte und Lösungen bereits in einem deutlich erkennbaren Maße bei gleichzeitig hoher

Marktdurchdringung¹⁰² vorhanden sind, sodass elektronische Marktplätze im Zuge der Suche nach neuen Handlungs- und Lösungsalternativen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter zu berücksichtigen sind.

Horizontale Unternehmenskooperationen und Netzwerke (ab2)

Anders als bei vertikalen Kooperationen, bei denen Unternehmen unterschiedlicher Wertschöpfungsstufen zusammenarbeiten (Lieferanten- und Abnehmerbeziehung), arbeiten im Rahmen horizontaler Kooperationen grundsätzlich Unternehmen gleicher Wertschöpfungsstufen zusammen (vgl. Bahrami (2003), S. 58), die zum Teil selbst im Wettbewerb stehen und das Ziel verfolgen, eigene spezifische Fähigkeiten zu stärken und bestehende Schwächen auszugleichen (vgl. Morschett (2005), S. 392). „Gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit geringer Marktmacht bieten sich Kooperationen an, die sich durch eine Zusammenarbeit von wirtschaftlich und rechtlich selbstständigen Unternehmen auszeichnen, um so die Wettbewerbsfähigkeit insgesamt zu erhöhen“ (vgl. Lohre, Pfennig, Poerschke, und Gotthardt (2015), S. 34). Neben einer Vielzahl an nationalen und internationalen mittelständisch geprägten Unternehmenskooperationen, vor allem im Stückgutsegment¹⁰³, etablieren sich in Deutschland zunehmend Kooperationen mittelständischer Ladungsverkehrsanbieter. So existieren laut DVZ-Marktübersicht aus dem Jahr 2014 derzeit acht Ladungsverkehrskooperationen¹⁰⁴ in Deutschland (vgl. Bollig (2014)). Unter Verwendung der differenzierten Kooperationsbereiche nach BAHRAMI ist festzustellen, dass Ladungsverkehrskooperationen im Gegensatz zu Stückgutkooperationen vor allem im Bereich „Produktion“ bisher kaum gemeinsame Produkte etablieren konnten. Ist die Kooperation mit anderen Anbietern und die

¹⁰² 70 % der Speditions- und Lagerbetriebe nutzen elektronische Transportmarktplätze (vgl. Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLTV) (2012), S. 3).

¹⁰³ Eine Übersicht der neun in Deutschland etablierten Stückgutkooperationen und ihrer charakteristischen Merkmale liefert Bezold (2014).

¹⁰⁴ Die Ladungsverkehrskooperationen in Deutschland:

- Kooperation Logistik Spedition – Kolos (www.kolos-netzwerk.de)
- Part Load Alliance – PLA (www.partload.com)
- International Logistic Network – ILN (www.iln-logistics.de)
- Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure – E.L.V.I.S. (www.elvis-ag.com)
- Brandlog (www.brandlog.de)
- Cargo in motion (www.cargo-in-motion.de)
- Transcoop 09 (www.transcoop09.de)
- Logcoop (www.logcoop.de)

gemeinsame Nutzung eines dadurch entstandenen Produktionsnetzwerkes im Stückgutsegment unausweichlich (mittelständische Stückgutanbieter besitzen aufgrund der Sendungsgrößen und der Notwendigkeit eines flächendeckenden Angebotes gegenüber der in Netzen konsolidiert zu transportierenden Gesamtmengen keine ökonomisch sinnvolle singulär zu praktizierende Produktionsalternative¹⁰⁵), so stehen vor allem im betrachteten Komplettladungsverkehr auch im Rahmen der Unternehmenskooperationen augenscheinlich bisher keine gemeinsam praktizierten Produktionsverfahren zur Verfügung. Erfolgsfaktoren der Stückgutnetzwerke lassen sich auf den Komplettladungsverkehr nicht uneingeschränkt übertragen, da Komplettladungen sich zeitlich nicht konsolidieren lassen, also zeitgleich nicht mehrere Transportaufträge auf einem Transportmittel zusammenzuführen sind (vgl. Krause (2007), S. 70). Gleichwohl ist jedoch zumindest dem Teilladungsbereich eine mittlerweile zunehmende kooperative Erschließung mit entsprechendem Industrialisierungscharakter zu konstatieren. So startete bereits 2011 das Teilladungsnetz E.L.V.I.S. mit aktuell über 80 Systempartnern in Deutschland (vgl. Hassa (2013)). Dazu startet die Kooperation Part Load Alliance (PLA) ihr operatives Geschäft im Frühjahr 2015 und wickelt seitdem auf mehr als 100 Linien Teilladungen in gemeinsamer Produktion von 23 Partnerbetrieben ab (vgl. Hassa (2015)). Kooperationsbemühungen im Komplettladungsbereich konzentrieren sich derzeit vorrangig auf die Bereiche „Einkauf“, „Absatz“ und „Beschaffung und Auswertung von Informationen“ (zu Kooperationsbereichen vgl. Bahrami (2003), S. 57). So sind stellvertretend Kooperationsprojekte wie der Zentraleinkauf, bei dem auf Basis kooperationsweiter Bedarfsmengenbündelung mit Lieferanten und Dienstleistern über Rahmenvereinbarungen zu attraktiveren Konditionen verhandelt wird, als es bei unternehmensindividueller Einzelbeschaffung möglich wäre (vgl. E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016a) und KoLoS – Kooperation Logistik Spedition (2016b)), zu nennen.

Im Bereich „Produktion“ finden innerhalb der Komplettladungs Kooperationen bislang vor allem der **Ladungstausch** auf eigenen Portalen oder innerhalb geschlossener Benutzergruppen auf zuvor beschriebenen elektronischen Marktplätzen statt (vgl. E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016b) und KoLoS – Kooperation Logistik Spedition (2016a)). Dabei steht im Vergleich zum allgemein zugänglichen elektronischen Marktplatz bspw. lt. E.L.V.I.S. „die Qualität der Zusammen-

¹⁰⁵ Weiterführende Informationen zu gemeinsam bestimmten Produkten (flächendeckender Stückguttransport) vgl. Weddewer (2007), S. 121

arbeit innerhalb der Kooperation mit verantwortungsbewussten und vertrauenswürdigen Partnern [...] und die Schaffung eines internen Frachtenmarktes innerhalb dessen Mitglieder der E.L.V.I.S. ihre Aufträge und Fahrzeuge zu einem im Gegensatz zum allgemeinen Ladungsmarkt auskömmlichen Preisniveau vermarkten, im Fokus“ (vgl. E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016b)).

BRETZKE bezeichnet es als Notwendigkeit, Effizienzpotentiale der horizontalen Kooperationen im Stile von Großunternehmen heben zu können, neben der Abdeckung größerer Teile Zentraleuropas, „einen zentralisierten, auf homogener IT-Struktur aufgebauten Leitstand, der befähigt ist, Touroptima zu ermitteln und durchzusetzen, die unabhängig sind von der Frage, durch welchen Partner die Transportaufträge ursprünglich in das System hereingekommen sind“ (vgl. Bretzke (2014), S. 365). Eine solcher Leitstand mit eben diesen Eigenschaften ist bisher in keiner der etablierten Kooperationen implementiert. So kann der im Zusammenhang mit Transportkooperationen häufig verwendete „Netzwerkbegriff“¹⁰⁶ als infrastrukturelle Einrichtung bzw. charakteristisches Merkmal einer kooperativen Produktionsform ebenfalls bislang nur den Teilladungs- und Stückgutkooperationen zugeordnet werden. Aus wissenschaftlicher Perspektive bleibt dabei noch einmal auf die Arbeit von BAHRAHMI zu verweisen, im Rahmen dieser der Gesamtnutzen von horizontalen Transportlogistik-Kooperationen insgesamt, aus dem Blickwinkel von Herstellern kurzlebiger Konsumgüter quantifiziert und damit die Wirksamkeit solch kooperativer Zusammenarbeit nachgewiesen wurde (vgl. Bahrami (2003). MACK konfiguriert und koordiniert in seiner Arbeit ein Unternehmungsnetzwerk als Weiterentwicklung der Kooperationsbeziehungen und leitet ein allgemeingültiges Netzwerkmodell zur Darstellung verschiedenster Unternehmungsnetzwerke her (vgl. Mack (2003)). Basierend auf den Grundgedanken der Netzwerktheorie (für ausführliche Informationen zur Netzwerktheorie vgl. stellvertretend Vahrenkamp (2003)) finden sich weiter eine Vielzahl von Arbeiten, die sich mit der technischen und operativen Gestaltung von Transportnetzwerken, vordergründig jedoch im Stückgut- oder auch Paketsegment beschäftigen. Neben der frühen Arbeit von WLČEK

¹⁰⁶ Es ist festzustellen, dass in öffentlicher Wahrnehmung die Begriffe „Kooperation“ und „Netzwerke“ gleichbedeutend verwendet werden. Nach dem Typologierungsansatz nach MACK mit Blick auf das Verhältnis von Unternehmensnetzwerk und Kooperation handelt es sich bei Komplettladungsk Kooperationen offenkundig jedoch eher um „Netzwerke als Sonderform von Kooperation“ bei denen „die Kooperation instrumentellen Charakter besitzen und die Einzelunternehmung im Mittelpunkt steht“ (vgl. dazu Mack (2003), S. 19) und ein nur sehr geringer Bezug zu einem vermeintlich gemeinsamen Leistungserstellungsprozess hergestellt werden kann.

(allgemeine Gestaltung von Güterverkehrsnetzen von Sammelgutspeditionen) sind dabei die Arbeiten von KLEEBERG (Netzwerksteuerung unter Berücksichtigung des kombinierten Verkehrs), RÖSLER (Einbezug der ökologischen Verträglichkeit in die Gestaltung und Konfiguration des Netzwerkes) und JANZ (Einbezug von Angebots- und Nachfrageorientierung in die Netzwerkplanung) zu nennen (vgl. Wiček (1998), Rösler (2003), Kleeberg (2000) und Janz (2003)). JANZ bietet dabei erste grundlegende Überlegungen bzgl. eines Kooperationsforums zur gemeinschaftlichen Planung und Ausschreibung von Fernverkehren innerhalb der Sammelgutnetze an, deren Anwendbarkeit auf den Komplettladungsverkehr außerhalb von Sammelgut-Hauptläufen im weiteren Verlauf zu prüfen sind (vgl. Janz (2003), S. 222 ff).

Weiterführende Literatur zur Netzwerkgestaltung und Verkehrsplanung innerhalb der Netzwerke existiert mit naturgemäß großer Schnittmenge zum bereits beschriebenen Forschungsbereich der Tourenplanung (siehe Seite 106). Exemplarisch sind dabei die Arbeiten von WIEBERNEIT und BEDNARCZYK, die sich wiederum der Entwicklung mathematischer Modelle für die Linienverkehrsplanung in speditionellen Sammelgutnetzen bzw. für KEP-Dienstleister widmen (vgl. Wieberneit (2008) und Bednarczyk (2012)). Da jedoch auch hier die (kosten-)optimale Konsolidierung von im Vergleich zur Komplettladung kleinstückigen Sendungsgrößen im Vordergrund der Lösungsstrategien steht, sind die Ergebnisse der jeweiligen Untersuchungen nicht von erheblichem Nutzen für die zu bearbeitende Forschungsfrage. Erstmals behandelt KRAUSE in seiner Arbeit zur Organisation und Steuerung von Transportnetzwerken neben zahlreichen Fragestellungen zur Tourkonsolidierung im Teilladungsbereich auch Fragestellungen zur Tourkombination auf mathematischer Ebene mit dem Ziel, Rundtouren zu generieren, um letztendlich Leerkilometer innerhalb des Netzwerkes zu reduzieren (vgl. Krause (2007), S. 92).

Selbst aktuelle Veröffentlichungen konzentrieren sich bei der Formulierung von Optionen für Teilladungs- und Ladungsnetze vor allem auf Lösungsansätze zur Maximierung der Mengen- und Entfernungsauslastung (vgl. Bretzke (2014), S. 362) oder verweisen rein quantitativ auf Erfolgsfaktoren von in infrastrukturellen Transportnetzwerken¹⁰⁷ operierenden sog. amerikanischen Advanced Truck Load Firms (ATLF)¹⁰⁸ (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 76 ff; Walther

¹⁰⁷ Infrastrukturelle Netzwerke bezeichnet an dieser Stelle ein Transportnetzwerk mit n Depots, welche entsprechende logistische Funktionen wie Trailervorhaltung, Übernachtungsmöglichkeiten für Fahrer usw. besitzen.

¹⁰⁸ Weiterführende Ausführungen zu ATLF siehe Seite 120.

(2010), S. 105 ff und Bretzke (2014), S. 364). Dabei steht nicht selten die Annahme im Fokus weiterer Überlegungen, dass Effizienzgewinne auf Basis von in Europa nicht vorhandenen Fuhrparkgrößen der amerikanischen Anbieter durch horizontale Kooperationen der mittelständisch geprägten Anbieterstruktur ebenfalls erreicht werden könn(t)en. Allerdings lässt sich eine solche Wirkung von Kooperationen bisher nicht hinreichend belegen, da sich, wie beschrieben, bis heute die kooperative Produktion eines „gemeinsamen Dienstleistungsangebotes“ der Kooperationsmitglieder auf den hier betrachteten Ladungsaustausch beschränkt.

Zur Lösungsfindung der zu behandelnden Forschungsfrage lassen sich anhand der Maßnahme „Horizontale Unternehmenskooperationen“ (ab2) in Verbindung mit dem entsprechenden Netzwerkbegriff erwartungsgemäß lediglich Indikatoren aus der Literatur (deskriptive Behandlung des Themas Rundtourengenerierung durch KRAUSE) und der institutionelle Erfolg der horizontalen Unternehmenskooperation selbst festhalten.

Ladungspools (ab3)

Einen weiteren Forschungsgegenstand zur Maximierung der Mengen- und Entfernungsauslastung im Lkw-Ladungsverkehr markieren sog. Ladungspools. Dabei wird die Idee verfolgt, Leerfahrtanteile und suboptimale Ausnutzung der Ressourcen dahingehend zu minimieren, kleine, dezentrale Dispositionseinheiten (einzelne Unternehmen oder auch einzelne Niederlassungen größerer Organisationen) in eine virtuelle zentrale Disposition zu überführen. Der Grundgedanke dessen ist gekennzeichnet durch die Überführung bisher innerhalb der jeweiligen Unternehmen verfügbaren und vergleichsweise niedrigen Einzelauftragsmengen in einen übergeordneten Pool, mit Hilfe dessen sich im Sinne einer zentralisierten kooperativen Tourenplanung (BRETZKE spricht in diesem Zusammenhang von „unternehmensübergreifender Transportdisposition“ - vgl. Bretzke (2014), S. 365) wiederum kostengünstigere, also effizientere Touren bilden lassen. Nachdem bereits KRAUSE ein grundlegendes Konzept zur „übergeordneten Transportsteuerung“ 2007 vorstellte (vgl. Krause (2007)), trieb das Forschungsprojekt „SILK – Systemgestützte Intelligente Logistische Kooperation“ als Verbundprojekt des Konsortiums aus Fraunhofer SCS Nürnberg, der IDS Logistik GmbH und der Schenker Deutschland AG mit einem Fördervolumen von 1.048.000,- € im Rahmen der Förderinitiative „Intelligente Logistik im

Güter- und Wirtschaftsverkehr“¹⁰⁹ des BMWi, die Entwicklung eines praktikablen Lösungsverfahrens in den Jahren von 2008 bis 2010 umfassend voran. Die nachfolgend zusammenfassende Erläuterung der Ergebnisse basiert auf dem Abschlussbericht der Projektes (vgl. Drexl, Sigl, Werr, und Wollenweber (2011)). Den Kern der Forschungsarbeit stellte neben der Optimierung der Tourenbildungsalgorithmen die Entwicklung eines Geschäftsprozessmodells zur effizienten Kooperation in lose gekoppelten Distributionsnetzwerken, in denen die einzelnen Dispositionseinheiten autonom entscheiden, aber einen gemeinsamen Pool von Informationen nutzen und dessen Inhalt selbst aktiv beeinflussen. Somit sollten Aufträge, die eine Dispositionseinheit nicht selbst ausführen möchte, in einen übergeordneten Pool, die sog. Zentrale Einheit übergeben werden können, damit einerseits andere Dispositionseinheiten sich darum bewerben können (erweiterte Idee der elektronischen Marktplätze), andererseits aber auch die Möglichkeit der Selbstaussführung durch die Zentrale Einheit besteht und somit eine kostengünstigere Tourenbildung auf Basis vieler unterschiedlicher Aufträge im Pool entsteht. Letztendlich entstanden zwei Prozessmodelle zur Umsetzung der Idee. Als vereinfachte Prozessvariante gilt der Ansatz der Einrichtung einer zentralen Disposition mit eigenen Fahrzeugen, die Zugriff auf den Pool erhält und deren Aufgabe darin besteht, alle Aufträge aus dem Pool in Touren zu fassen und so möglichst viele abgegebene Aufträge durch deren übergreifende Bündelung günstiger zu produzieren, als es die abgebende Dispositionseinheit selbst vermag. Im Rahmen des Prozesses mit vollständiger Autonomie der Dispositionseinheit entscheiden diese selbst, welche Aufträge an den Pool abgegeben werden. In der Weiterentwicklung dieses Prozesses entfällt die Autonomie der Dispositionseinheiten dahingehend, dass sämtliche Aufträge und Fahrzeuge der Zentralen Einheit zuzuführen sind, diese eine zentrale Tourenplanung durchführt (mit dem Ziel, lokale Präferenzen zu berücksichtigen) und nur die Aufträge an die dezentralen Dispositionseinheiten zurückgibt, die nicht verplant werden können.

Trotz theoretisch nachvollziehbarer Erwartungen an Effizienzsteigerungen durch Bündelung, Transparenz und Zentralisierung beschreiben die Autoren der Studie die Praxistauglichkeit der zentralen Disposition bereits im Projekt „aufgrund organisatorischer Schwierigkeiten als bei keinem Praxispartner realisierbar“ (vgl. Drexl et al. (2011), S. 29) und beschränkten sich in Folge dessen auf Simulationen und Vergleichsrechnungen. Mit dem Hinweis auf die Praxispartner des Projekts „IDS“ als horizontale Kooperation verschiedener mittelständisch

¹⁰⁹ Weiterführende Informationen zur Förderinitiative und den Projekten sind unter <http://www.intelligente-logistik.org/index.php?id=projekte> zu finden.

geprägter Unternehmen und „Schenker Deutschland GmbH“ muss festgestellt werden, dass sich die Forschungsergebnisse offenbar weder im Rahmen der hier fokussierten Mittelstandskooperationen noch innerhalb größerer Organisationen implementieren lassen. Aus Sicht des Autors scheint vor allem die übergeordnete Zentraldisposition als Ablöse der jeweiligen Unternehmensdispositionen (Kernkompetenz des einzelnen Unternehmens) im Rahmen von horizontalen Mittelstandskooperationen kein probates Instrument, den Egoismus des einzelnen Partnerunternehmens zu überwinden („mein Kunde“ - vgl. Bretzke (2014), S. 365) bzw. deren Befürchtungen, die eigene Unternehmensidentität zu verlieren, zu zerstreuen¹¹⁰. Gleichmaßen überrascht es, zentralisierte Dispositions- und Tourenplanungsvorgänge nicht in großen Transportorganisationen mit verschiedenen Niederlassungsbetrieben implementieren zu können. In einer ca. zwei Jahre nach Abschluss des Projektes veröffentlichten Pressemitteilung zum aktuellen Umbau der Landverkehre der DB Schenker wurde explizit darauf hingewiesen, „die Disposition von lokalen FTL/LTL-Geschäften verbleibt in den Geschäftsstellen“ (vgl. Schneider (2013)). Somit kann auf Basis mangelnder Praxistauglichkeit die Suche nach alternativen Lösungswegen auch im Bereich übergeordneter Ladungspools mit oder ohne zentraler Disposition für den Komplettladungsverkehr als derzeit nicht zielführend bezeichnet werden.

Ungeachtet dessen versucht das Start-up „Flutaro“ aktuell diese Idee weiterzuentwickeln und wirbt mit einem „vernetzten Optimierungsalgorithmus für die Tourenplanung in Logistikunternehmen als Software as a Service (SaaS), welche Dispositionsprozesse automatisiert und Informationen der Netzwerkpartner für weitere Optimierungen einbezieht (vgl. Frey (2016)), um Partner bzw. Kunden. Das amerikanische Start-up Unternehmen „FR 8 Revolution“ greift die Idee des übergeordneten Ladungspools erneut auf und möchte ein „ganzheitliches Betriebssystem für eine vernetzte Transportbranche“ etablieren. Auf Basis verfügbarer Echtzeitdaten sollen dabei Versender, Transportunternehmen und Lkw-Fahrern eine einheitliche und transparente Plattform (FR8 Guru) zur Planung von Ladungen zur Verfügung gestellt werden (vgl. FR8 Revolution Inc. (2016)) . Das entsprechende Produkt ist zum Zeitpunkt der Entstehung der vor

¹¹⁰ KRAUSE spricht an dieser Stelle vom „Verlust der Dispositionshoheit“ und vom „temporären lokalen Profitverlust“. Um beiden Aspekten zu begegnen, müssen Anreizsysteme sicherstellen, dass das Verhalten einzelner Dispositionseinheiten eben nicht auf das lokale, sondern das angestrebte Gesamtoptimum abzielt. Eine mögliche Ausgestaltung dieser Anreizsysteme erfolgt dabei nicht. (vgl. Krause (2007), S. 115-116)

liegenden Arbeit noch nicht am Markt platziert, sodass weiterführende Informationen bislang nicht vorgestellt werden können.¹¹¹

Die Idee der Effizienzsteigerung durch Auslastungserhöhung auf Basis „großer Auftragspools“ wird im Ansatz weiterhin durch die Arbeit von FRIEDRICHSMEIER und die darauf aufbauende Arbeit von TUMMEL aufgegriffen. Dabei verfolgen beide Autoren die Konzeptidee einer Frachtkooperation im Teilladungssegment, die jedoch nicht wie bspw. das E.L.V.I.S. Part Load Network zur industrialisierten Abwicklung von Teilladungen eine HUB-and-Spoke-Struktur¹¹² nutzt (vgl. E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016d)), sondern eine Kooperationslösung, die auf linienbasierten Direktverkehren beruht und die Möglichkeit von Sendungsmitnahmen entlang vorgegebener Transportstrecken eröffnet und ohne eigens eingerichtete zentrale Umschlagbetriebe organisiert ist. Das Konzept unterscheidet sich insofern von der zuvor skizzierten Idee der „übergeordneten Transportorganisation“, dass Teilladungen über einen zusätzlich geschaffenen Produktionskanal abgebildet werden können. Probleme im Sinne des Hoheitsverlustes der lokalen Disponenten entfallen, da die Entscheidung, welche Sendungen im Selbsteintritt und welche durch das Kooperationsangebot produziert werden, vom lokalen Disponenten getroffen wird. FRIEDRICHSMEIER entwickelt dabei die grundlegende Business-Architektur, auf Basis dieser wiederum TUMMEL eine funktionale IT-Plattform zur Anwendung der Architektur entwirft (vgl. Friedrichsmeier (2013) und Tummel (2015)). Erwähnt werden muss zudem, dass die Entwicklungsergebnisse beider Autoren als Angebot der „Part Load Alliance (PLA)“ (siehe www.partload.com) bis heute am Markt zur Verfügung gestellt werden. Da die Idee beider Autoren grundsätzlich die Effizienzsteigerung der Betriebsmittel durch eine verbesserte Konsolidierung von Teilladungen – wenn auch im Rahmen einer bisher neuartigen Anwendungsidee – herbeizuführen versucht, kann diese wiederum für den Komplettladungsbereich naturgemäß nur wenige Impulse liefern. Allerdings sollen beide Arbeiten während des später folgenden Lösungsentwicklungsprozesses noch einmal auf partielle

¹¹¹ Im Zeitraum der Entstehung der vorliegenden Arbeit gingen eine nahezu unüberschaubare Anzahl sog. „Onlinespeditionen“ an den Markt, die alle nach dem Prinzip der ausgeführten Beispiele die Neuordnung der expeditionellen Disposition für sich beanspruchen und den „übergeordneten zentralen Ladungspool“ und dessen Verwaltung als Dienstleistung anbieten. Die an dieser Stelle namentlich vorgestellten Unternehmen müssen somit als beispielhaft gelten. Andere Erkenntnisse als die bereits ausgeführten im Hinblick auf die Wirksamkeit und den Erfolg solcher Systeme liegen bislang nicht vor.

¹¹² Für weiterführende Informationen zu Netzstrukturen vgl. Wiček (1998), S. 32 ff.

Übertragbarkeiten einzelner Annahmen, bspw. im Bereich der Organisation geprüft werden.

Abschließend sollen Bemühungen zur Maximierung von Mengenauslastung durch absolute **Kapazitätsanpassungen (ba)** nicht unerwähnt bleiben. So führen bspw. LOHRE, PFENNIG, POERSCHKE und GOTTHARDT den sog. *Lang-Lkw (ba1)*, konfiguriert entsprechend § 3 der „Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge“ (LKWÜberlStVAusV), dessen Einsatzfähigkeit derzeit in Deutschland im Rahmen eines Feldversuches¹¹³ getestet wird, als effizienzsteigernde Maßnahme für den Straßengüterverkehr an. Der Lang-Lkw unterscheidet sich von den in Kapitel 2.2.1. dargestellten Ressourcen im Hinblick auf die zul. Gesamtlänge der Fahrzeugkombination. So beträgt diese 25,25 m statt der bisher zugelassenen Maximallänge von 18,75 m. Da die zul. Gesamtmasse unverändert 40 t beträgt (auch hier im Kombiverkehr max. 44 t), besitzt der Lang-Lkw somit ein ausschließliches Potential, die Mengenauslastung in Form der Volumenauslastung zu erhöhen. Sofern entsprechende Rahmenbedingungen erfüllt sind, lassen sich, verschiedenen Autoren folgend, deutliche Effizienzvorteile ausgehend von der Annahme erzielen, drei Fahrten eines konventionellen Lkw durch nur zwei Fahrten eines Lang-Lkw, bedingt durch dessen 1,5-fache Volumenkapazität, ersetzen zu können (vgl. Lohre et al. (2015), S. 34 und Irzik et al. (2014), S. 29). Da der Lang-Lkw jedoch politisch umstritten ist und abschließende Ergebnisse des Feldversuches zum aktuellen Zeitpunkt nicht vorliegen, sodass keinerlei Spekulation über eine mögliche Zulassung dieser Fahrzeuge und der entsprechenden Einsatzrandbedingungen angestellt werden kann, ergibt sich für eine weitere Berücksichtigung keine Notwendigkeit. Andere, heute bereits zugelassene und angewandte mengenauslastungsfördernde Maßnahmen wie der Fahrzeug-Leichtbau oder der Einsatz von Volumenaufbauten wurden darüber hinaus bereits erläutert (siehe Seite 43).

3.3.2. Handlungsoptionen zur Maximierung der zeitlichen Auslastung

Im folgenden Abschnitt werden nun die Maßnahmen zur Maximierung der zeitlichen Auslastung der Ressourcen (c) ausführlich dargelegt. Diese wiederum

¹¹³ Für weiterführende Informationen zum Feldversuch vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) (2016).

stellen als Ergebnis der Untersuchung aus Kapitel 3.2. den vielversprechendsten und somit wichtigsten Ansatz zur Lösungsfindung dar. Abbildung 15 (Seite 100) und Abbildung 16 (Seite 101) verdeutlichen den Zusammenhang des Gesamtkostenverlaufes und des Personaleinsatzes bereits eindrucksvoll. Ziel aller Bemühungen muss demnach sein, unabhängig vom Charakter des Transportauftrages und des bisherigen Fahrzeugeinsatzes einen ausgedehnten Personaleinsatz zu gewährleisten. Aktuelle Einsatzmethoden (Einschichtbetrieb, Fahrer-Fahrzeug-Bindung, siehe Kapitel 2.2.3.3.) gilt es dabei zu verändern, um eine insgesamt maximierte Einsatzproduktivität und eine damit einhergehende Gesamt-Einsatzkostenminimierung der Ressourcenkombination zu erreichen. Wie also kann es gelingen, einen Fahrer am Ende seiner Tages-Arbeitszeit durch einen neuen Fahrer zu ersetzen? Um sich den letztendlich verfügbaren Handlungsoptionen zu nähern, können diese zunächst in „unterwegs stattfindende Maßnahmen“¹¹⁴, also dem **Fahrertausch „unterwegs“ (ca)** und dem **Fahrertausch am Ausgangs- bzw. Heimatdepot (cb)** differenziert werden. Dabei gliedern sich die Möglichkeiten, Fahrer anderswo als im Heimatdepot auszutauschen, wie folgt (siehe auch Abbildung 18, Seite 105):

- Doppelbesatzung (ca1)
- Fahrerwechsel an variablen Tauschpunkten (ca2)
- Fahrerwechsel an fixiertem Tauschpunkt (ca3)

Auch diese Möglichkeiten werden im Anschluss erörtert und auf den wissenschaftlich/praktischen Erschließungsgrad sowie deren Potential zur Lösungsfindung hin untersucht.

Doppelbesatzung (ca1)

Für die in der Literatur zum Begriff „Doppelbesatzung“ gleichbedeutend verwendeten Begriffe „Mehrfahrerbetrieb“, „Mehr-Fahrer-Besatzung“ oder auch „Zwei-Fahrer-Besatzung“ soll an dieser Stelle die vom Gesetzgeber vorgegebene Definition zur einheitlichen Klärung genutzt werden. Der Mehrfachbetrieb beschreibt „den Fall, in dem während der Lenkdauer zwischen zwei aufeinander folgenden täglichen Ruhezeiten oder zwischen einer täglichen und einer wöchentlichen Ruhezeit mindestens zwei Fahrer auf dem Fahrzeug zum

¹¹⁴ „Unterwegs“ meint in diesem Kontext die räumliche Verortung des Fahrerwechsels an Punkten, die nicht den Ausgangspunkt bzw. das Heimatdepot (bspw. den Speditionssitz) beschreiben.

Lenken eingesetzt sind“ (vgl. VO (EG) Nr. 561/2006, Einleitende Bestimmungen Artikel 4, Abschnitt (o)). Beide Fahrer sind also gleichzeitig auf dem Fahrzeug eingesetzt und arbeiten gemeinsam das entsprechende Tourenprogramm ab. Die zu erreichende Produktivität ist dabei zwar möglicherweise höher als im klassischen Ein-Fahrer-Betrieb (Einschichtbetrieb), jedoch schreibt der Gesetzgeber auch in diesem Einsatzmodell eine tägliche Ruhezeit für beide Fahrer vor, die nur im stehenden Fahrzeug geleistet, als solche anerkannt werden („Zeiten des passiven zweiten Fahrers im fahrenden Fahrzeug sind keine Ruhezeiten“ (vgl. Rang (2006b), S. 21)). VO (EG) Nr. 561/2006 regelt in Artikel 8 Absatz 5 die täglichen Ruhezeiten für Doppelbesatzungen dahingehend, dass ein im Mehrfahrerbetrieb eingesetzter Fahrer innerhalb von 30 Stunden nach dem Ende einer täglichen oder wöchentlichen Ruhezeit eine neue tägliche Ruhezeit von mindestens 9 Stunden genommen haben muss, die eben nicht im fahrenden Fahrzeug genommen werden darf und deshalb dazu führt, dass beide Fahrer die tägliche Ruhezeit gleichzeitig im stehenden Fahrzeug leisten müssen.

Somit kommen innerhalb eines Fünf-Tage-Zyklus maximal vier 30-Stunden-Zyklen zur Anwendung, die wiederum jeweils maximal 18 Fahrstunden (neun je Fahrer und Zyklus) beinhalten können. Die mittlere Tagesproduktivität, also die **zeitliche Auslastung** des Fahrzeuges in täglich verfügbaren Lenkstunden **einer Doppelbesatzung** liegt somit bei maximal 14,4 (maximal 72 Lenkstunden je Woche/Fünf Einsatztage), also **65,5 %**.

Im Vergleich zur angestrebten sequentiellen Mehrfachbesatzung (siehe Abbildung 15, Seite 100) ist das Potential der klassischen Doppelbesatzung also deutlich geringer. Zudem muss bezweifelt werden, dass die innerhalb eines 30-Stunden-Zyklus zur Verfügung stehenden 18 Lenkzeitstunden im innerdeutschen Ladungsverkehr in allen unter Kapitel 2.2.3.1. beschriebenen Geschäftsmodellen hinreichend ausgeschöpft werden können (die mittlere Transportweite im Straßengüterverkehr betrug 2013 134,5 km, siehe Seite 27). So ist es denkbar, vor allem im Rahmen von Systemverkehren mittels Doppelbesatzung weite Entfernungen jenseits der 1 000 km (in Deutschland nur auf Nord-Süd-Relationen möglich) zu überbrücken und die zur Verfügung stehende Lenkzeit entsprechend auszunutzen.

Im depotgebundenen Ladungsverkehr oder gar im Trampverkehr scheint dies jedoch kaum möglich, da die notwendigen Transportentfernungen im nationalen Verkehr eher die Ausnahme bilden. Weiterhin ist der Doppelbesatzung kein personalkostenseitiges Optimierungspotential zu konstatieren, da beide Fahrer wie

im klassischen Einschichtbetrieb, bedingt durch identisch hohe Abwesenheitszeiten von zu Hause, im gleichen Vergütungsmodell beschäftigt werden (müssen). Zudem ergeben sich bei Nichtausnutzung der verfügbaren Lenkzeit (s. o.) schnell gravierende Gesamtkostennachteile gegenüber dem Einschichtszenario. Aufgrund des vergleichsweise eingeschränkten Potentials in Kombination mit notwendigen, jedoch schwer zu erfüllenden Rahmenbedingungen, stellt die klassische Doppelbesetzung keinen hinreichend guten Lösungsansatz zur Produktivitätsmaximierung durch bessere zeitliche Auslastung des Fahrzeugs dar und wird von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Fahrerwechsel an variablen Tauschpunkten (ca2)

Nachdem der Vorteil einer permanenten Zwei-Fahrer-Besatzung eines Fahrzeuges nur unter bestimmten, im Untersuchungsfall nicht vorhandenen Randbedingungen nachweisbar ist, liegt der Fokus weiterer Überlegungen nun darauf, ein Fahrzeug sequentiell durch unterschiedliche Fahrer zu besetzen, um dadurch die zeitliche Auslastung zu maximieren. Die Komplexität des sequentiellen Einsatzes verschiedener Fahrer auf einem Fahrzeug liegt im individuell durchgeführten Ladungsverkehr (vor allem innerhalb der Geschäftsmodelle „Depotgebundener Ladungsverkehr und stärker noch im Trampverkehr, siehe Seite 48) vor allem darin begründet, zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort einen neuen Fahrer zur Verfügung zu stellen und den Fahrer, dessen Arbeitszeit erschöpft ist, entsprechend unterbringen zu können. Ein neuer Lösungsansatz des Problems lässt sich anhand der Bemühungen, die Erfolgsfaktoren der in den USA erfolgreichen Advanced-Truckload-Firms (ATLF) in Europa zu adaptieren, ableiten.

Die Arbeiten von MÜLLER und KLAUS sowie WALTER gehen den Merkmalen der Produktionsverfahren amerikanischer Großflottenbetreiber¹¹⁵ nach und versuchen deren Vorteilsmerkmale auf den europäischen Markt mit Empfehlungscharakter zu übertragen. Im Rahmen dieser Arbeiten konnten den bereits heute in hohem Maße industrialisierten und dabei hochgradig standardisierten, spezialisierten und an vielen Stellen automatisierten Produktionsformen eine Vielzahl erfolversprechender Merkmale attestiert werden, die im europäischen Anbietermarkt bisher nicht oder nur in minimalem Maße Anwendung finden. So

¹¹⁵ Beispielhaft betreibt „Schneider National“, einer der größten Truckload Provider in Nordamerika mit Hauptsitz in Green Bay, Wisconsin (USA) zum aktuellen Zeitpunkt 10 120 firmeneigene Sattelzugmaschinen, 33 830 Trailer und beschäftigt 11 650 Fahrer (vgl. Schneider (2013)).

tragen neben flächig, geografisch verteilten Kundenbasen, standardisiertem Equipment, einer zentralisierten Disposition, modernen Kommunikations-, Lokalisierungs- und Planungstechnologien und einem intelligent konfigurierten Leistungsportfolio vor allem die jeweils netzwerkartig verteilten Fahrer- und Fahrzeugstützpunkte in erheblichem Maße zum Erfolg dieser Anbieter bei (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 82 ff und vertiefend Walther (2010), S. 183).

Diese Stützpunkte stellen Ausgangsbasen dar, von denen aus Fahrer, Zugmaschinen und Ladegefäße flexibel eingesetzt und entsprechend neu kombiniert werden. Durch die Dichte eines solchen Netzes an Stützpunkten (nächster Stützpunkt stets innerhalb einer halben bis maximal einer Tageslenkzeit erreichbar) wiederum bleibt gewährleistet, entlang der eigentlichen Tour zum Ende einer Fahrerarbeitszeit einen solchen zu erreichen, dort Fahrer zur Übernahme und zum Weiterbetrieb des Fahrzeuges vorzuhalten sowie dem das Fahrzeug verlassenden Fahrer eine Übernachtungsmöglichkeit anbieten zu können, der nach Ableistung der Ruhezeit wieder für die Besetzung eines bis dahin am Stützpunkt angekommen Fahrzeuges zur Verfügung steht. In Abhängigkeit der räumlichen Verortung von Quellen und Senken der durch einen Fahrer aufeinanderfolgend (anteilig) bearbeiteten Transportaufträge, leistet ein Fahrer die anfallenden Ruhezeiten innerhalb eines weitläufigen Betrachtungszeitraumes, also durchaus an ständig wechselnden Stützpunkten¹¹⁶.

Im Vergleich mit klassischen Doppelbesatzungsszenarien (siehe ca1, Seite 118) ist das Potential zur zeitlichen Auslastungsmaximierung der Fahrzeuge also entsprechend höher, da es gelingt, die Erbringung der Ruhezeiten der Fahrer außerhalb des Fahrzeuges zu gewährleisten und dabei keine Stillstandszeiten des Fahrzeuges zu verursachen. Mit diesem auch „Slip-Seat“ genannten Fahrerwechsel-Konzept konnte erstmals eine Umsetzungsstrategie zur in Kapitel 3.2. herausgearbeiteten Handlungsoption bezogen auf die Maximierung der zeitlichen Fahrzeugauslastung identifiziert werden, wenngleich der Einfluss der Fixkostenintensität der im Vergleich zur dargestellten Ausgangssituation zusätzlich vorzuhaltenden Fahrerbasen-Infrastruktur auf das Gesamtergebnis bislang unbeachtet blieb.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Cargo-eXchange – Adaption des Advanced-Truckload-Geschäftsmodells auf den deutschen Dienstleistungsmarkt“ als Verbundprojekt der Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS, der CargoLine GmbH, der Schmidt-Gevelsberg GmbH und der Wanko Informa-

¹¹⁶ Aus diesem Grund wird im vorliegenden Fall von „variablen“ Tauschpunkten gesprochen.

tionslogistik GmbH wurde dieser Ansatz im wissenschaftlichen Kontext aufgegriffen und u. a. versucht, nach amerikanischem Vorbild eben diese Fahrerwechselstationen „unterwegs“ zu etablieren, um einen Fahrzeug-Mehrschichtbetrieb im Ladungsverkehr auch in Deutschland konzeptionell voranzutreiben. Um die darüber hinaus erfolgversprechenden Größeneffekte einer horizontalen Mittelstands-Kooperation (siehe *ab2*) in Anlehnung an amerikanische Großflotten in die Forschungsarbeit einzubeziehen, konzentrierte sich die Forschungsarbeit auf eine mittelständisch geprägte Stückgutkooperation und deren Hauptlaufverkehre (vgl. Abbildung 8, Seite 41). Das Verbundprojekt wurde ebenfalls im Rahmen der Förderinitiative „Intelligente Logistik im Güter- und Wirtschaftsverkehr“ des BMWi gefördert und im Zeitraum von 2008 - 2010 mit 1,6 Mio. € unterstützt. Entsprechend der Ausführungen des Abschlussberichtes (vgl. Walther, Berning, Drexl, Kunzendorf, und Schlutter (2011), S. 112 ff) verursachte die separate Einsatzplanung von Fahrern und Fahrzeugen dabei jedoch grundsätzlich einen wesentlich erhöhten Planungs- und Kontrollaufwand, nicht zuletzt durch zusätzlich notwendige Transferfahrten von Fahrern per Kleinbus zwischen einzelnen Stationen, ohne die ein Großteil der Transportaufträge während der Untersuchung nicht verplant werden konnte. Zudem konnte ein erheblicher Anteil an Aufträgen nicht ausgeführt werden, da das verfügbare Zeitfenster einer Tagesruhezeit nicht ausreichte, einen zusätzlichen Auftrag durch den ersetzten Fahrer bis zum Ende auszuführen. Insgesamt musste auf Basis der Rechenexperimente konstatiert werden, dass „unabhängig von der Zahl der Fahrerbasen [...] durch eine getrennte Fahrer- und Fahrzeugplanung keine Einsparungen gegenüber der IST-Situation mit fester Fahrer-Fahrzeug-Bindung erzielt wurde“ (vgl. Walther et al. (2011), S. 114). Eine zu erwartende unternehmensübergreifende Vermischung von Equipment und Fahrpersonal (als Folge der angestrebten Flexibilität) wirft ohnehin eine Vielzahl von an dieser Stelle nicht zu beantwortenden versicherungs- und arbeitsrechtlichen Fragestellungen auf.

Die allgemeine Akzeptanz des Slip-Seat-Konzeptes in Deutschland darf im Hinblick auf den bereits erläuterten Fahrermangel bezweifelt werden, da weder Abwesenheitszeiten der Fahrer von zu Hause minimiert, noch Arbeitsbedingungen insgesamt grundlegend verbessert werden.

Eine stetige Weiterentwicklung im Kontext der Grundlagenforschung erfährt die Idee einer separaten Planung von Fahrer- und Fahrzeugeinsätzen und deren Synchronisation durch die Arbeiten von DREXL und IRNICH. So soll das Projekt „SynchroTrans“ (seit 2010 von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert und seit Juni 2014 um eine erneute 30-monatige Laufzeit verlängert)

einen Beitrag zum wissenschaftlichen Fortschritt bei der Modellierung und Lösung von Routenplanungsproblemen in der Transportlogistik bei Vorliegen mehrfacher Synchronisationsanforderungen auftragsbezogener, zeitlicher, räumlicher und ladungsbezogener Art leisten und einen generisch algorithmischen Ansatz zur simultanen Berücksichtigung mehrfacher Synchronisationsbedingungen entwickeln (vgl. Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Lehrstuhl für BWL inb. Logistikmanagement (2016)). Für einen eingehenden Überblick zum Forschungsstand vgl. Drexl, Rieck, Sigl, und Berning (2013). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der „Fahrerwechsel an variablen Tauschpunkten“ einerseits für den nationalen Komplettladungsverkehr nachgewiesenermaßen der Praktikabilität und Effizienzsteigerung entbehrt, im wissenschaftlichen Sinn jedoch eine umfassende Beachtung und Bearbeitung erfährt. Aus dem aktuellen Lösungsfindungsprozess kann dieser Pfad (ca2) also ausgenommen werden.

Wechsel an fixierten Tauschpunkten (ca3)

Ein letztes Szenario zum „Fahrertausch unterwegs“ beschreibt den Wechsel des Fahrers an fixierten, also im Vergleich zum vorher beschriebenen Fall stets wiederkehrenden Tauschpunkten, die nicht dem Heimat- bzw. Ausgangsdepot des Anbieters entsprechen. Dies kann im Rahmen der bereits bekannten infrastrukturellen Umgebung von Fahrerstützpunkten geschehen, wobei die betreffenden Fahrer innerhalb eines Wochenzyklus nach Schichtende jedoch am immer gleichen Stützpunkt das Fahrzeug verlassen. In Konsequenz daraus beschränkt sich die Anzahl an innerhalb eines Wochenzyklus auf einem Fahrzeug eingesetzten Fahrern i. d. R. auf zwei (das variable „Slip-Seat-Konzept“ führt zu ständig wechselndem Fahrpersonal), wodurch der zusätzliche Planungsaufwand für eine getrennte Fahrer- und Fahrzeugeinsatzplanung nach DEXL und IRNICH entfällt. Da Fahrerstützpunkte als solche in Europa selbst von großen Transportorganisationen bisher kaum installiert und genutzt werden, finden solche Fahrerwechsel, wenn sie denn überhaupt zur Anwendung gelangen, i. d. R. auf einfachere Weise statt. Auf ca. der Hälfte der regelmäßig zu bewältigenden Transportentfernung wird dauerhaft ein günstiges Hotel- bzw. Pensionszimmer gemietet, welches zur Ableistung der Ruhezeiten der Fahrer zur Verfügung steht. Zu Beginn eines (Wochen-) Tourenzyklus starten beide Fahrer am wohnortnahen Heimatdepot (Q). Fahrer A übernimmt dabei den ersten Teil der Transportwegstrecke von (Q) bis zum entsprechenden

Tauschpunkt (T), verlässt dort das Fahrzeug und Fahrer B übernimmt das Fahrzeug. Dabei bewältigt Fahrer B den Rest der Transportwegstrecke vom Übernachtungspunkt (T) bis zum Zielort (S). Im unmittelbaren Anschluss an den beschriebenen Transport beginnt mit der Bearbeitung eines gegenläufigen Transportauftrages die Rückfahrt von (S) nach (Q). Fahrer B bewältigt dabei die Wegstrecke von (S) nach (T), verlässt nach Ankunft an (T) das Fahrzeug und Fahrer A übernimmt erneut den Arbeitsplatz, bewältigt die Strecke von (T) nach (Q), von wo aus der Umlauf erneut beginnt. Zum Wochenende kehren beide Fahrer gemeinsam zum Heimatdepot zurück.

Alternativ versuchen größere Transportbetriebe durchaus Fahrer zu beschäftigen, welche in mittelbarer Nähe zu potentiellen Tauschpunkten wohnen und entsprechende Transportumläufe ab dem Tauschpunkt anteilig bearbeiten. Die Notwendigkeit der bereitgestellten Übernachtungsmöglichkeit entfällt, der administrative Aufwand bei Urlaub oder Krankheit eines nicht am Heimatdepot des Transportdienstleisters wohnenden Fahrer steigt jedoch. Je nach Belade- und Rüstzeitenbedarf kann die jeweilige Wegstreckenabschnittsentfernung zwischen Be- bzw. Entladestellen (Q, S) und dem Tauschpunkt (T) auch hier nicht größer sein, als im Rahmen einer halben Lenkzeit eines Fahrers maximal darstellbar (siehe Kapitel 2.2.3.3.). Auch in diesem Szenario gelingt es, die Ruhezeiten der Fahrer von der Einsatzzeit des Fahrzeuges zu lösen und dadurch Stillstandszeiten zu vermeiden. Jedoch steht diesem gewissermaßen starren linienähnlichen Konzept die Notwendigkeit eines täglich verfügbaren paarigen Ladungsaufkommens zwischen (Q) und (S) gegenüber, welches mittelständisch geprägten Ladungsverkehrsanbietern nur selten tatsächlich zur Verfügung steht. Ein allgemeingültiger Lösungsansatz ist aus diesem Grund auch hier nicht ableitbar.

Nachdem also die Analyse der Handlungsoptionen zur Maximierung der zeitlichen Auslastung des Fahrzeuges im Bereich der „unterwegs stattfindenden Maßnahmen“ keine stabilen und praktikablen Lösungen aufgezeigt konnte, werden nun abschließend die Optionen zum **Fahrertausch am Ausgangs- bzw. Heimatdepot (cb)** untersucht. Hierbei steht im Gegensatz zum Optionenbündel (ca) die Suche nach praktikablen Handlungsoptionen zur Darstellung eines stetigen Fahrerwechsels am Heimatdepot im Fokus.

Passende Auftragsentfernung (cb1)

Die denkbar einfachste Möglichkeit, einen Fahrertausch stets am Heimatdepot stattfinden zu lassen besteht darin, die Frage, ob vorliegende Transportaufträge ab dem Heimatdepot bzw. der Heimatregion im Selbsteintritt bearbeitet werden sollen, danach zu entscheiden, ob die jeweils zu überwindende Auftragsentfernungen eine Heimkehr des Fahrers im Rahmen der zur Verfügung stehenden Lenkzeit zulässt oder nicht. Die Transportentfernung darf also den Wert nicht übersteigen, der innerhalb einer halben verfügbaren Lenkzeit zu erreichen ist. Ausgehend von den in Kapitel 2.2.3.3. erarbeiteten Produktivitätskennzahlen ergibt sich ein Maximalradius um das Heimatdepot von maximal 4,5 täglichen Lenkstunden, multipliziert mit 65 km/h mittlerer Geschwindigkeit, also ca. 290 km, innerhalb dessen die Senken der einzelnen Aufträge räumlich verortet sein müssen. Sind darüber hinaus Belade- und Rüsttätigkeiten zu berücksichtigen, so verringert sich der Aktionsradius ausgehend von 7 h täglich verfügbarer Gesamtlenkzeit (siehe Abbildung 11, Seite 59) auf maximal 228 km. Weitere Anschlussfahrten an eine Beladestelle der Rücktour mindern den Aktionsradius zusätzlich. Zwar ist im Geschäftsmodell des „Depotgebundenen Ladungsverkehrs“ (siehe Kapitel 2.2.3.1.) ein solches Szenario grundsätzlich denkbar, als allgemeingültiger Lösungsansatz für nationale mittelständisch geprägte Ladungsverkehrsanbieter kann dieses Verfahren jedoch nicht gelten. Die eingangs erwähnte, stets unvorhersehbar variierende Anzahl an kundenseitig beauftragten Transporten und deren zudem häufig und unplanbar variierenden Senken lassen Zweifel an einem hinreichend stabil vorkommenden, im Rahmen der skizzierten Restriktionen durchführbaren Aufkommensanteil zu.

Möglicherweise gelingt es Betreibern größerer Fuhrparks innerhalb deren entsprechend umfangreicheren Auftragsportfolios passende Aufträge in wiederkehrendem Maße zu identifizieren, um dabei einen Teil des Gesamtfuhrparks durch den ermöglichten sequentiellen Fahrerwechsel in eine neue Einsatzform zu überführen. Allerdings scheint auch dann die praktische Umsetzung und das Generieren von realen Kostenvorteilen wie unter Abschnitt 3.2. beschrieben schwierig, da Belade- und Entladezeiten auch für die zweite Schicht abgestimmt und nutzbar sein müssen. Ansatzweise kann ein solcher Lösungsbeitrag unter Einhaltung der dargelegten notwendigen Voraussetzung zwar zur anteiligen Verbesserung der Fuhrparkauslastung beitragen, eine insgesamt hohe Wirksamkeit ist jedoch in Anbetracht der realen Rahmenbedingungen nicht zu erwarten.

Begegnungsverkehre (cb2)

Um die Notwendigkeit einer restriktierten Auftragsentfernung zu entkräften und trotzdem einen steten Fahrertausch am Heimatdepot zu gewährleisten, kann der sog. Begegnungsverkehr als Handlungsoption gelten. Stellvertretend soll folgende Definition aus der Literatur den Begegnungsverkehr zunächst charakterisieren. „Zwei Transportmittel fahren zeitlich abgestimmt aufeinander zu und tauschen ihre Transportobjekte am Treffpunkt möglichst unter Einsatz standardisierter Ladevorrichtungen¹¹⁷ untereinander aus“ (vgl. Klaus und Krieger (2004), S. 40). Im Verständnis der bisher analysierten Strategien entfernt sich ein Fahrer im Begegnungsverkehr mit seinem Fahrzeug also nun von seinem Heimatdepot (dem Punkt des Fahrerwechsels) maximal so weit, dass eine Heimkehr zum Heimatdepot im Rahmen der zur Verfügung stehenden Lenkzeit möglich bleibt.

Im Gegensatz zur Strategie (*cb1*) ist die reale Auftragsentfernung nicht an die maximal zurücklegbare Wegstrecke eines Fahrers gebunden, da am Begegnungspunkt die Ladeeinheit zum Weitertransport von einem aus der Zielregion des Transportauftrages entgegengekommenen, gleichermaßen eingesetzten Fahrer und dessen Fahrzeug übernommen wird. Gleiches gilt für den Transportauftrag des begegnenden Fahrzeuges. Abbildung 19 (Seite 127) stellt das Grundprinzip des Begegnungsverkehrs noch einmal grafisch dar.

¹¹⁷ Der Begriff „Ladevorrichtung“ wird an dieser Stelle gleichbedeutend mit dem Begriff „Ladeeinheit“ (siehe Seite 42) verwendet.

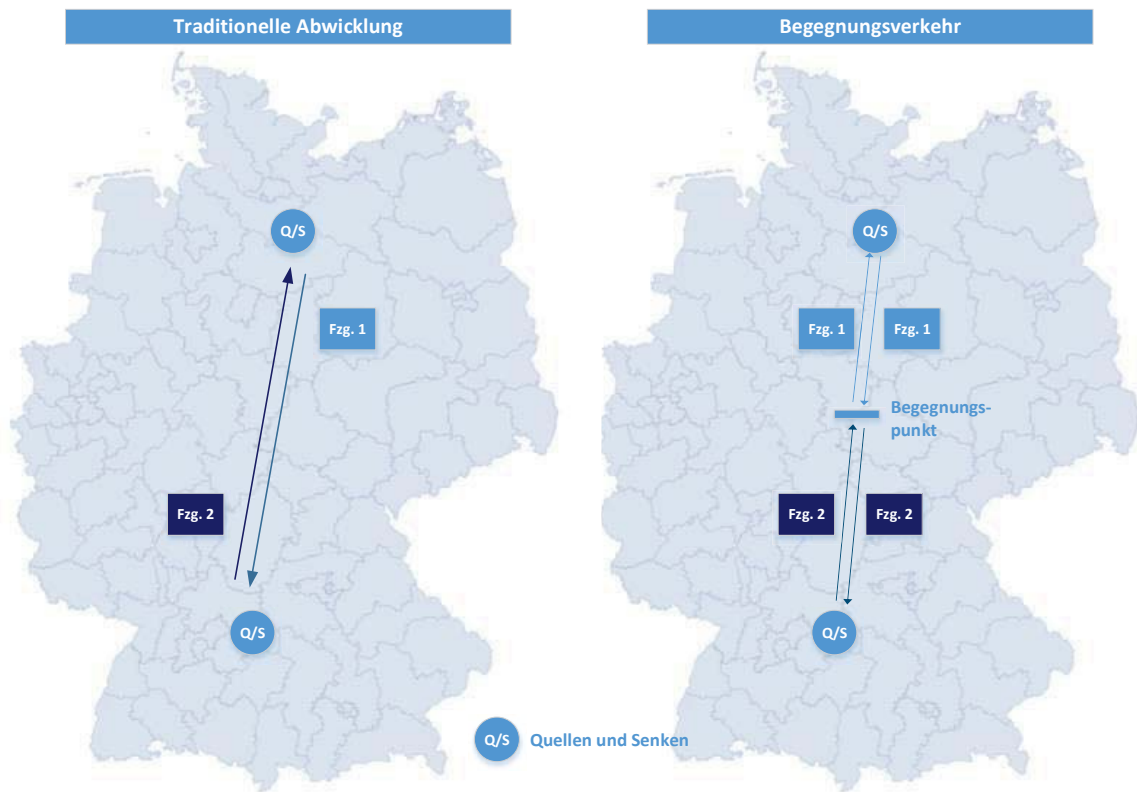


Abbildung 19: Der Begegnungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Müller und Klaus (2009), S. 69

Der Begegnungsverkehr ermöglicht bei konsequenter Umsetzung also grundsätzlich erstmals die sequentielle Mehrfachbesetzung eines Fahrzeuges durch mögliche Fahrerwechsel am immer gleichen (Heimat-)Ort, losgelöst von der eigentlichen Auftragsentfernung. Zudem werden alle bisher aufgezeigten notwendigen Anstrengungen, Investitionen oder zusätzliche Planungsaufwände bzgl. eines Fahrerwechsels „unterwegs“ dabei umgangen. Das zu erschließende Potential der ermöglichten Maximierung der zeitlichen Auslastung der eingesetzten Ressourcen steht theoretisch in vollem Umfang zur Verfügung.

Die Gründe für den Mangel an praktischen Anwendungsbeispielen dieser doch sehr vielversprechenden Handlungsoption im Ladungsverkehr sind jedoch ebenso vielschichtig. Bereits in Kapitel 2.2.3.1. wurde erstmals im Kontext des dort vorgestellten Geschäftsmodells „Systemverkehre“ auf die Vorteile des Begegnungsverkehrs hingewiesen, jedoch auch als Voraussetzung einer erfolgreichen Umsetzung dessen, ein gleichmäßiges Ladungsaufkommen und eine stabile Grundlast auf entsprechenden Relationen identifiziert. So wurde diese Bedingung in ähnlicher Form bereits als Voraussetzung der erfolgreichen Implementierung der Handlungsoptionen (ca3) und (cb1) identifiziert, wobei

jedoch gleichzeitig der Erfüllungsgrad eben dieser Bedingung bei nationalen Ladungsverkehrsanbietern als nicht hinreichend beschrieben werden musste.

Aus diesem Grund findet die Umsetzung des Begegnungsverkehrs tatsächlich bis heute vor allem innerhalb von Paket-, Stückgut- oder Teilladungsnetzen statt. Der Zwang zur Konsolidierung aufgrund nicht wirtschaftlich zu bedienender Direktverkehre mit kleinteiligen Sendungsgrößen (vgl. Fleischmann (2008b), S. 141) stellt dabei einerseits die Notwendigkeit der Implementierung von Ladungsverkehren in systematisierter Form in Transportnetzwerken dar (Abbildung 8, Seite 41), andererseits lässt sich daraus ein signifikantes charakteristisches Merkmal ableiten, welches im Komplettladungsverkehr naturgemäß nicht verfügbar ist. So existiert im Rahmen der Sendungskonsolidierung stets die Möglichkeit, Aufkommensschwankungen jenseits der beschriebenen nötigen Grundlast an Sendungen und damit einhergehender Erlöseinbußen im Kontext eines wirtschaftlichen Betriebes des Fahrzeuges zu kompensieren. Das bedeutet, selbst mengenmäßig (Volumen oder Gewicht) nicht voll ausgelastete Hauptlaffahrzeuge der Stückgut- und Paketnetzwerke können trotzdem durchaus wirtschaftlich erfolgreich betrieben werden. Im hier betrachteten Komplettladungsverkehr, dessen singuläre Sendung die Mengenkapazität des Fahrzeuges auslastet (siehe 2.2.1.), bedeuten Mengen- bzw. Aufkommensschwankungen stets Leerfahrten, die letztendlich stabilen systematisch geführten (Begegnungs-)Linienverkehren entgegenstehen, da diese weder im ökonomischen noch im ökologischen Kontext plausibel begründbar sind. Gründe für den Mangel an stabilem Sendungsaufkommen und einer dadurch gewährleisteten gleichmäßig hohen Ressourcenauslastung werden in der Literatur vor allem durch schwankende Nachfragen nach bspw. speziellen Konsumgütern (Weihnachtsgeschäft, Baumarktsaison), also einer entsprechend abgeleiteten schwankenden Transportnachfrage und der in Deutschland grundlegend unpaarig verlaufenden volkswirtschaftlichen Güterströme gesehen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 62). In Folge dessen finden heute Begegnungsverkehre im Komplettladungsverkehr außerhalb der Hauptlaufabwicklungen von Stückgut- und Paketdienstnetzen eher in „improvisierter und unsystematisierter Art und Weise“ statt (vgl. ebenda) und können in der Mehrzahl der Fälle nicht ganzjährig aufrechterhalten werden.

Auch die wissenschaftliche Behandlung dieser Handlungsoption findet derzeit zum überwiegenden Teil im Themenfeld der Linienverkehrs-, also der taktischen Planung der Fernverkehrsorganisation in Stückgut- oder eben Paketnetzwerken statt. So berücksichtigen exemplarisch WIEBERNEIT und

auch BEDNARCZYK, aufbauend auf den Ausführungen von WLČEK, den Begegnungsverkehr im Rahmen ihrer Arbeiten¹¹⁸ als entsprechende Handlungsoption in deren jeweiligen Untersuchungsräumen, mit welcher jedoch stets Konsolidierungsziele verfolgt werden. Mit Bezug zum Komplettladungsverkehr werden Begegnungsverkehre bislang auf ausschließlich deskriptive Weise in der Arbeit von MÜLLER und KLAUS behandelt, die zwar die Vorteile und Umsetzungshemmnisse ebenfalls erkennen, jedoch keine konkreten und stichhaltigen Umsetzungsstrategien für die mittelständische Anbieterstruktur von Ladungsverkehren vorlegen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 68-70).

Aus praktischer Perspektive wurde dem Thema in mittelfristiger Vergangenheit auf Basis der theoretischen Erfolgsaussichten eine entsprechend hohe Bedeutung beigemessen. So sind zunächst die Bemühungen der E.L.V.I.S. AG, Alzenau hinreichend zu würdigen, die bereits im Jahr 2009 mit der Entwicklung der Plattform „Truck-meets-Truck-System (TMTS)“ und dem Versuch deren Implementierung, die Idee „spontaner Begegnungsverkehre“ vorantrieben. Das Funktionsprinzip von TMTS basiert darauf, dass die Partnerbetriebe der Kooperation E.L.V.I.S. ihre Ladungen permanent in einer vom Fraunhofer IML, Dortmund umgesetzten Web-Plattform einspeisen. Das System prüft dabei regelmäßig, ob zwei Ladungen zusammenpassen, also die erforderlichen Parameter erfüllen und somit ein Begegnungsverkehr möglich ist. Wurden entsprechend zwei zueinanderpassende Aufträge identifiziert, erfolgt ein entsprechender Hinweis an die jeweiligen Disponenten, die letztlich entscheiden, ob die Aufträge als Begegnungsverkehr abgewickelt werden (für weiterführende Informationen vgl. Heinrichmeyer (2008), S. 24-25).

Um eine Vermischung des eigenen Equipments der teilnehmenden Partner zu vermeiden, wurde gleichzeitig ein Pool von 100 identischen Trailern aufgebaut und den Partnern zur Nutzung im System zur Verfügung gestellt. Trotz der innovativen Plattform und des nachweislich vorhandenen Potentials zur Produktivitätsmaximierung wurde das Konzept bereits 2010 aus Mangel an entsprechend regelmäßig identifizierter paariger Sendungsströme und dem damit einhergegangenen zunehmenden Beteiligungsmangel der Partnerbetriebe wieder eingestellt. Der zuvor beschriebene Mangel an einem hinreichend stabilen begegnungsverkehrsfähigen Sendungsaufkommen einzelner Anbieter konnte offenbar selbst im Maßstab der beteiligten

¹¹⁸ Für weiterführende Informationen zur taktischen Planung von Verkehrsorganisationen in Stückgutnetzwerken vgl. Wlček (1998) und Wieberneit (2008) sowie zur Linienverkehrsplanung in Paketnetzwerken vgl. Bednarczyk (2012).

Kooperationspartner und auf Basis des paarigen Matchings im Gesamtauftragsbestand nicht hinreichend überwunden werden.

Trotz des dadurch ausgebliebenen Nachweises der Praktikabilität des Systems, bauen die Arbeiten von BAUMGÄRTEL, KUNZE, ROSEMEIER und NEITMANN konkret auf der Idee des spontanen Begegnungsverkehrs zwischen unabhängigen (und sich in der Weiterentwicklung bislang unbekannten) Unternehmen auf. Die Autoren entwickelten im Rahmen eines vom BMWi im Programm „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ mit 231.000 € geförderten Forschungsprojekts „DTM – Dynamic Truck Meeting“ einen umfangreichen Prozess- und Schnittstellenleitfaden zur Durchführung eben dieser spontanen Begegnungsverkehre (zur Prozessbeschreibung vgl. Kunze, Baumgärtel, Neitmann, und Rosemeier (2012) und zur Schnittstellenbeschreibung vgl. Baumgärtel, Kunze, Rosemeier, und Neitmann (2012)).

Dabei bleibt jedoch festzuhalten, dass diese Arbeiten der Idee spontaner Begegnungsverkehre nicht zu weiteren Erfolgen verhelfen konnten, da bis zum Entstehungszeitraum der vorliegenden Arbeit keine weiteren Entwicklungen am Markt unter Anwendung von TMTS oder den Gedanken aufgreifende Plattformen beobachtet werden konnten. So scheiterte das vorgestellte Konzept auch nicht am Mangel unterstützender technischer (Kommunikations-) Lösungen und fehlendem Prozessverständnis, als vielmehr am nicht hinreichend verfügbaren Auftragsvolumen durch geringe Beteiligung der Partner und ferner an zu großzügigen Freiheitsgraden (Disponent entscheidet, ob Aufträge ins System eingestellt werden; Disponent entscheidet letztendlich, ob Matchings auch durchgeführt werden; zusätzliche Preisverhandlungen möglich usw.) des Systems. Bis heute sind darüber hinaus keine weiteren konzeptionellen Entwicklungen von alternativen Lösungen zur praktikablen Implementierung des Begegnungsverkehrs in die Produktionsabläufe der betreffenden Unternehmen bekannt. Lediglich flankierende Maßnahmen, wie das derzeit in der thematischen Umgebung laufende Projekt „Swap-Station“, mit Hilfe dessen versucht wird, durch die Bereitstellung von Infrastruktur in Form von vorgehaltenen Trailertauschplätzen gegen Entgelt den Begegnungsverkehr zu fördern (vgl. SwapStation GmbH (2016)).

Der Begegnungsverkehr und vor allem dessen Implementierungsstrategien in die nationale Ladungsverkehrsproduktion sind also bis zum aktuellen Zeitpunkt weder im wissenschaftlichen Kontext hinreichend durchdrungen, noch in Form von praktischen Anwendungsszenarien im Markt etabliert.

Letztendlich zeigt jedoch der direkte Vergleich des Begegnungsverkehrs mit allen bisher aufgezeigten Handlungsoptionen die niedrigsten Restriktionen zur theoretischen Überführung des Konzeptes in eine praktikable Anwendung bei gleichzeitig hohem Potential, die Produktivitätsziele aus Kapitel 3.3.2. zu realisieren.

So entfällt einerseits die Notwendigkeit einer zusätzlich zu installierenden Infrastruktur in Form von Fahrerbasen oder anderer externer Übernachtungsmöglichkeiten für das Fahrpersonal durch die tägliche Rückkehr zum wohnortnahen Ausgangsdepot mit einer in Konsequenz dessen zu erwartenden Attraktivitätssteigerung des Fahrerberufes. Andererseits erscheint das Begegnungsverkehrskonzept nicht zuletzt auf Basis der bereits jahrzehntelangen erfolgreichen Umsetzung in anderen Teilmärkten wie dem Stückgut- oder KEP-Markt zudem als vielversprechendste Handlungsoption zur Maximierung der zeitlichen Auslastung von Fahrzeugen. Zukünftige Untersuchungen müssen also darauf fokussieren, bisherige Umsetzungshemmnisse zu identifizieren und alternative, praktikable Lösungen zu entwickeln. Im Vordergrund der Untersuchung müssen dabei

- die Überwindung der bisher offensichtlich das System hemmenden Notwendigkeit direkter Paarigkeit als Charakteristika für begegnungsfähige Sendungen,
- die Reduktion von Freiheitsgraden (Spontanität) bei gleichzeitiger Reduktion des operativen Risikos der teilnehmenden Partner,
- die Maximierung des insgesamt begegnungsfähigen Sendungsvolumens durch neue Kombinationskonzepte und
- die systematisierte Abwicklung von Begegnungsverkehren in einem stetigen kooperativ organisierten Netzwerk

stehen, um eine sequentielle Mehrfachbesetzung von Lkw auch im Ladungsverkehr durchzusetzen und damit Lkw-Ladungsverkehre zukünftig insgesamt effizienter und damit ökologisch verträglicher zu gestalten.

3.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse der Handlungsalternativen-Analyse

Die Ergebnisse der vorangegangenen Analyse zeigen einerseits einen sehr unterschiedlichen Grad der bisherigen wissenschaftlichen Bearbeitung einzelner Handlungsoptionen, andererseits ein höchst unterschiedliches Maß an Potential jener Maßnahmen, die Produktivität der eingesetzten Ressourcen in angestrebter Dimension positiv zu beeinflussen. So hat sich gezeigt, dass der Bereich der „Tourenplanung (aa)“ innerhalb der wissenschaftlichen Disziplinen Mathematik und Informatik umfassende Beachtung findet und eine nur schwer ganzheitlich zu erfassende Anzahl an Publikationen zu verschiedensten speziellen Themenbereichen verfügbar ist. Gleichwohl sind für den Komplettladungsverkehr aufgrund des innerhalb der Familie transportlogistischer Probleme vergleichsweise einfachen Anwendungsfalls keine bedeutenden neuen Erkenntnisse in diesem Bereich zu erwarten.

Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass der Ladungstausch (ab), als bisher einzig verfügbares Instrument zur Optimierung des Einsatzes des Eigenfuhrparks, eine nahezu ganzheitliche Durchdringung des Anbietermarktes erreicht hat. Weiterführende Ideen, den einfachen Ladungstausch über beispielsweise „Elektronische Marktplätze (ab1)“ in übergeordnete „Ladungspools (ab3)“ mit oder ohne zentralisierter Disposition zu überführen, die zwar ausführlich wissenschaftlich untersucht und dokumentiert wurden, jedoch nicht zuletzt aufgrund unterschiedlicher natürlicher Egoismen der Einzelunternehmen nicht praktikabel erscheinen und entsprechend bisher nicht umgesetzt werden konnten.

Darüber hinaus ließ sich ein offenbar enormer Wille zur Zusammenarbeit von wirtschaftlich und rechtlich eigenständigen Unternehmen in „Horizontalen Unternehmenskooperationen (ab2)“ feststellen, deren tatsächliche Kooperation jedoch derzeit keine gemeinsame Produktion einer exklusiven Dienstleistung erkennen lässt. Vielmehr konzentrieren sich die Bemühungen auch an dieser Stelle auf den zuvor genannten, wenn auch an dieser Stelle im elitären Kreis angebotenen, Ladungstausch sowie Mengenbündelung bei gemeinsamer Beschaffung. Dennoch birgt die horizontale Unternehmenskooperation von Ladungsverkehrsanbietern durch deren virtuelle Größe ein nicht zu unterschätzendes Potential zur Teilhabe am im Rahmen der vorliegenden Arbeit angestrebten Lösungsangebot, sodass auf die „Kooperation“ als solche zu einem späteren Zeitpunkt zurückgegriffen wird.

Mit noch engerem Bezug zum dargelegten Problem der nicht hinreichend erreichten zeitlichen Auslastung der im Ladungsverkehr eingesetzten Fahrzeuge, ergab die Untersuchung verschiedener Fahrerwechselstrategien zum Teil signifikant unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf Wirksamkeit, notwendige Zusatzinvestition und wissenschaftliche Bearbeitung jeder Einzelmaßnahme. So zeigte die klassische „Doppelbesatzung (ca1)“ ein vergleichsweise niedriges Maximierungspotential der Einsatzdauer des Fahrzeuges aufgrund zusätzlich zu berücksichtigender rechtlicher Restriktionen mit einer zudem insgesamt nur bedingten Wirksamkeit im Rahmen hoher Auftragsentfernungen. Die Strategie des sequentiellen „Fahrerwechsel unterwegs (ca)“ kam innerhalb der untersuchten Umsetzungskonzepte nicht umhin, zusätzliche Infrastruktur in Form von Fahrerbasen (ca2), an denen Fahrer im Rahmen komplexer Planungsverfahren nach Schichtende getauscht und später anderen Fahrzeugressourcen zugeordnet werden können, zu etablieren.

Der Mangel an Akzeptanz solcher Methoden durch das Fahrpersonal und der wissenschaftlich nicht nachgewiesene Gesamterfolg dieses Konzeptes schließen diese Strategie von einer weiteren Betrachtung aus. Der Mangel an konstant verfügbarem Ladungsaufkommen auf einer Relation verhindert weiterhin die Einrichtung von sequentiell bemannten Linien, bei der das Fahrpersonal an immer gleicher Stelle (Hotel, Pension o. ä. Übernachtungsmöglichkeit außerhalb des Lkw) ausgetauscht werden kann (ca3). Zwar sind auf vergleichsweise einfacherem Weg und unter Einsatz geringerer Zusatzkosten die Maximierungsziele grundsätzlich erreichbar, über das notwendige stabile Ladungsaufkommen verfügen jedoch die wenigsten Anbieter, sodass auch in diesem Fall nicht von einer umfassend praktikablen Lösung gesprochen werden kann.

Letztendlich besitzt die Strategie des „Fahrertausch am Ausgangsdepot“ das größte Potential zur Maximierung der zeitlichen Auslastung des Fahrzeuges. Zudem stellt die Heimkehr des Fahrers nach Schichtende unter der Maßgabe, den beschriebenen Fahrermangel zukünftig zu entschärfen und Arbeitsbedingungen für das Fahrpersonal grundsätzlich zu verbessern, den einzig akzeptablen Lösungsweg dar.

Für eine Realisierung dessen bei gleichzeitigem Erreichen der zeitlichen Auslastungsziele ist dem Begegnungsverkehr am Ende der Analyse das größte Potential zu konstatieren. So wird die Einrichtung von Fahrerwechselstationen o. ä. obsolet und die Verfügbarkeit von steten Auftragsvolumina, die aufgrund ihrer charakteristischen Merkmale eine angepasste unternehmensinterne Fahrzeugdisposition ermöglichen (cb1), entfällt. Bisher ist dem Begegnungsverkehr

selbst eine nur unzureichende Bearbeitung in wissenschaftlichem Kontext zu attestieren, sodass bis zum aktuellen Zeitpunkt keine nachweislich praktikablen Realisierungskonzepte für unternehmensübergreifende Begegnungsverkehre (cb2) verfügbar sind.

Letztendlich lässt sich nunmehr folgend eine Forschungshypothese ableiten, die sich aus einer anteiligen Maßnahmenweiterentwicklung der überprüften Strategien (ab2) und (cb2) zusammensetzt. Zuvor fasst Tabelle 8 (Seite 135) die Ergebnisse der Untersuchung aktueller Lösungsansätze in Praxis und Literatur noch einmal zusammen. Abbildung 20 erklärt das dabei verwendete Bewertungsschema.

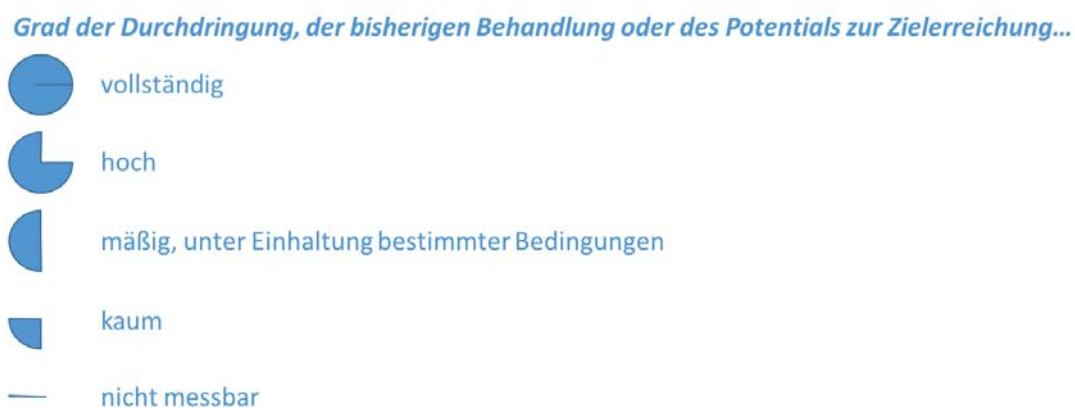


Abbildung 20: Bewertungsschema der Praxis- und Literaturanalyse

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 8: Ergebnisübersicht der Analyse bisheriger Lösungsansätze in Praxis und Literatur

	(a)	(ab1)	(ab2)	(ab3)	(ca1)	(ca2)	(ca3)	(cb1)	(cb2)
	Tourenplanung / Disposition	Elektronische Marktplätze	Horizontale Unternehmensoperationen	Ladungspool	Doppelbesatzung	Wechsel an variablem Tauschpunkt	Wechsel an fixiertem Tauschpunkt	Passende Auftragsanfertigung	Begabungsverkehre
Grad praktischer Implementierung									
Grad wissenschaftlicher Erschließung									
Literaturquellen	Exemplarsicht: Stumpf (1998) Pankratz (2002) Bock (2004) Ohr (2008) Rieck (2008) Prescott-Gagnon et al. (2010) Goel (2010) Thoth und Vigo (2014) Fraunhofer IML (2016)	Singer (2004) Wroblewski (2005) DSLV (2012) Bottler (2015a) Bottler (2015b)	Wick (1998) Kieberg (2000) Bahram (2003) Janz (2003) Mack (2003) Rösler (2003) Vahrenkamp (2003) Kraus (2007) Rieck (2008) Wiebernet (2008) Müller und Klaus (2009) Walther (2010) Bednarczyk (2012) Betzke (2014) Bollig (2014) Hassa (2013 und 2015) Lohre et al. (2015) ELVIS (2016a und 2016b) Klaus (2016a und 2016b)	Drexel et al. (2011) Schneider (2013) Friedrichsmeyer (2013) Bretzke (2014) Tummel (2015) ELVIS (2016c) Frey (2016) FR8 Revolution Inc. (2016)	VO EOG 561/2006 Rang (2006b)	Müller und Klaus (2009) Walther (2010) Walther et al. (2011) Drexel et al. (2013)	Wick (1998) Wiebernet (2008) Bednarczyk (2012)	Kraus (2007) Wiebernet (2008) Bednarczyk (2012)	Klaus und Krieger (2004) Fleischmann (2008b) Heinrichmeyer (2008) Müller und Klaus (2009) Kunze, Baumgärtel, Netmann, et al. (2012) Kunze, Baumgärtel, Rosemeier, et al. (2012) SwapStation GmbH (2016)
Potential zur Maximierung der zeitlichen Auslastung des Fzg.									
Weitere Berücksichtigung	Nein	Nein	Ja, in Teilen	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

3.4. Ableitung des Lösungsansatzes

Auf Basis der bislang gewonnenen Erkenntnisse soll untersucht und quantifiziert werden, ob und welche Vorteile durch eine sequentielle Mehrfachbesetzung von Lkw in Ladungsverkehrsnetzwerken erreicht werden können. Die dafür erforderliche Fahrer-Fahrzeug-Entkoppelung und Einführung variabler Begegnungsverkehre zur Überwindung der bisher im Begegnungsverkehr notwendigen direkten Auftragspaarigkeiten erfordert eine Neuorganisation und neue Planung des gesamten Ladungsverkehrs im Rahmen von variabel kombinierten Begegnungsverkehrslinien, eröffnet damit allerdings die Möglichkeit, die angestrebte Produktivitätssteigerung durch Maximierung der zeitlichen Auslastung jedes Fahrzeugs zu erreichen, die Arbeitsbedingungen des Fahrpersonals grundlegend zu verbessern, die vorhandene Infrastruktur effizienter zu nutzen sowie mittelfristig eine Verlagerung des Hauptlaufs auf umweltverträglichere Verkehrsmittel zu ermöglichen.

Unter dieser Prämisse verfolgen weitere Untersuchungen der vorliegenden Arbeit die folgenden Teilziele:

- Ausarbeitung neuer Konzepte zu Organisation, Abstimmung, Planung und Steuerung nationaler Ladungsverkehre zur Entkopplung der Einsatzzeit des Lkw von der Fahrerarbeitszeit (Forschungsfrage 1)
- Implementierung und Nutzung eines mathematischen Algorithmus zur Identifikation und Steuerung der variablen Begegnungsverkehre
- Untersuchung der wirtschaftlichen, ökologischen und weiteren Effekte anhand des Modells und im Rahmen eines Feldversuchs (Forschungsfrage 2 + 3)

Wie bereits zuvor festgestellt, kann eine signifikante Steigerung der Produktivität des Lkw-Einsatzes letztendlich zielführend nur durch eine Fahrer-Fahrzeug-Entkopplung erreicht werden, um das Fahrzeug durch sequentielle Mehrfachbesetzung unabhängig von der einzelnen Fahrerarbeitszeit hinaus einzusetzen. Der angestrebte Fahrerwechsel wiederum kann zielführend nur am immer gleichen Ort, dem Heimatdepot, stattfinden und muss losgelöst vom eigentlichen Zielort des Transportauftrages durchführbar sein. Der Gedanke der Entkopplung von Fahrerarbeitszeiten und Fahrzeugeinsatzzeiten ist dabei nachgewiesenermaßen nicht grundlegend neu. Aufgrund folgender Rahmenbedingungen existieren bisher jedoch keine praktikablen Umsetzungskonzepte:

- Die Dominanz von kleineren und kleinsten Anbietern im Ladungsverkehrsmarkt und der darin begründete Mangel an Innovationskraft (F+E Schwäche in der Branche).
- Das derzeit eingesetzte Equipment der Marktteilnehmer ist untereinander nicht tauschfähig.
- Die Möglichkeit des Aufbaus eines unternehmensübergreifenden Transportnetzwerkes und dessen wirtschaftliche Vorteile für das Einzelunternehmen wurden bisher nicht hinreichend untersucht und nachgewiesen.

Da es einzelnen Unternehmen bedingt durch ihre Struktur und Größe also nicht gelingt, eigene Synergien zu schaffen und individuelle Transporte hinsichtlich eines sequentiellen Mehrschichtbetriebes aufeinander abzustimmen, muss unter Nutzung der charakteristischen Merkmale der bereits etablierten horizontalen Unternehmenskooperationen ein unternehmensübergreifendes Transportnetzwerk geschaffen werden, in dem der Komplettladungstransport industrialisiert, in Form von gebrochenen Verkehren abgebildet werden kann. Damit erschließt sich die Möglichkeit, die Raumüberwindung (Hauptlauf) anteilig auf Netzwerkpartner zu übertragen, den Einsatz der eigenen Fahrzeuge auf feste Aktionsradien zu beschränken und somit jeweils Mehrschichtbetriebe (Fahrerwechsel „am Depot“) in jedem am Netzwerk partizipierenden Unternehmen zu realisieren. Im Vergleich zu bestehenden Netzwerken (bspw. im Stückgut- und Teilladungsbereich) wird das Ladungsnetzwerk aus Wirtschaftlichkeits- und Effizienzgründen ohne ein zentrales HUB konzipiert werden. Um wiederum das Gesamtnetzwerk robust gegenüber Mengenschwankungen und temporären Unpaarigkeiten einzelner Verkehre zu gestalten, soll ein Routingsystem zur Variabilisierung der Linienabwicklungen in Abhängigkeit der Gesamtmengen im Netz entwickelt werden. Dies führt zu einer neuen Vernetzung und Dynamik der Transportprozesse. Die erwartete signifikante Steigerung der Produktivität der Produktionsmittel im nationalen Ladungsverkehr wird durch folgende Prozesse ermöglicht:

- Aufspaltung der eingliedrigen Transportkette in (Vor-), Haupt- und Nachlauf,
- Aufbau eines Netzwerkes mit Depot- (oder Regional-Hub-) verantwortlichen Gebietsspediteuren (dadurch festgelegter Aktionsradius der einzelnen Fahrzeuge),
- Abwicklung der jeweiligen Hauptläufe durch ein innovatives Routing-System zur Variabilisierung der Linienabwicklungen in einem Netzwerk aus Begegnungsverkehren zwischen den jeweiligen Depots.

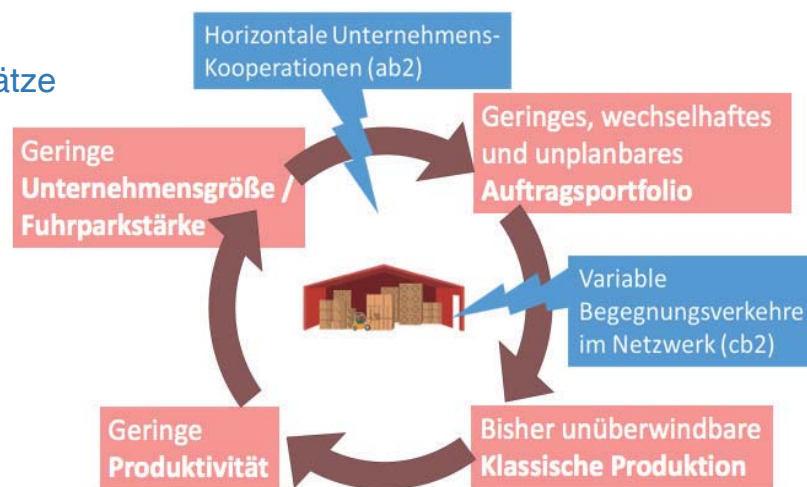
Im Gegensatz zu bisher verfolgten Ansätzen geht es also nicht darum, Fahrzeugdispositionen und Touren zu optimieren, sondern eine neu gestaltete, systematisierte Abwicklung der Verkehre zu gewährleisten. Das bedeutet, alle Fahrzeuge bewegen sich in einem restriktiven Aktionsradius und übernehmen anteilig die in diesem Gebiet stattfindenden Abwicklungsprozesse der Transportkette. Eine Heimkehr des Fahrers zum (Heimat-) Depot am Schichtende wird somit erstmalig in diesem Transportsegment, unabhängig von der tatsächlichen Auftragsentfernung, ermöglicht. Jedes teilnehmende Unternehmen eines solchen Ladungsverkehrsnetzwerkes könnte damit in die Lage versetzt werden, am industrialisierten Prozess der Ladungsverkehrsabwicklung zu partizipieren, unabhängig von dessen Unternehmensgröße und Fuhrparkstärke.

Abbildung 21 (Seite 139) zeigt abschließend noch einmal die den heutigen Produktionsprozess der Komplettladung bestimmenden charakteristischen Merkmale und deren Kausalität sowie die zuvor skizzierten Ansätze, diese nachhaltig zu verändern. Eine Zusammenfassung des dargelegten Lösungsansatzes wurde bereits auf der „International Conference LDIC 2014“ vorgestellt (vgl. Apfelstädt und Gather (2016), S. 183-191).

Aktuelle Situation



Lösungsansätze



Ziel, zukünftige Situation

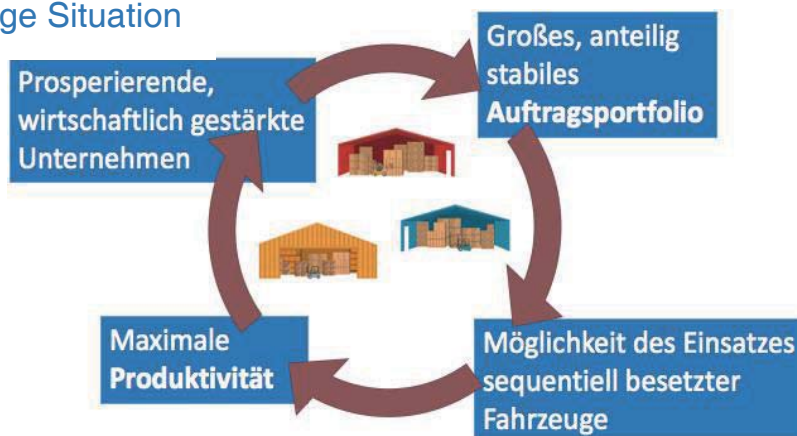


Abbildung 21: Charakteristische Merkmale der heutigen Ladungsverkehrsproduktion und Lösungsansätze

Quelle: Eigene Darstellung

4. Konzeption eines Güterverkehrsnetzes für Ladungsverkehre

Im folgenden Kapitel soll nun erstmalig ein Güterverkehrsnetzwerk für die systematisierte Abwicklung von Komplettladungsverkehren geplant und konzeptioniert werden. Da aufgrund bisher mangelnder Berücksichtigung von Komplettladungsverkehren bei der grundsätzlichen Netzwerkentwicklung und -gestaltung keine Hilfestellung in der verfügbaren Literatur gefunden werden kann, wird sich der Planungsprozess zunächst an den bekannten Planungsproblemen von Sammelgutsystemen orientieren. Ziel ist es dabei einerseits, veränderte Rahmenbedingungen und Planungsobjekte für den Komplettladungsverkehr zu identifizieren und erste entsprechende Lösungsvorschläge im Hinblick auf eine notwendige Netzstruktur und die Organisation der Abläufe (Verkehre) zu erarbeiten. Eine Anlehnung des Lösungsfindungsprozesses an Planungsprobleme von Sammelgutsystemen ist dahingehend plausibel, da die angestrebte systemgeführte Abwicklung von Komplettladungstransporten der Forschungshypothese folgend zum Teil ähnliche Prozessmerkmale wie die Sammelgutproduktion aufweisen wird. Zur fundierten Analyse wird in den folgenden Kapiteln vordergründig auf die Arbeiten von WLČEK und STUMPF, jeweils aus dem Jahr 1998 zurückgegriffen, da diese für die Konzeption und Steuerung von Stückgutnetzwerken bis heute als Standardwerke gelten.

4.1. Grundlagen zum vorliegenden Planungsproblem

Während unter Planung allgemein „die gedankliche Antizipation zukünftigen zielorientierten Handelns“ verstanden wird (vgl. Sierke (1997), S. 627), können die einzelnen Planungsebenen bzw. Planungsaufgaben bei der Entwicklung von Güterverkehrsnetzen in strategisch, taktisch und operativ differenziert werden (vgl. Sierke (1997), S. 628-630 und Pfohl (1997), S. 631-634). Danach beschreiben strategische Planungsprobleme in Logistiksystemen mit einem eher langfristigen Planungshorizont ebenso langfristig wirksame Maßnahmen zur flussbezogenen Koordinierung und der Festlegung der dazu erforderlichen Strukturen, während taktische Planungsprobleme in Form von strukturverändernden Maßnahmen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg die Vorgaben der strategischen Planung konkretisieren. Letztendlich setzt die operative Planung die Vorgaben und Rahmenbedingungen aus der strategischen und taktischen Planung kurzfristig um und realisiert somit entsprechende Erfolgspotentiale (vgl. Wlček (1998), S. 28). Konkrete Planungsprobleme im Rahmen der

Entwicklung von Güterverkehrsnetzen sind nach WLČEK bspw. die Ermittlung der notwendigen Anzahl und die räumliche Lage von Depot- und Hubstandorten auf strategischer Ebene, die Planung von Tourengebieten für Sammel- und Verteilverkehre sowie die Planung von Linienverkehren zwischen den Depots auf taktischer Ebene und die operative Einsatzplanung des Fern- und Nahverkehrsfuhrparks auf gleichnamiger Planungsebene. Bei der Planung von Sammelgutssystemen kann es zudem hilfreich sein, Planungsprobleme der jeweiligen Planungsebenen grundsätzlich für den Fern- und Nahverkehr differenziert zu betrachten (vgl. Wieberneit (2008), S. 30).

BOCK erweitert das Ebenenmodell zusätzlich um die Steuerungsebene, die mit Beginn der Ausführung der einzelnen Transportprozesse die Aufgaben der operativen Planungsebene übernimmt und für die möglichst effiziente Realisierung der bisher nur geplanten Abläufe zuständig ist (vgl. Bock (2004), S. 63). Grundlegend ist die Konzeptionierung des Güterverkehrsnetzes für Komplettladungsverkehre durch den Umstand geprägt, keinerlei Konsolidierungszwänge innerhalb der Netzwerkgestaltung berücksichtigen zu müssen. Die wirtschaftliche Notwendigkeit, Sendungen selbst unter Inanspruchnahme von Umwegen zu Sammelladungen zusammenzufassen existiert nicht, gleichwohl Aufkommensschwankungen und deren Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb des Fahrzeuges nicht im Rahmen des Konsolidierungsprozesses ausgeglichen werden können. Im Zuge der Sendungskonsolidierung finden Sammelguttransporte i. d. R. im Rahmen von mehrgliedrigen Transportketten, also als gebrochene Verkehre statt (siehe Abschnitt 2.1.2.). Dabei erfolgen zwischen Abholung und Zustellung ein oder mehrere Umschlagvorgänge, bei denen die Sendung aus einem Transportmittel ent- und auf ein anderes Fahrzeug beladen wird (vgl. Wlček (1998), S. 28). Die Produktion von Komplettladungen erfolgt dagegen bisher weitestgehend im ungebrochenen Direktverkehr.

Um diesen jedoch in eine systemgeführte Produktionsform zu überführen, ist es zukünftig auch in diesem Transportsegment notwendig, die eingliedrige Transportkette aufzuspalten. Dies soll in ähnlicher Form, wie bereits in Sammelgutsystemen praktiziert, als zwei- bis dreigliedrige Transportkette geschehen. Die anteilige Bearbeitung der Sendung (Komplettladung) im Netzwerk erfordert dabei die Trennung der Zustellung (Nachlauf) vom eigentlichen Streckenverkehr¹¹⁹ (Hauptlauf). Zudem kann eine weitere Trennung der Abholung (Vorlauf)

¹¹⁹ Der Begriff Streckenverkehr bezeichnet „im Gegensatz zum Flächenverkehr den physischen Transport [...] zwischen zwei meist räumlich weiter entfernten geografischen Punkten“ (vgl. Klaus und Krieger (2004), S. 444).

von der Streckenleistung notwendig bzw. hilfreich sein, wenngleich ein separater Vorlauf im Komplettladungsverkehr zum aktuellen Zeitpunkt nicht zwingend notwendig erscheint. Weiter ist im Vergleich zum Sammelgutsystem die Notwendigkeit des (mehrfachen) Umschlages nicht gegeben. Die Ladeeinheit (siehe Abschnitt 2.2.1.) wird an der Quelle des Transportes vollständig be- und an dessen Senke vollständig entladen. Der Bruch bzw. die Aufspaltung der Transportkette findet im Kontext des Komplettladungsnetzwerkes also lediglich in Form des Wechsels der ziehenden Einheit statt, die in eine Ladeeinheit verladene Sendung wird bis zur Entladung nicht weiter manipuliert. Die im Rahmen des zu konzeptionierenden Netzwerkes vorzuhaltende Infrastruktur kann im Vergleich zum Stückgutsystem also wesentlich einfacher gestaltet sein. Ziel der mehrgliedrigen Transportabwicklung ist die zur Erfüllung der generellen Auslastungsziele der Ressourcen notwendige, zwar aufeinander abgestimmte, aber letztendlich separat mögliche operative Einzelplanung der jeweiligen Bestandteile der Transportkette. So kann bspw. die Zustellung eines bereits in der Nacht am Eingangsdepot empfangenen Sattelauflegers vom zustellenden Netzwerkpartner erst in den Nachmittagsstunden geplant und durchgeführt werden (bspw. auf Grundlage eines entsprechend zu berücksichtigenden Zeitfensters), ohne dass Produktivitätseinbußen von Fahrern oder ziehenden Einheiten, also den Fahrzeugen hingenommen werden müssen. In Anlehnung an WLČEK und STUMPF stellt Abbildung 22 die angestrebte Produktionsform von Komplettladungen in einer systemgeführten Form noch einmal grundlegend grafisch dar. Die logistischen Funktionen der jeweiligen Depots beschränken sich dabei auf

- Wechsel des Fahrpersonals,
- Vorhalten von Infrastruktur zum Tausch ziehender Einheiten,
- Vorhalten von Infrastruktur zur zeitlichen Pufferung von nicht direkt weitertransportierten Ladeeinheiten.

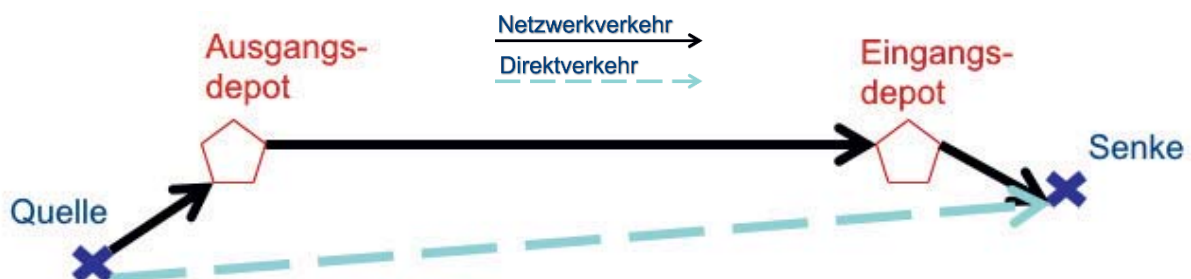


Abbildung 22: Systemgeführte Abwicklung von Komplettladungsverkehren

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wlček (1998), S. 29 und Stumpf (1998), S. 51

Folgend werden nun die einzelnen Planungsprobleme eines Güterverkehrsnetzes für den Komplettladungsverkehr auf den einzelnen Planungsebenen genauer betrachtet und Handlungsalternativen an den Stellen erarbeitet, an denen aufgrund spezifischer Merkmale der Komplettladung bisherige Lösungsansätze für Sammelgutsysteme nicht oder nur bedingt zu adaptieren sind.

4.2. Strategische Planung

Die Festlegung der Struktur des Güterverkehrsnetzes steht im Mittelpunkt der strategischen Planung und gilt aufgrund der Abhängigkeit zwischen der Netzgestaltung und den daraus resultierenden Kosten für die Verkehrsabwicklung als einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren der Transportwirtschaft. Die strategische Gestaltung von Sammelgutsystemen beschäftigt sich daher zusammengefasst mit folgenden Fragestellungen (vgl. Wlček (1998), S. 31):

- Anzahl der (Versand- und Empfangs-)Depots¹²⁰,
- Lage der (Versand- und Empfangs-)Depots,
- Dimensionierung der (Versand- und Empfangs-)Depots,
- Anzahl der Hubs,
- Dimensionierung der Hubs,
- Stufigkeit des Netzes,
- Zeittaktung der Verkehre,
- Auswahl der Verkehrsträger,
- Richtlinien zur Abgrenzung zwischen gebrochener und ungebrochener Verkehrsabwicklung.

Bereits an dieser Stelle können, bedingt durch die ausführlich dargelegten charakteristischen Merkmale der Komplettladung und dem sich daraus ergebenden Wegfall der Notwendigkeit von Umschlags- und Konsolidierungsvorgängen im Netzwerk, erste entsprechend nichtrelevante Fragestellungen aus zukünftigen Betrachtungen ausgeschlossen werden. So differenziert man im Hinblick auf Netzstrukturen grundsätzlich zwei Typen. Einerseits die sogenannten Rasterstrukturen, bei denen die Beförderung von jedem Ausgangsdepot zu jedem Eingangsdepot auf direktem Wege stattfindet, und die sog. Hub-and-Spoke-

¹²⁰ WLČEK verwendet die Bezeichnung „Versanddepot“ gleichbedeutend mit der in Abbildung 22 (Seite 142) verwendeten Bezeichnung „Ausgangsdepot“ sowie die Bezeichnung „Empfangsdepot“ gleichbedeutend mit „Eingangsdepot“.

Strukturen, bei denen das gesamte Sendungsaufkommen zu einem Hub transportiert und von dort aus neu sortiert an die Eingangsdepots weiterbefördert wird (vgl. Wlček (1998), S. 32 und Stumpf (1998), S. 54). Hub-and-Spoke-Strukturen können darüber hinaus einerseits über mehrere Hubs verfügen (Mehrhub-Struktur) und/oder im Sinne der Konsolidierung mehrstufig angelegt sein (Regionalhub-Struktur, zweistufig oder Feederhub-Struktur, dreistufig). Innerhalb der Rasterstruktur sind somit bei n Depots $n^2 - n$ Verbindungen zu bedienen, im Hubsystem $2n$ Verbindungen.

Zwar ist nach WLČEK (siehe auch Abbildung 23, Seite 145) erkennbar, dass die insgesamt zurückzulegende Transportentfernung konsolidierter Sendungen innerhalb der Hub-Struktur deutlich geringer ist als innerhalb der Rasterstruktur, die Transportleistung übersteigt jedoch aufgrund längerer Entfernungen, bedingt durch in Kauf genommene Umwege über das Hub, die der Rasterstruktur. „Füllen die Transportaufkommen jeder einzelnen Relation ein komplettes Transportfahrzeug aus, so muss in der Hub-Struktur [...] eine höhere Transportstrecke als im Rastersystem bewältigt werden (vgl. Wlček (1998), S. 33).

Da im Komplettladungssegment die Auslastungssituation der o. g. Bedingung entspricht und zudem keine Konsolidierung möglich ist, verursachen Verkehre in Hub-Strukturen in einem Komplettladungsverkehrsnetz stets teils enorme Umwege der Einzelsendungen, denen demnach kein (Auslastungs-)Vorteil durch Konsolidierung oder einen andersartigen Mehrwert im Zusammenhang einer Hub-Anfahrt entgegensteht. Insofern sind Hub-Strukturen für ein Komplettladungsnetzwerk als nicht zielführend einzuschätzen, da der angestrebte kostenseitige Vorteil der Netzwerkproduktion bei maximierter Zeitauslastung des Fahrzeuges durch den Mehraufwand zur Raumüberwindung auf einer überwiegenden Mehrheit der Relationen vernichtet würde.

Abbildung 23 (Seite 145) stellt beide Grundtypen der Netzstruktur noch einmal vereinfacht grafisch dar.

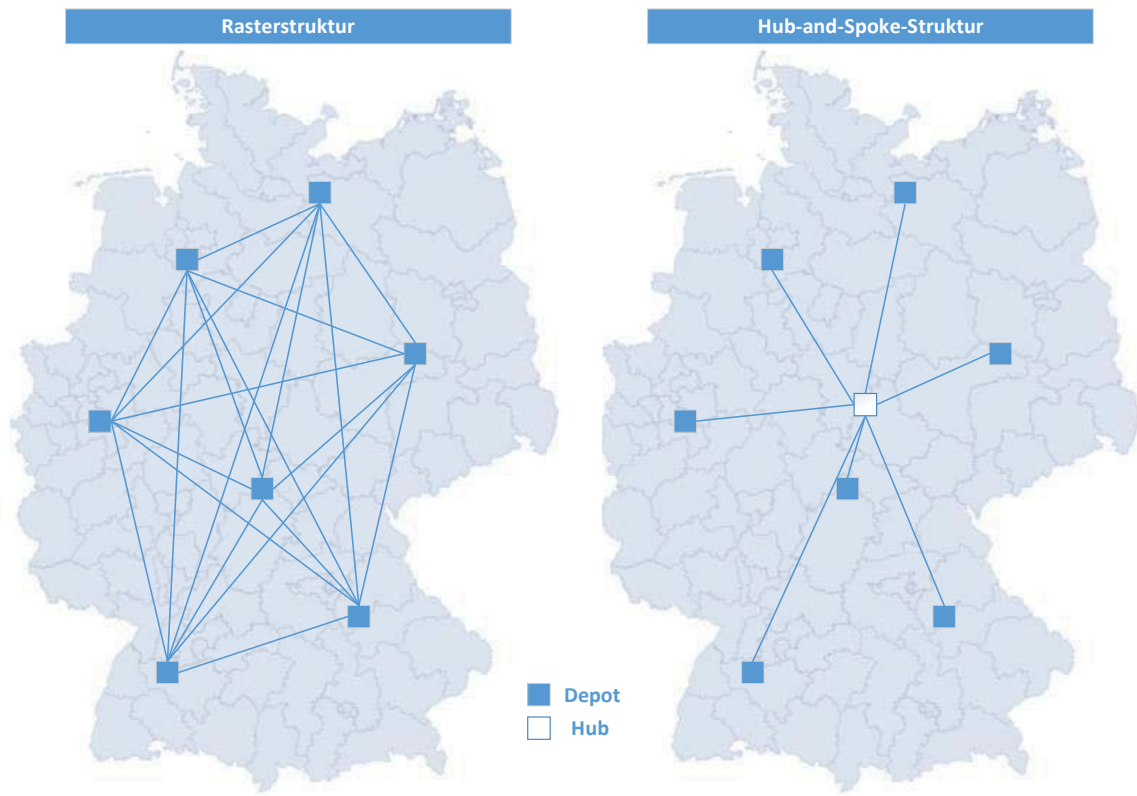


Abbildung 23: Grundtypen der Netzstruktur

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wlček (1998), S. 32 und Stumpf (1998), S. 54)

Die Produktionskosten der Einzelsendung sind demnach in Hub-Systemen durch Umweg und Laufzeitverlängerung stets höher einzuschätzen als in Raster-systemen. Zwar weist WLČEK auf den organisatorischen (und damit auch monetären) Mehraufwand in Rastersystemen durch notwendige Sortierung der im Flächenverkehr vorgeholten (Stückgut-)Sendungen an jedem Depotstandort hin, jedoch fällt dieser Mehraufwand im Rahmen des zu konzeptionierenden Systems ebenfalls nicht an, da Sortiervorgänge einzelner Sendungen nicht stattfinden. So kann nach WLČEK und STUMPF zwar für den Sammelgut-verkehr kein pauschales Urteil darüber gefällt werden, welches der beiden Gestaltungsprinzipien vorteilhafter ist als das andere, für den hier behandelten Komplettladungsverkehr wird jedoch einzig ein Rastersystem die strategische Planung weiter bestimmen. Dabei ist ferner zu berücksichtigen, dass selbst Mischstrukturen den kostenseitigen Mehraufwand im Vergleich zur reinen Rasterstruktur lediglich abschwächen, niemals jedoch eine insgesamt vorteilhaftere Netzwerkstruktur darstellen können.

Mit Festlegung der grundsätzlichen Netzstruktur in Form eines Rastersystems sowie in Korrespondenz zu den charakteristischen Merkmalen der Komplett-

ladung können folgend erste, ursprünglich im Zuge der strategischen Planung zu beantwortende Fragenstellungen unberücksichtigt bleiben. Die Anzahl und Dimensionierung von Hubs ist ebenso obsolet, wie Überlegungen zur Stufigkeit des Netzwerks. Weiterhin können Fragestellungen zur Dimensionierung der Depots auf vorzuhaltende Flächendimensionen zum Trailertausch bzw. deren zeitliche Pufferung beladener oder leerer Trailer reduziert werden. Die Aufgaben der strategischen Planung eines Komplettladungsnetzwerks konzentrieren sich also zunächst auf die **Anzahl** und die **räumliche Verortung** der **Depots**.

Als Datengrundlage für die Planung einer möglichst kostengünstigen und leistungsfähigen Netzstruktur schlägt WLČEK neben geografischen Informationen (bspw. Entfernungen) die Verwendung von Vergangenheitsdaten zum Sendungsaufkommen und deren zu erwartende Verkehrsströme vor. Mögliche Depotstandorte können dabei zudem vorgegeben sein (bspw. durch bestehende Firmenstandorte der Netzwerkteilnehmer) und müssen entsprechend sinnvoll ausgewählt bzw. ergänzt werden. Dabei wird auf das im Sammelgutbereich klassische Planungsdilemma zwischen sinkenden Kosten im Flächenverkehr durch entsprechende kleine Bediengebiete und der damit einhergehenden quadratischen Mehrung von Depotrelationen bei steigender Anzahl an Depots hingewiesen. (vgl. Wlček (1998), S. 36-37)

Die Festlegung der **Anzahl an notwendigen Depots** ist im vorliegenden Planungsfall folgenden Randbedingungen unterworfen. Wie bereits ausgeführt ist die netzwerkbasierte Produktion von Komplettladungen nicht dem Zwang einer Flächendeckung der Netzwerkstruktur unterworfen. Während im Sammelgutsegment die seitens der Verlader geforderte flächendeckende Gesamtleistung nur mit Hilfe einer (flächendeckend) netzbasierten Produktionsform zu realisieren ist, werden Transportleistungen im Komplettladungssegment bis heute auch ohne Netzcharakter des Produktionsvorgangs flächig erbracht.

Dies eröffnet die Möglichkeit einer gewissermaßen „zweigleisigen“ Produktionsmöglichkeit seitens der Anbieter. Einerseits können die auf Basis der real existierenden Netzwerkstruktur bereits netzbasiert abwickelbaren Sendungen in eben dieser Form und unter Nutzung aller damit einhergehenden Vorteile produziert werden, andererseits steht gewissermaßen parallel dazu der bisherige Direktverkehr nach wie vor zu Verfügung. Insofern unterliegt die zu errichtende Netzwerkstruktur keiner Mindestkonfiguration im Hinblick auf eine deutschland- oder europaweite flächendeckend anzubietende Dienstleistung. Im Minimalfall könnte somit ein „Güterverkehrsnetzwerk“ für Komplettladungen

aus einer Relation bestehen, auf welcher wiederum mit Hilfe des Begegnungsverkehrs Komplettladungen systematisiert zwischen zwei Depotstandorten abgewickelt werden. Entsprechend der jeweiligen Bedarfe ist das Netzwerk sukzessive um weitere Depots und Relationen erweiterbar.

Ebenso unterliegt die **räumliche Verortung der Depots** weniger Restriktionen als bei der Planung von Sammelgutnetzen. Da nicht zwingend auf eine Flächendeckung der Bediengebiete ausgehend vom Depotstandort abgestellt werden muss, ist die räumliche Lage des einzelnen Depots zunächst ausschließlich an den Transportbedarfen zu orientieren, um entsprechend der Ausführungen von WLČEK die Entfernung zu den Kunden zu minimieren. Darüber hinaus wird die maximale Entfernung zwischen einzelnen Depots vom System vorgegeben. Der Idee folgend, Fahrer am Ende der Schichtzeit am Depot austauschen zu können, muss also ausgehend von einem betrachteten Depot mindestens ein weiteres Depot innerhalb der unter Abschnitt „Begegnungsverkehre (cb2)“ (Seite 126) dargelegten Restriktionen erreichbar sein, um einen Anschluss an das Netz zu gewährleisten.

Die Maximalentfernung zwischen den Depots darf also im Szenario Begegnungsverkehr¹²¹ den Wert nicht überschreiten, der im Rahmen von zwei halben täglichen Lenkzeiten der sich im Begegnungsverkehr aufeinander zubewegenden Fahrer erreicht werden kann. Geht man davon aus, dass die komplette tägliche Lenkzeit eines Fahrers i. H. v. 9 h exklusiv für die anteilige Hauptlaufbewältigung zur Verfügung steht, so ergibt sich bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h (siehe Abschnitt 2.2.3.3.) eine maximale Depotentfernung von 585 km. Sind zusätzlich anteilige Aufgaben aus dem Vor- und/oder Nachlauf innerhalb der Fahrerschicht zu übernehmen, reduziert sich der Anteil Lenkzeit, der für den Hauptlauf aufgewendet werden kann und die Maximalentfernung zwischen den Depots reduziert sich um eben diesen Anteil. Die Größe und Lage der im Vor- und Nachlauf zu bearbeitenden Bediengebiete steht ebenfalls nicht mehr im Zusammenhang mit der Gesamtanzahl der Depots und ist individuell im Rahmen der taktischen Planung zu bestimmen. Insgesamt wird sich die Planung von Anzahl und Lage der Depots im Komplettladungsnetzwerk, wie auch durch WLČEK empfohlen, an den Strukturen und der räumlichen Lage der Betriebsstandorte von Netzwerkpartnern der angestrebten horizontalen Kooperation orientieren. Die Erweiterung des Netzes um zusätzliche Depots

¹²¹ Im weiteren Verlauf der Arbeit wird sich zeigen, dass neben dem bisher vorgestellten Begegnungsverkehrsverfahren weitere, möglicherweise lösungsorientiertere Verkehrsverfahren existieren, die aufgrund abweichender Restriktionen einen anderen Einfluss auf Netzwerkparameter, wie die an dieser Stelle diskutierte maximal zugelassene Depotentfernung, ausüben.

wird durch Hinzunahmen von entweder der Kooperation neu beigetretenen Partnerbetriebsstandorten oder aber von tatsächlichen Neueinrichtungen wesentlich unkomplizierter und mit geringerem (monetären) Aufwand als in Stückgutssystemen zu realisieren sein. Somit verbleibt letztlich die Beantwortung der Fragen nach Zeittaktung der Verkehre, ausgewählter Verkehrsträger und der Abgrenzung verschiedener Verkehrsabwicklungsmodi.

Die bisher **festgelegte Zeittaktung der Verkehre** wird in einem Komplettladungsnetzwerk mangels Prozessorientierungs- und -einhaltungszwängen durch Konsolidierungs- und Trennungsabläufe **dynamisch** verlaufen können. Einerseits ist die Adaption des Modells der Streckenverkehre im Nachtsprung, Flächenverkehre am Tag (häufig logisch differenziert in Zustellverkehre „am Vormittag“ und Abholungen „am Nachmittag“), wie Sie grundlegend in Stückgutnetzwerken praktiziert wird, auch für den Komplettladungsverkehr denkbar. Andererseits bietet die, bezogen auf ein Depot, weitestgehend autonom mögliche Einsatzplanung einzelner Fahrzeuge, die sich eben nicht gemeinsam mit allen anderen Fahrzeugen an einen festgelegten Ablauf auf Grundlage der insgesamt miteinander verwogenen Gesamtleistung des Fuhrparks richten muss, die Möglichkeit, ganztägig Streckenverkehre und, sollten seitens der verladenen Kunden entsprechende Möglichkeiten existieren, auch ganztägige Flächenverkehre durchzuführen. Letztendlich muss gewährleistet sein, dass Begegnungsvorgänge stattfinden können, also beide sich aufeinander zu bewegendes Fahrzeuge zeitlich aufeinander abgestimmt am Begegnungspunkt eintreffen.

Diese Planung bzw. notwendige Synchronisation betrifft dabei im Minimalfall zwei Fahrzeuge, sollten Vorlaufverkehre separat vom Hauptlauf und durch verschiedene Fahrzeuge durchgeführt werden, maximal vier Fahrzeuge. Im Vergleich zum Hub-and-Spoke-System im Stückgutsegment, bei dem der gesamte Nahverkehrsfuhrpark abgestimmt auf zwingend einzuhaltende Abfahrtszeiten des oder der Hauptlauffahrzeuge disponiert werden muss und weiter alle am Hub eintreffenden Fahrzeuge, wiederum deren geplante Zeitfenster erreichen müssen, um die entsprechend systemgeführte Konsolidierung und anschließende Trennung und Neukonsolidierung zu gewährleisten, ist ein Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre zunächst weniger festgelegten Gesamt-Zeittaktungen unterworfen. Entsprechende Festlegungen sind zudem in Abhängigkeit der Konfiguration und Veränderung des Netzwerkes einfach anzupassen und der Systematik folgend auf operativer Ebene zu planen.

Somit bleibt festzuhalten, dass eine grundlegende Zeittaktung von Verkehren im Rahmen der strategischen Planung des Netzwerkes nicht weiter forciert

werden muss. Vielmehr werden Aufgaben der **Zeittaktung der einzelnen Verkehre** aufgrund ihres dynamischen Charakters ein **operatives Planungsproblem** darstellen, auf das jeweils zum späteren Zeitpunkt entsprechend eingegangen wird.

Eine Festlegung der in die Planung einbezogenen **Verkehrsträger** ist bereits mit dem ausführlich eingeleiteten Fokus auf den Straßengüterverkehr und die in Abschnitt 2.2.1. eingehend erläuterten Ressourcen erfolgt. Eine genaue strategische Abgrenzung der im Netzwerk zugelassenen Güter und der daraus abzuleitenden Mindestanforderungen an das Transportequipment sind jedoch auf strategischer Ebene noch einmal zu formulieren. Dabei können bspw. Gefahrgüter insgesamt oder aber Güter spezieller Gefahrgutklassen vom Transport im Netzwerk aufgrund spezifischer Equipment-Anforderungen¹²² ausgeschlossen werden. Weiter müssen strategische Entscheidungen im Hinblick auf eine Zulassung bspw. temperaturgeführter Güter und eine sich daraus ergebende Notwendigkeit von abweichend zu den Ausführungen in Abschnitt 2.2.1. (Seite 36 ff) zu beschreibendem Spezialequipment getroffen werden. Ferner soll das Potential von Güterverkehrsnetzen für Komplettladungsverkehre hervorgehoben werden, zukünftig eine Verkehrsverlagerung von etablierten Depotrelationen zu erleichtern. Die im Rahmen des angestrebten Netzbetriebes relationsbezogen gebündelten und im Zeitverlauf stabil aufkommenden Sendungsmengen (Hauptläufe) bilden dabei die Grundlage für eine erstmals mögliche Erweiterung der Netzwerkkonzeption unter dem tatsächlichen Einbezug alternativer Verkehrsträger, welche im Rahmen der heutigen nichtsystematisierten Abwicklung durch unterschiedlichste Marktteilnehmer ausgeschlossen scheint.

Abschließende Regelungen zur **Abgrenzung verschiedener Verkehrsabwicklungsmodi**, die bspw. in Sammelgutssystemen als Gewichts- oder Volumenlimits existieren und über die Einspeisung der jeweiligen Sendung in das Netzwerk und die damit einhergehende Abwicklung als gebrochener Verkehr entscheiden oder aber bei Überschreitung der definierten Grenzen dazu führen,

¹²² Für das deutsche Hoheitsgebiet bildet u. a. die „Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB)“ den rechtlichen Rahmen für die verbindliche Anwendung des „Europäischen Übereinkommen für die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)“. Diese teilt u. a. alle zur Beförderung zugelassenen gefährlichen Stoffe in 13 Gefahrgutklassen ein. Entsprechend dieser Klassifizierung werden ferner die Anforderungen an Verpackung, Kennzeichnung und Mitführungspflichten von Begleitpapieren und Ausrüstungsgegenständen, als auch die notwendigen Zusatzqualifikationen des Fahrpersonals verbindlich geregelt. (vgl. zum nationalen Gefahrgutrecht exemplarisch Lorenz und Hölser (2009), S. 368 ff)

diese Sendung im Direktverkehr als Teilladung o. ä. abzuwickeln, existiert für den Komplettladungsbereich nicht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Planungsaufwand und die einzeln zu beantwortenden Planungsfragen im Rahmen der strategischen Planung eines Güterverkehrsnetzes für Komplettladungen wesentlich weniger komplex erscheinen, als bei der Planung von Sammelgutsystemen. So ist durch den Wegfall jeglicher Sendungskonsolidierung per se die Struktur des zu gestaltenden Netzes als Raster vorgegeben und es entfällt eine Vielzahl sonst notwendiger strategischer Überlegungen. Derartige Überlegungen zur Anzahl und räumlichen Lage von Depots unterliegen zudem keinem Zwang der sich aus der Notwendigkeit eines flächendeckenden Leistungsangebotes ableiten lässt. Eine Minimalkonfiguration eines Netzwerkes ist bereits mit wenigen, in der Nähe zum Kunden räumlich verorteten Depots möglich. Die Restriktionen zur Erreichbarkeit der Depots durch Begegnungsverkehre sind im nationalen Kontext relativ leicht handhabbar. Festlegungen zur Verkehrstaktung im Netzwerk verlagern sich aufgrund des noch eingehend zu erläuternden dynamischen Charakters der Streckenverkehrsplanung in nachgeordnete Planungsebenen. Der zu nutzende Verkehrsträger steht fest, verschiedene Verkehrsabwicklungsmodi stehen im Komplettladungsnetzwerk im Vergleich zu Sammelgutsystemen bisher nicht zur Verfügung.

4.3. Taktische Planung

Auf taktischer Planungsebene werden auf Basis zuvor getroffener strategischer Entscheidungen nun die Rahmenbedingungen für die spätere operative Transportabwicklung mit einem mittelfristigen Planungshorizont festgelegt. WLČEK differenziert dabei für die Planung von Sammelgutnetzen folgende Einzelaufgaben, die im Anschluss eingehend behandelt werden:

- Planung der Sammel- und Verteilgebiete¹²³,
- Planung von Tourengebieten (und des Fuhrparks¹²⁴) und die
- Linienverkehrsplanung.

¹²³ Da sich das Sammel- und Verteilgebiet eines Depots im Sinne der räumlichen Ausdehnung i. d. R. nicht unterscheidet, wird es zusammenfassend auch als „Bediengebiet“ bezeichnet.

¹²⁴ Erweiterung der taktischen Planungsebene um den Planungsgegenstand „Fuhrpark“ nach Schmidhöfer (2004)

4.3.1. Planung von Sammel- und Verteilgebieten

Im Rahmen der **Planung von Sammel- und Verteilgebieten** geht es im Wesentlichen darum, Kompetenzbereiche verschiedener Depots im Hinblick auf Abholung und Zustellung von Sendungen voneinander abzugrenzen. Für jedes Depot wird also ein Einzugsbereich (geografischer Raum) festgelegt, in welchem die Abholungen und vor allem die beauftragten Zustellungen organisiert werden. Im Falle des gebrochenen Transports wird somit der Weg, den die Sendungen im Netz durchlaufen, festgelegt (vgl. Wlček (1998), S. 38). Die Planung dieser Gebiete muss nun gewährleisten, einen Ausgleich teils konträrer Interessen herbeizuführen. So steht das Interesse der Kooperation nach maximaler Flächendeckung bzw. im Komplettladungsbereich größtmöglicher Flächenerschließung als Optimierungspotential für die Gemeinschaft dem Interesse des Netzwerkpartners nach möglichst kleinen Zustellgebieten im Sinne einer individuellen Optimierung des eigenen Ressourceneinsatzes gegenüber (vgl. Tummel (2015), S. 36). In Anlehnung an TUMMEL kann ein solches Gebiet zunächst durch die räumliche Verortung des Depots, um das sich das Gebiet in einem zu bestimmenden Radius aufspannt, beschrieben werden. Zusätzlich kann das Gebiet durch mehrere Erweiterungszonen, also unter Verwendung unterschiedlich ausgeprägter Radien beschrieben sein, anhand derer sich bspw. unterschiedliche Vergütungsmodelle ableiten lassen. TUMMEL differenziert dabei eine sog. Kernzone als die Zone, in der das entsprechende Depot verortet ist und die bereits genannten Erweiterungszonen (vgl. Tummel (2015), S. 20-21).

Die Ausdehnung der Bediengebiete bzw. einzelner Zonen innerhalb der Gebiete wird für Untersuchungen innerhalb der vorliegenden Arbeit wie folgt bestimmt. Die Grundlage zur Beschreibung der Gebiete bildet ein entfernungsbasierter Ansatz, der neben reinen Postleitzahlen auch deren Erreichbarkeit im zur Verfügung stehenden Straßennetz berücksichtigt. Das bedeutet, ausgehend vom Depotstandort werden alle umliegenden fünfstelligen Postleitzahlgebiete, deren Schwerpunkt (bzw. deren repräsentativ gewählte Ortsmitte) innerhalb der vorgegebenen Maximalentfernung (Radius) auf der Straße erreichbar ist, dem Gebiet bzw. der jeweiligen Zone des Gebietes zugeordnet, wobei die Ermittlung der entsprechenden Entfernung mit Hilfe eines Routenplaners auf Basis Lkw-spezifischer Routingeigenschaften erfolgt.

Die Dimension eines fünfstelligen Postleitzahlgebietes lässt dabei eine hinreichend genaue Differenzierung zu, da die letztendlich reale streckenmäßige

Ausdehnung eines Bediengebietes abweichend vom definierten Radius maximal in Höhe einer halben Ausdehnung eines solchen Postleitzahlengebietes anwachsen kann. Ebenso können durch den gewählten Ansatz geographische Gegebenheiten berücksichtigt werden. Die Quantifizierung der zulässigen Maximalentfernung (Radius um das Depot) obliegt letztendlich den Regularien des Güterverkehrsnetzes bzw. dessen gestaltender Kooperation.

Im späteren Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit des gesamtheitlichen Ansatzes wird diese Variable beispielhaft bestimmt. WLČEK weist weiterhin auf die Notwendigkeit der Kenntnis über die zu erwartenden Verkehrsströme als Grundlage für eine valide Planung bzw. Dimensionierung der Sammel- und Verteilgebiete hin, während die Kapazitätsmaße der eingesetzten Fahrzeuge im Rahmen des zu planenden Komplettladungsnetzwerkes vorgegeben sind und keinen Einfluss auf den hier konkret vorliegenden Planungsgegenstand (Bediengebiet) ausüben. In Anbetracht der sich im Sammelgutverkehr ergebenden strikten zeitlichen Restriktionen für Vorholungen und Zustellungen auf Basis konsolidierter und somit gleichzeitig transportierter Sendungen im Hauptlauf, sind der Ausdehnung der Bediengebiete in derartigen Systemen prozessbedingte Grenzen gesetzt. Die Entfernung vom Depot zum Kunden darf deshalb einen Maximalwert nicht überschreiten (vgl. Wlček (1998), S. 38).

Im Komplettladungsbereich bestehen diese Zwänge bei losgelöster Betrachtung von Vorlauf und Nachlauf nicht, da durch den Entfall der Konsolidierung jede Sendung annähernd separat betrachtet und organisiert werden kann. Dabei wird es zwar ebenfalls notwendig sein, die Hauptläufe und somit nachgelagert auch in Teilen Vor- und Nachläufe des im vermeintlich angestrebten Begegnungsverkehr transportierten Sendungspaares aufeinander abzustimmen, jedoch kann dies nahezu exklusiv für beide betroffenen Sendungen erfolgen, ohne dass festgelegte Abfahrtszeiten eines (anderen) Hauptlauffahrzeuges, der Zeitverbrauch zur Vorholung weiterer Sendungen und/oder zusätzliche Sortier- und Umladevorgänge berücksichtigt werden müssen (siehe Abschnitt 4.2. Zeittaktung der Verkehre). Jedoch macht es auch ohne die genannten Einschränkungen keinen Sinn, ein Bediengebiet beliebig auszudehnen. Wiederum im Mangel der möglichen Konsolidierung begründet, werden im Komplettladungsnetzwerk sog. Umwege, also Streckenaufwandsdifferenzen zwischen einer im klassischen Direktverkehr produzierten Sendung im Vergleich zur Produktion im Netzwerk, eine signifikante Rolle im Hinblick auf den wirtschaftlichen Vergleich beider Produktionsformen einnehmen.

4.3. Taktische Planung

Diese Umwege entstehen vor allem dann, wenn innerhalb weitläufiger Bedienggebiete weite und möglicherweise zusätzlich richtungsveränderte Vor- und Nachläufe im Vergleich zur klassischen Produktion abgewickelt werden müssen. Je größer der Depotradius (r) eines Bedienggebietes letztendlich beschrieben ist, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, entsprechende Umwege zu produzieren. Der Einfluss des Umweges auf das ökonomisch und ökologisch bewertete Gesamtergebnis ist im weiteren Verlauf der Arbeit noch detailliert zu quantifizieren. Insofern ist die Dimensionierung der Bedienggebiete ebenfalls eingeschränkt. Beispielhaft stellt Abbildung 24 ein Bedienggebiet und dessen beschriebene Methode zur Dimensionierung grafisch dar. Der für die Darstellung gewählte Radius (r) beträgt 60 km.

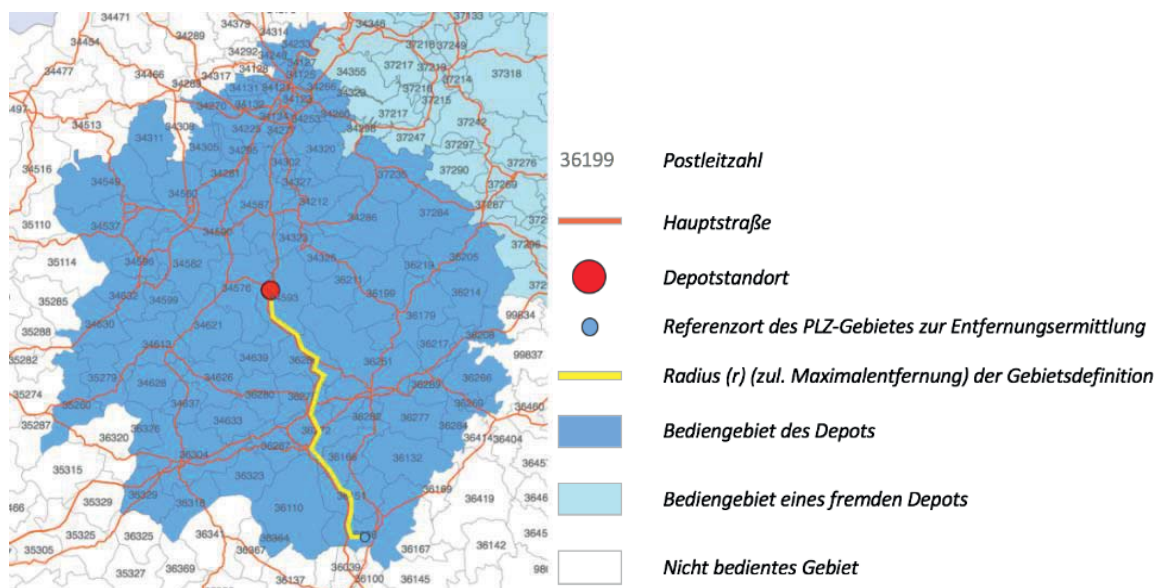


Abbildung 24: Beispielhaftes Bedienggebiet

Quelle: Eigene Darstellung

Abschließend sind noch einmal die Funktionen der jeweiligen Bedienggebiete im Sinne der Abholung und Zustellung eigener und von Netzwerkpartnern beauftragter Sendungen und der kaufmännischen Aktivität bzw. der Unterhaltung von Geschäftsbeziehungen innerhalb geografischer Restriktionen voneinander abzugrenzen. So ist es zum Zwecke der reibungslosen Abwicklung der Zusammenarbeit der Depots notwendig, klare Grenzen zwischen den Kompetenzbereichen der verschiedenen Standorte innerhalb der taktischen Gebietsaufteilung zu ziehen (vgl. Wlček (1998), S. 38), um somit zu erreichen, dass Teile der Transportkette anteilig auf die bedienenden Netzwerkpartner exklusiv verteilt werden können. Eine Einschränkung der kaufmännischen Aktivitäten der einzelnen Netzwerkpartner auf eben diese Gebiete erfolgt dabei aber nicht.

4.3.2. Planung von Tourengebieten

Die **Planung von Tourengebieten** als zweite Aufgabe auf taktischer Planungsebene beschreibt im Rahmen der Entwicklung von Sammelgutnetzwerken die Organisation des Einsammelns und Verteilens der Sendungen im Bediengebiet. Dies geschieht aufgrund der Sendungsgrößen im Sammelgutbereich durch kombinierte Fahrzeugtouren, die jeden Tag das möglichst selbe Gebiet abdecken (vgl. Wlček (1998), S. 38). SCHMIDTHÖFER führt in diesem Zusammenhang den Begriff „Standardtour“ ein. Wenn also täglich näherungsweise die gleichen Kunden anzufahren sind, deren Auftragsmengen einzig variieren, so kann auf eine täglich neue Tourenplanung verzichtet werden. Die Zuordnung von Kunden zu Touren und die Reihenfolge innerhalb der Touren ist dabei so zu bestimmen, dass dabei jeder Kunde stets vom gleichen Fahrzeug bedient wird, die Bedarfe der Kunden in jeder Periode befriedigt werden, Kapazitäts- und Zeitrestriktionen jedes Fahrzeugs eingehalten werden, Kunden täglich in überwiegend identischer Reihenfolge angefahren werden und die dabei insgesamt zu bewältigende Fahrstrecke minimal ist (vgl. Schmidthöfer (2004), S. 24). Die Vorteile dieser Standardtouren, die von möglichst immer den gleichen Fahrern bedient werden, liegen vor allem in der so ermöglichten Kundenbindung, der vergleichsweise einfachen Organisation am Depot, der Ortskundigkeit der Fahrer im Hinblick auf Fahrstrecken und Gegebenheiten beim Kunden und der dadurch insgesamt erhöhten Liefer- und Servicequalität (vgl. Stumpf (1998), S. 63; Wlček (1998), S. 38 und Schmidthöfer (2004), S. 26). Als Verallgemeinerung der Standardtouren wird auf taktischer Ebene das Bediengebiet des Depots in Tourengebiete eingeteilt, die jeweils durch ein Fahrzeug bedient werden können. Der hauptsächliche Unterschied zur Standardtour besteht dabei darin, dass bei der Planung von Tourengebieten nur eine Zuordnung der Kunden zu den Touren (im Tourengebiet) erfolgt, die Reihenfolge innerhalb der Tour jedoch nicht bestimmt wird (vgl. Schmidthöfer (2004), S. 27). Somit ergibt sich auf taktischer Planungsebene für Sammelgutnetzwerke ein hoch komplexes Planungsproblem, dem bspw. SCHMIDTHÖFER im Rahmen seiner Arbeit umfassend begegnet und basierend auf der Entwicklung eines Ansatzes zur Abschätzung von Tourlängen ein Verfahren zur Tourgebietsplanung vorstellt. (vgl. Schmidthöfer (2004))

Die Planung der Abwicklung von Vor- und Nachlaufverkehren in einem Komplettladungsnetzwerk ist nun wiederholt vom Mangel an Konsolidierung verschiedener Sendungen auf einem Fahrzeug (auf einer Tour) und dem dadurch ableitbaren Entfall der Möglichkeit zur Bildung von Kombinationen ver-

4.3. Taktische Planung

schiedener Abhol- und/oder Zustellaufträge zu einer Tour gekennzeichnet. Vom Depot aus wird eine Anzahl beladener Ladegefäße (siehe Kapitel 2.2.1.) mit der verfügbaren Anzahl an Fahrzeugen und Fahrern zu den Kunden im definierten Bediengebiet zur Entladung zu verbringen sein, die jeweils im Anschluss an die Entladung zu entsprechend im Bediengebiet räumlich verorteten Beladestellen zur erneuten Beladung verbracht werden müssen und daraufhin i. d. R. wieder zum Depot verbracht werden. Somit ähnelt das Planungsproblem im Vor- und Nachlauf des Komplettladungsnetzwerkes grundsätzlich denen des bereits eingangs als Geschäftsmodell vorgestellten „Depotgebundenen Ladungsverkehrs“ (siehe Abschnitt 2.2.3.1., Seite 47). Die vom eigenen Kundenstamm des Unternehmens i. d. R. in Depotnähe befrachteten Fahrzeuge werden an deren Entladeorten möglichst umgehend wieder in die Nähe des Depots rückbefrachtet, um dort für die erneute Bedienung des eigenen Kundenstamms wieder zur Verfügung zu stehen (vgl. Müller und Klaus (2009), S. 20). Die dabei entstehenden Fahrtenmuster, betrachtet man verschiedene Fahrzeuge und/oder verschiedene Zeiteinheiten, bezeichnen MÜLLER und KLAUS als kleeblattartig oder sternförmig. Die Vor- und Nachlauforganisation in einem Güterverkehrsnetz für Komplettladungen erfolgt nach eben diesem Prinzip. Abbildung 25 stellt ein solches, zu erwartendes Fahrtenmuster der Vor- und Nachlauforganisation exemplarisch dar.

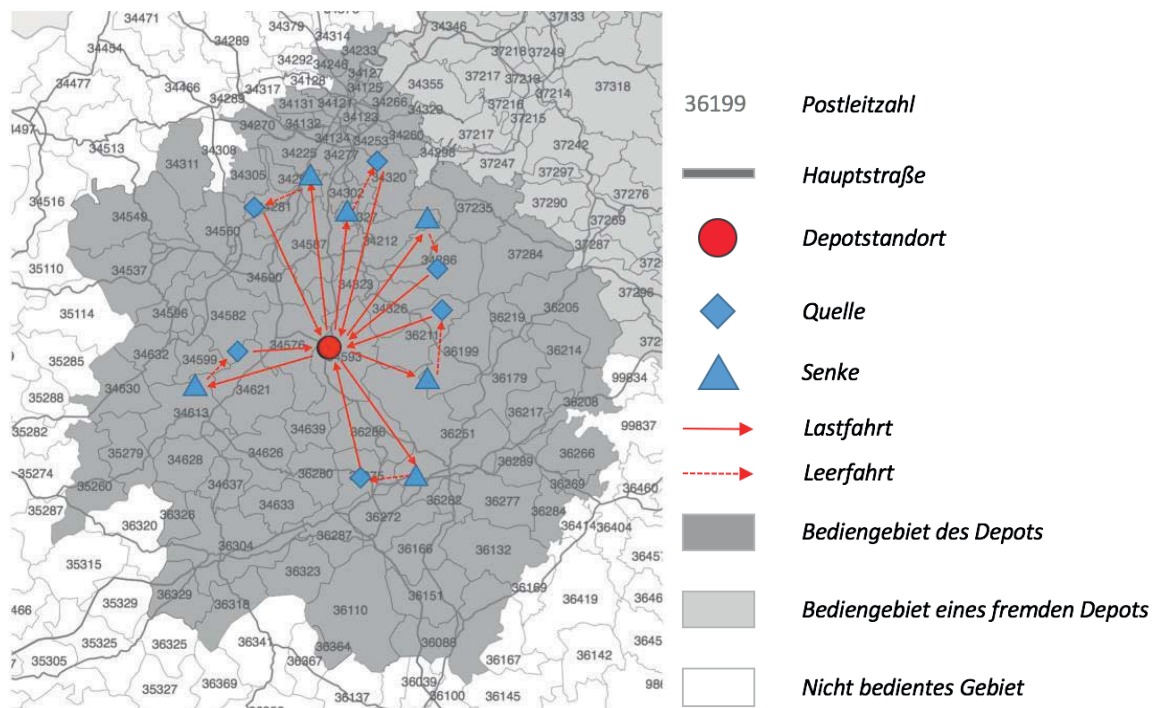


Abbildung 25: Beispielhaftes Fahrtenmuster von Vor- und Nachlaufverkehren in einem Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre

Quelle: Eigene Darstellung

Die zu lösende Problemstellung im Rahmen der Vor- und Nachlaufplanung lässt sich damit auf das in der Literatur als Spezialfall des „General Pickup & Delivery-Problem“ (GPDP) bezeichnete Planungsproblem reduzieren, das durch jeweils eine Be- und Entladestelle und Auftragsgrößen, die ein Fahrzeug jeweils vollständig auslasten, gekennzeichnet ist (vgl. Stumpf (1998), S. 140).

Sind dabei jeweils fixierte Zeitpunkte zur Ausführung vorgegeben, so entfallen nach STUMPF die Routing-Komponenten des zu lösenden Problems und es ist ein „Vehicle Scheduling Problem“ (VSP) zu lösen. Die tagesaktuelle Lösung eben dieses Problems ersetzt dabei alle auf taktischer Ebene notwendigen Planungsbemühungen, die für die Entwicklung eines Stückgutnetzwerkes außerdem notwendig sind und wird im Komplettladungsnetzwerk einmal mehr zum Gegenstand der **operativen Planungsebene**. Eine separate Planung von Tourengebieten ist aufgrund der im Untersuchungsfall zu planenden Direktfahrten nicht notwendig. Ebenso entfällt die Notwendigkeit der Planung des einzusetzenden Fuhrparks im Hinblick auf die Fahrzeug- und Ladegefäßdimensionierung (vgl. Schmidhöfer (2004), S. 81), da diese durch den Leistungsgegenstand vorgegeben und zudem als heterogen anzunehmen ist.

Weitere Festlegungen taktischer Rahmenbedingungen für die Vor- und Nachlauforganisation sind für ein Komplettladungsnetzwerk über die Definition der Bediengebiete hinaus zunächst nicht notwendig. Ziel der Planung muss sein, die Anzahl der in Abhängigkeit der zu erfüllenden Abholungen und Zustellungen eingesetzten Fahrzeuge (ziehende Einheiten) und Fahrer sowie den Gesamtstreckenaufwand zu minimieren. Erfolgsentscheidend ist dabei eine unter Berücksichtigung von Zeitrestriktionen möglichst günstige Zuordnung eines Zustell- und Abholauftrages zu einem Fahrauftrag, dessen Senke und anschließend zu bedienende Quelle räumlich nah beieinander verortet sind, um bei der Durchführung möglichst wenig Leerkilometer zu verursachen und dadurch die Streckenauslastung (siehe Abschnitt 2.2.3.3., Seite 51) im Nahverkehr zu maximieren.

4.3.3. Linienverkehrsplanung

Den dritten Planungsgegenstand auf taktischer Planungsebene stellt die sog. **Linienverkehrsplanung** dar. Bei der Planung von Sammelgutnetzwerken wird dabei die Abwicklung der Transportbedarfe zwischen den Versand- und Empfangsdepots im Sinne einer standardisierten Leistungserstellung mit hoher Zuverlässigkeit geplant.

4.3.3.1. Planungsgegenstände der Linienplanung im Stückgutnetzwerk

Da im Stückgutbereich auf vielen der Depotrelationen die Transportmengen nicht ausreichen, einen Direkttransport zwischen beiden Depots wirtschaftlich zu betreiben, werden im Rahmen der taktischen Planung *Maßnahmen zur Konsolidierung* ergriffen und damit die *Transportwege* von jedem Versand- an jedes Empfangsdepot festgelegt. Dabei bieten sich in Abhängigkeit des verfügbaren Sendungsaufkommens zwischen verschiedenen Depots unterschiedliche Möglichkeiten (vgl. Wlček (1998), S. 41). Neben der Ladegefäßkonsolidierung¹²⁵, die dann als probates Mittel zur Konsolidierung angewendet werden kann, wenn das Aufkommen einer Relation zumindest ein Ladegefäß weitgehend auslastet und der Umweg über ein weiteres Depot und die dortige Aufnahme eines weiteren Ladegefäßes bzw. der Austausch eines oder beider Ladegefäße zu einer entsprechend wirtschaftlichen Auslastung des Fahrzeuges führt, kann bei kleineren Aufkommensmengen die sog. Beiladung, also der Transport von Sendungen für verschiedene Empfangsdepots in einem Ladegefäß, die wirtschaftliche Auslastung des Transports unter zeitlichem Mehraufwand gewährleisten.

Ist das Sendungsaufkommen je Empfangsdepot selbst für eine Konsolidierung mittels Beiladungen zu gering, bietet es sich im Stückgutverkehr an, die Sendungen mittels einem Hub abzuwickeln, an dem alle Sendungen eines Abgangsdepots gemeinsam in einem Ladegefäß angekommen, entladen und neu sortiert werden und letztendlich alle Sendungen für ein Empfangsdepot gemeinsam in einem Ladegefäß weiter transportiert werden. Erzielbare Bündelungseffekte können bei Hub-Verkehren wesentlich stärker sein, als bei zuvor genannten Maßnahmen, die Kosten und die benötigte Zeit sind jedoch ungleich höher. Von Linienverkehren wird dabei insbesondere deswegen gesprochen, da die Transporte zwischen den Depots regelmäßig erfolgen, auch wenn ausnahmsweise nur sehr wenig Sendungsaufkommen insgesamt befördert werden muss (vgl. Stumpf (1998), S. 64 und Wieberneit (2008), S. 34). WIEBERNEIT spricht an dieser Stelle von Designalternativen für den Aufbau von Services (bspw. 24-Stunden-Service), wobei die entstehenden Transportwege als Servicerrouten bezeichnet werden. Dabei ist bei der Generierung der Designmöglichkeiten auf die Einhaltung der Zeitfenster an den Depots und Hubs zu achten und die beste Kombination von Service für eine kostenminimale Durchführung

¹²⁵ Die Möglichkeit der Ladegefäßkonsolidierung setzt den Einsatz von Wechselbrückenfahrzeugen, also Gliederzügen voraus, die entsprechend die Möglichkeit bieten, mindestens zwei verschiedene Ladeeinheiten aufzunehmen (siehe Abschnitt 2.2.1. „Ressourcen“, Seite 42).

der Transporte unter Beachtung gegebener Restriktionen (z. B. Lenkzeitrestriktionen oder Hub-Kapazitäten) auszuwählen (vgl. Wieberneit (2008), S. 34).

Weiterhin werden im Rahmen der Linienverkehrsplanung die *Einsatzpläne der eingesetzten Fahrzeuge* entwickelt. Dabei ist die Anzahl notwendiger Fahrzeuge zu minimieren, indem Fahrzeugladungen auf verschiedenen Teilstrecken zu Touren kombiniert werden. WLČEK differenziert dabei vier Möglichkeiten der Tourenbildung. Neben dem klassischen Rundlauf, einer Folge von Teilstrecken, die sich zu einem geschlossenen Kantenzug ergänzen, zählt dabei auch der Begegnungsverkehr zu den Einsatzvarianten, die eine Heimkehr des Fahrers nach Abwicklung deren Transportaufträge ermöglichen (vgl. Wlček (1998), S. 42-43). Darüber hinaus können Touren als Umläufe gebildet werden, die zwar nicht am gleichen Depot starten und enden, aber nach Erfüllung von Anschlusstouren an einem der folgenden Tage wieder zum Ausgangsort zurückkehren. In der Einzelbetrachtung handelt es sich dabei um sog. One-Way-Fahrten, die durch eine aufeinanderfolgende Bearbeitung von mindestens zwei dieser Fahrten das Fahrzeug/den Fahrer wieder zum Ausgangsdepot zurückführen (vgl. Stumpf (1998), S. 65). Verbleibende One-Way-Fahrten, die sich nicht zu Umläufen kombinieren lassen, beginnen und enden letztendlich an unterschiedlichen Depots und werden deshalb i. d. R. durch externe, am Markt zugekaufte Frachtführer abgewickelt. Die der Planung zugrundeliegenden prognostizierten oder aus der Vergangenheit abgeleiteten Sendungsaufkommen werden als fixe Tageswerte angenommen, Schwankungen im Sendungsaufkommen im Rahmen der operativen Planung ausgeglichen (vgl. Wieberneit (2008), S. 35).

4.3.3.2. Planungsgegenstände der Linienplanung im Ladungsnetzwerk

Die Planungsprobleme *eines Güterverkehrsnetzes für Komplettladungstransporte* sind auf taktischer Ebene im Bereich der vergleichsweisen Linienverkehrsplanung nun wie folgt zu beschreiben. Während bei der Planung von Stückgutnetzwerken, wie dargelegt, der Fokus auf einer optimalen Sendungs- und/oder Ladegefäßkonsolidierung liegt, so können im Komplettladungsnetzwerk diese oder ähnliche Maßnahmen nicht zur zielführenden Anwendung gelangen. Wie bereits ebenfalls am Beispiel der Nahverkehrsorganisation diskutiert, lässt einerseits der Leistungsgegenstand (Komplettladung) keinerlei Sendungskonsolidierung innerhalb der kapazitativen ausgelasteten Ressource zu, andererseits lassen sich mehrere ausgelastete Ressourcen (Ladegefäße bzw.

Ladeeinheiten) im Rahmen der aktuell gültigen Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) nicht über die verfügbare Maximalkapazität eines Fahrzeuges hinaus konsolidieren. Dieser Umstand erzeugt eine völlig neue Problemstellung, die wiederum innerhalb eines Stückgutnetzwerkes kaum Beachtung finden muss. Während nach STUMPF Transporte zwischen den Depots im Stückgutnetzwerk regelmäßig auch dann erfolgen, wenn nur wenig Sendungsaufkommen befördert werden muss (vgl. Stumpf (1998), S. 64), führen unpaarige Sendungsströme bzw. volatile Sendungsaufkommen einer Relation im Zweifel dazu, dass keine Sendung, also keine Ladung, für ein vermeintlich zur Bedienung der Relation vorgesehenes Fahrzeug zur Verfügung steht. Dies würde im Rahmen eines festgelegten Fahrplans und daraus resultierend vorgegebenen Transportwegen zu regelmäßigen Leerfahrten im Netzwerk führen, die aus ökologischer und ökonomischer Sicht unbedingt zu vermeiden sind.

Die Planung und Durchführung von Begegnungsverkehren, ob bilateral zwischen zwei sich bekannten Unternehmen oder unternehmenseigenen Standorten, war und ist somit bisher stets direkt von einem paarigen Sendungsaufkommen an beiden Depots der entsprechenden Relation abhängig. Stand mangels verfügbarer Sendung das zur Begegnung geplante Fahrzeug nicht zur Verfügung, fand im Komplettladungsverkehr der geplante Begegnungsverkehr insgesamt nicht statt, d. h. die singulär verfügbare Sendung musste im klassischen Modus produziert werden. Da im Komplettladungsverkehr die Auslastung einer Ressource nur zwei Zustände annehmen kann (ausgelastet oder leer), ergeben sich eben keine Möglichkeiten, auch aus monetärer Sicht, schwankungsbedingte Mindereinnahmen durch Mehreinnahmen an anderen Tagen durch optimale Konsolidierung auszugleichen. Um nun ein geplantes Güterverkehrsnetzwerk auch für Komplettladungen im Rahmen der zu erwartenden Aufkommensschwankungen bei allen Teilnehmern hinreichend stabil zu gestalten, muss die taktische Planung ein Werkzeug entwickeln, welches einerseits den Liniencharakter (regelmäßige Bedienung einer Relation) des Verkehrs sicherstellt, gleichzeitig jedoch die Transportwege durch eine optimale Verknüpfung von Sendungspaaren im Hauptlauf variabel, dem Sendungsaufkommen insgesamt angepasst, identifiziert. Um also das Gesamtnetzwerk robust gegenüber Mengenschwankungen und temporären Unpaarigkeiten¹²⁶ auf einzelnen

¹²⁶ Paarigkeit im Verkehr ist ein Ausdruck für die räumliche Verflechtung zwischen zwei Verkehrszellen (z. B. Unternehmen, Regionen, Ländern). Eine Paarigkeit bzw. paarige Verkehre auf einer Relation sind dann gegeben, wenn sich ein- und ausgehendes Verkehrsaufkommen bei beiden Verkehrszellen jeweils entsprechen. (vgl. Merath (1997), S. 779)

Relationen zu gestalten, ist ein Matching- und Routingsystem zur Dynamisierung der Linienabwicklungen in Abhängigkeit der insgesamt verfügbaren Sendungen im Netz notwendig, welches die weitestgehend statische Linienverkehrsplanung der Stückgutnetzwerke ersetzt.

Abbildung 26 stellt den Ansatz zur Auflösung der bisherigen Notwendigkeit von paarig verfügbaren Sendungen zur Durchführung von Begegnungsverkehren durch die angestrebte Dynamisierung der Linienplanung grafisch dar.

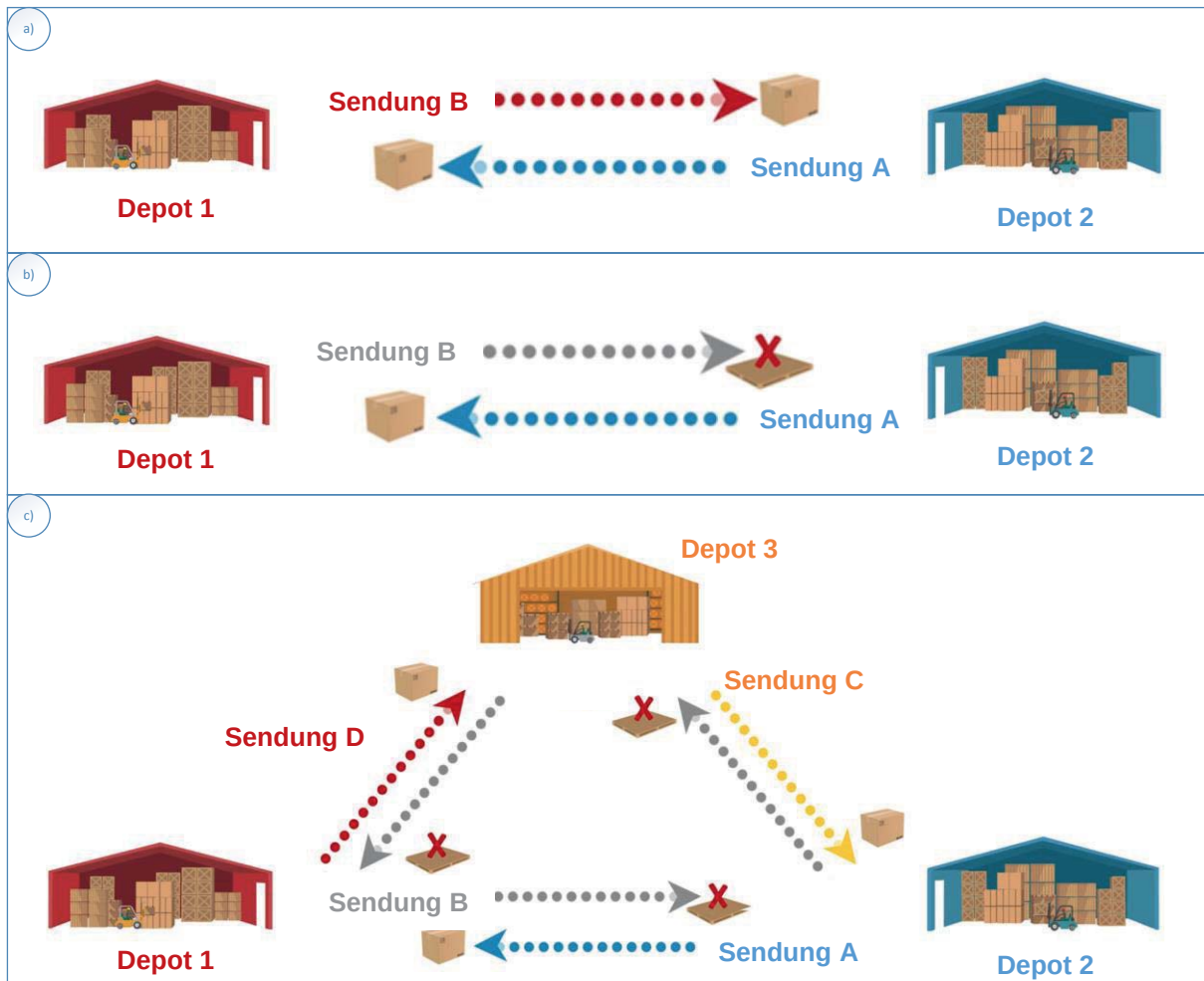


Abbildung 26: Ausgleich unpaariger Sendungsströme durch dynamische Verknüpfung von Sendungspaaren,

a) Paariger Sendungsstrom

b) unpaariger Sendungsstrom in Folge des Ausfalls von Sendung B

c) dynamisch verknüpfte Sendungspaare mit alternativem Transportweg von Sendung A über Depot 3

Quelle: Eigene Darstellung

Die Grundidee des dynamischen Bildens von Sendungspaaren, die im Begegnungsverkehr abgewickelt werden können, ist also die Auflösung der bisher starr vorgegebenen Transportwege, die wiederum die Paarigkeit der Sendungsströme bisher relationsgenau als Bedingung formuliert hatten. Ziel dabei ist es einerseits, die Grundlast, also die Anzahl der insgesamt im Netzwerk abwickelbaren Sendungen zu erhöhen und darüber hinaus, die Netzwerkfähigkeit¹²⁷ einer spezifischen Sendung von der Notwendigkeit einer bestimmten begegnenden Sendung zu entkoppeln. Wie in Abbildung 26 (Seite 160) dargestellt, können im Ausgangsszenario (a) die Sendungen A und B im Begegnungsverkehr zwischen Depot (1) und Depot (2) abgewickelt werden, da beide Sendungen am jeweiligen Ausgangsdepot der anderen Sendung zugestellt werden müssen. Steht eine der beiden Sendungen nicht zur Verfügung (Szenario (b), Sendung B steht nicht zur Verfügung), kann bei starrer Linienplanung auch die verfügbare Sendung A nicht im Begegnungsverkehr abgewickelt werden, da ausgehend von Depot (1) eine Leerfahrt erzeugt würde. Der Transportbedarf der Sendung A wird aufgrund des Mangels einer begegnungsfähigen Sendung als **Überhang** an Depot (2) bezeichnet.

Um diese Leerfahrt zu vermeiden und eine Abwicklung der Sendung A im angestrebten Produktionsverfahren doch wieder zu ermöglichen, müssen mit Hilfe des dynamischen Linienaufbaus nun weitere Depots in die Betrachtung einbezogen werden, um ggf. dort weitere sog. Überhänge zu identifizieren und Möglichkeiten zu prüfen, diese miteinander zu verknüpfen. In Szenario (c) der Abbildung 26 (Seite 160) steht zwar keine paarig zu Sendung A verlaufende Sendung B zur Verfügung, jedoch konnte unter Zuhilfenahme eines weiteren Depots (3) in die Gesamtbetrachtung eine Sendung C identifiziert werden, die ausgehend von Depot (3) an Depot (2) zugestellt werden muss. Dazu ist an Depot (1) ebenfalls eine Überhangsendung (D) für Depot (3) verfügbar. Somit kann durch ein dynamisch angepasstes Routing der Sendung A über Depot (3) das Produktionsverfahren des Begegnungsverkehrs aufrecht erhalten bleiben, da nun eine paarige Verfügbarkeit von Sendungen zwischen Depot (1) und Depot (3) sowie zwischen Depot (2) und Depot (3) erzeugt werden konnte.

Das auf Ebene der taktischen Linienplanung für ein Komplettladungsnetzwerk zu entwickelnde Werkzeug muss also einerseits die Identifikation und Verknüpfung von begegnungsfähigen Sendungen (**Matching**) als solches ermöglichen und zudem auf Basis eines dynamischen **Routings** (Transportwegermittlung)

¹²⁷ Die charakteristische Eigenschaft der „Netzwerkfähigkeit“ wird im folgendem Abschnitt ausführlich erläutert.

erstmals eine zusätzliche Überhangverknüpfung zu denen als paarige Sendungsströme identifizierten Sendungen gewährleisten können. Dabei sind entsprechende Restriktionen und Parameter wie folgt auf der strategischen Ebene zu etablierenden Netzwerk abzustimmen.

4.3.3.3. *Parameter zur Bestimmung der Netzwerkfähigkeit*

Um letztendlich eine Sendung im zu planenden Netzwerk abwickeln zu können, müssen aufgrund der im Vergleich zu einem Stückgutnetzwerk mit größeren Freiheitsgraden ausgestatteten strategischen Planungsergebnisse (bspw. keine zwingende Flächendeckung) und der Notwendigkeit der Bildung bzw. Identifikation von miteinander zu verknüpfenden Sendungspaaren, eine Vielzahl von Bedingungen erfüllt sein, die es im Rahmen der taktischen Planung mit Bezug zur Linienverkehrsplanung zu definieren gilt. Dabei wird zunächst grundsätzlich zwischen sog. „unabhängigen restriktiven Faktoren“ und den „abhängigen restriktiven Faktoren“ differenziert.

Unabhängige restriktive Faktoren bezeichnen dabei Eigenschaften der einzelnen Sendung, die unabhängig vom jeweiligen Erfüllungsgrad anderer Sendungen geprüft und erreicht werden können. Folgende Eigenschaften müssen der einzelnen Sendung anhaften, um zunächst durch Erfüllung der unabhängigen restriktiven Faktoren als „netzwerkrelevant“ zu gelten und für weitere Schritte berücksichtigt werden zu können.

- Quelle und Senke der Sendung müssen jeweils in unterschiedlichen Bediengengebieten der Netzwerkpartner räumlich verortet sein.
- Die definierte Maximalentfernung zwischen Ausgangs- und Eingangsdepot muss in Abhängigkeit des im Netzwerk praktizierten Verkehrsverfahrens und des angestrebten Verfahrens zur Erhöhung der zeitlichen Ressourcenauslastung zu überbrücken sein.
- Die Differenz aus Netzwerktransport-Distanz und Direkttransport-Distanz darf einen entsprechend festgelegten Wert nicht überschreiten.

Somit sind auf taktischer Planungsebene die in Abbildung 27 (Seite 163) noch einmal grafisch dargestellten Parameter

- (r) = Radius, als Definition der flächenmäßigen Ausdehnung des Bedienggebietes,

4.3. Taktische Planung

- ($d_{\max}$) = Depotentfernung, als maximal zugelassener Abstand von Depots in Abhängigkeit von Verkehrsverfahren,
- ($u_{\max}$) = Umweg, als maximal zugelassener Strecken(mehr)aufwand innerhalb der Netzwerkproduktion

zu definieren.

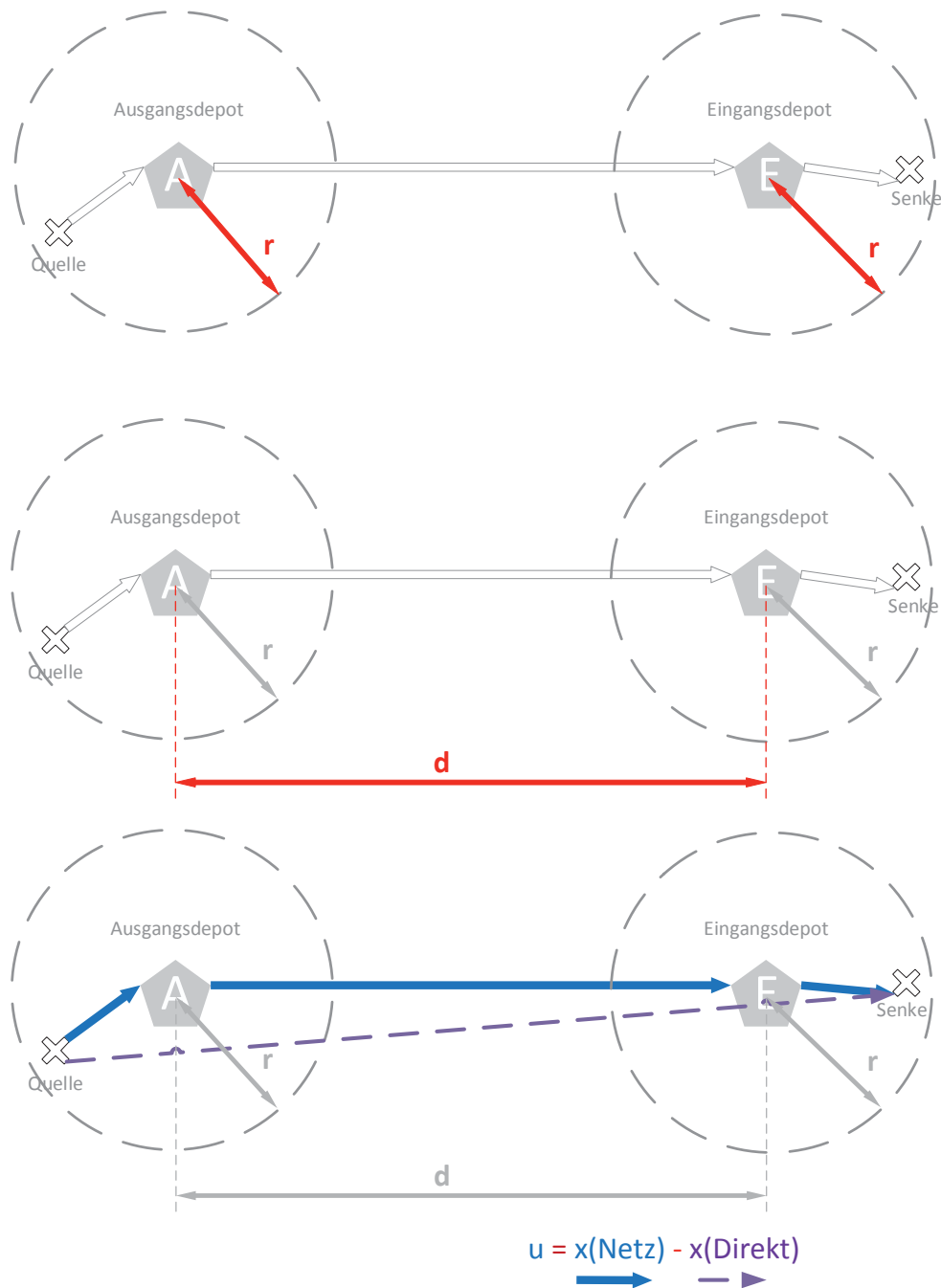


Abbildung 27: Parameter zur Definition unabhängiger restriktiver Faktoren

Quelle: Eigene Darstellung

Während der **Radius (r)**, als Ergebnis der Planung von Sammel- und Verteilgebieten bereits beschrieben und exemplarisch quantifiziert wurde (siehe Abschnitt 4.3.1.) und an dieser Stelle der vollständigen Darstellung der unabhängigen restriktiven Faktoren dient, muss die Bestimmung der maximal zugelassenen **Depotentfernung (d_{max})**, die maßgeblich die Transportwegermittlung, also das Routing beeinflussen wird, erfolgen. Vor dem Hintergrund der angestrebten Maximierung der zeitlichen Auslastung der eingesetzten Ressourcen durch einen sequentiellen Fahrereinsatz, muss die Abwicklung der Hauptlaufverkehre im Ladungsnetzwerk die tägliche Heimkehr der Fahrer entsprechend gewährleisten. Wie bereits mehrfach angesprochen, dürfen sich Fahrzeug und Fahrer also nur soweit vom Ausgangsdepot entfernen, sodass eine Rückkehr im Rahmen der verbleibenden Lenk- und Arbeitszeit möglich ist. Grundsätzlich ist dabei die unter Abschnitt 2.2.3.3. herausgearbeiteten Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h¹²⁸ und die im Mittel verfügbare Lenkzeit von 9 h zu berücksichtigen. Das einfachste Verkehrsverfahren ist dabei wie folgt zu charakterisieren:

- Zwischen Ausgangs- und Eingangsdepot findet ein Begegnungsverkehr statt.
- Beide Fahrer starten am entsprechenden Ausgangsdepot und haben bis auf den durchzuführenden Hauptlauf als Begegnungsverkehr jeweils keine weiteren Aufgaben.
- Es existieren keine Einschränkungen im Hinblick auf den Begegnungsort.

In diesem Szenario entspricht die maximale Depotentfernung also der unter Verwendung der Durchschnittsgeschwindigkeit ermittelten maximalen Streckenleistung innerhalb der vorgegebenen Lenkzeit. Die maximale Depotentfernung $d_{maxBegegnung}$ beträgt dabei 585 km. Sind beide Depots nur unter einem höheren Streckenaufwand zu erreichen, kann kein Begegnungsverkehr durch mit jeweils einem Fahrer besetzte Fahrzeuge durchgeführt werden.

Abbildung 28 (Seite 165) stellt das zugrundeliegende Verfahren noch einmal grafisch dar.

¹²⁸ Zu einem späteren Zeitpunkt der Untersuchung wird zu diskutieren sein, ob Hauptlaufverkehren, die zum großen Anteil in der Nacht stattfinden, eventuell eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit attestiert werden kann.

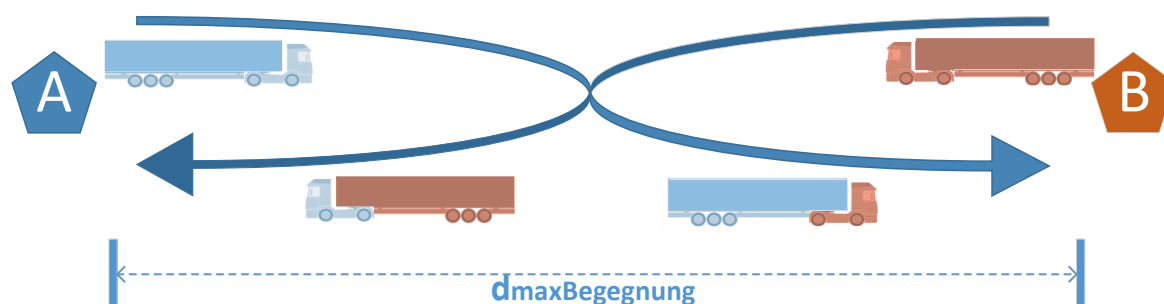


Abbildung 28: Verkehrsverfahren „Begegnungsverkehr“

Quelle: Eigene Darstellung

Im Vergleich zum klassischen Begegnungsverkehr können nun weitere Verfahren definiert werden. So kann es im Sinne eines optimierten Fahrzeugeinsatzes und der Optimierung des Matchingergebnisses hilfreich bzw. notwendig sein, die bisherige Bedingung des zur erfolgreichen Durchführung des Hauptlaufverkehrs notwendigerweise entgegenkommenden Fahrzeuges aufzuheben. D. h., die maximal zugelassene Depotentfernung muss die Hauptlaufüberwindung zwischen zwei Depots in beide Richtungen durch nur ein Fahrzeug ermöglichen, welches zwischen diesen Depots „pendelt“. Somit sinkt $d_{\max}$ in diesem Szenario bei ansonsten vergleichbaren Nebenbedingungen auf die Hälfte des Wertes im Begegnungsverfahren, also auf 292 km. Der Einheitentausch findet zudem nicht mehr „auf freier Strecke“ statt, sondern ist ebenfalls nur am jeweiligen Depot möglich. Sind beide Depots nur unter einem höheren Streckenaufwand zu erreichen, können die betreffenden Sendungen nicht im Netzwerk abgebildet werden, da ein Einheitentausch außerhalb des Depots (Begegnungsverkehr) in diesem Verfahren ausgeschlossen ist. Das damit beschriebene und in Abbildung 29 dargestellte Verkehrsverfahren soll im weiteren Verlauf als „Depotverkehr“ bezeichnet werden.

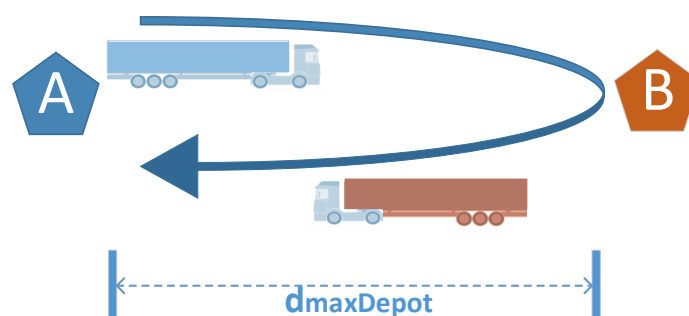


Abbildung 29: Verkehrsverfahren „Einfacher Depotverkehr“

Quelle: Eigene Darstellung

Um das vermutete Potential der zu realisierenden dynamischen Überhangverknüpfung durch eine Aufhebung der bisher notwendigen Paarigkeit von Sendungen zwischen zwei Depots bestmöglich ausschöpfen zu können und darüber hinaus die Netzwerkfähigkeit von Sendungen nicht in hohem Maße durch massive Entfernungseinschränkungen einzuschränken, kann und muss das einfache Depotverkehrsverfahren jedoch wie folgt erweitert werden. Um größere Transportentfernungen auch bei Aufrechterhaltung der Nebenbedingungen des vorgeschriebenen Einheitentauschs an einem Depot zu gewährleisten, müssen weitere Depots in die Verfahrensbetrachtung aufgenommen werden, um somit Kombinationsmöglichkeiten aus einfachen Depotverkehren hin zu verketteten Depotverkehren definieren zu können.

Dabei kann zum einen der einfache Depotverkehr um ein sog. *Wechseldepot* erweitert werden. Dieses fungiert, bezogen auf die jeweils zu transportierende Sendung weder als Ausgangs- noch als Eingangsdepot, es übernimmt lediglich die Funktion der Infrastrukturbereitstellung zum Einheitentausch. Im Idealfall können in diesem Verfahren Entfernungen zwischen Aus- und Eingangsdepot auf dem Niveau des Begegnungsverkehrs realisiert werden. Darüber hinaus steht zur erfolgreichen Implementierung der Überhangverknüpfungsstrategie durch jedes Wechseldepot ein zusätzlicher Netzwerkknoten zur dynamischen Verknüpfung von Sendungen zur Verfügung (siehe folgender Abschnitt „Matching“). Übernimmt das zusätzlich zugelassene Depot zudem die Funktionalität eines Ausgangs- und Eingangsdepots stehen darüber hinaus zusätzliche Kombinationsmöglichkeiten für eine paarige Relationsauslastung zur Verfügung.

Abbildung 30 (Seite 167) stellt abschließend noch einmal das erweiterte Depotverkehrsverfahren vereinfacht dar.

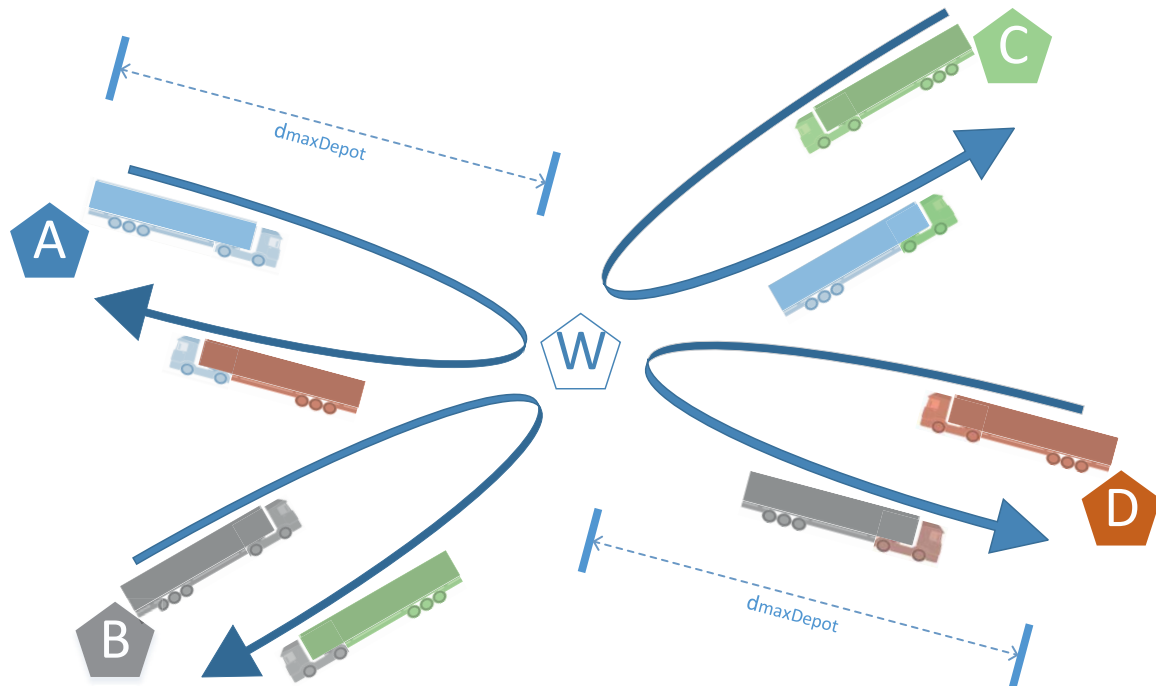


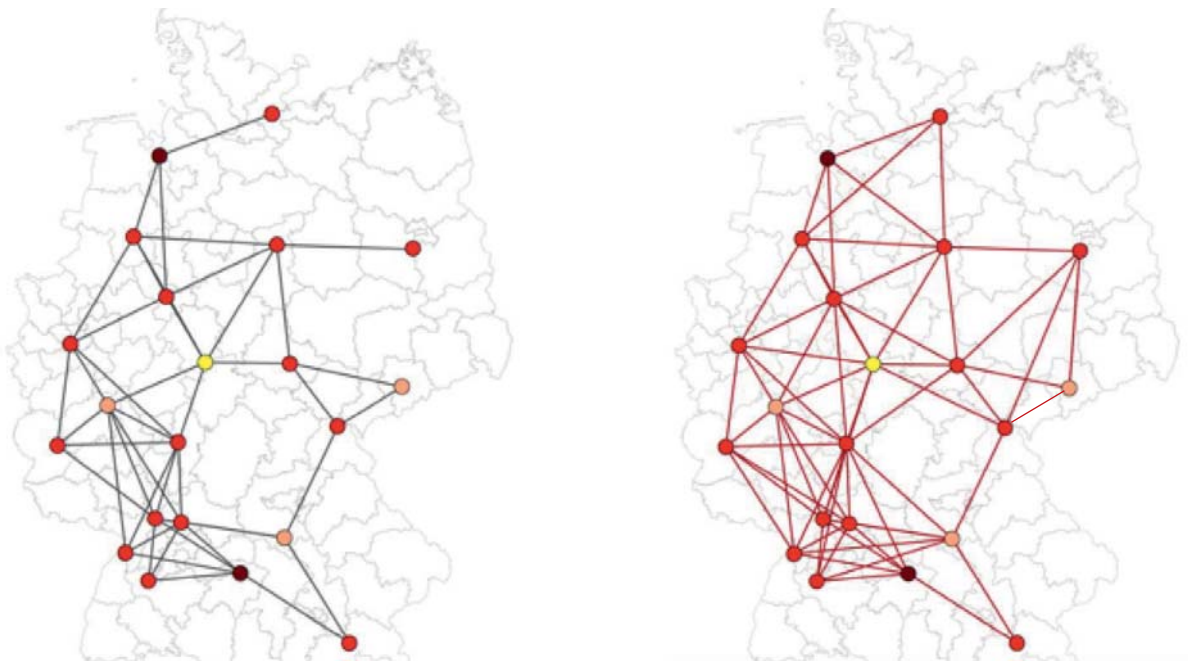
Abbildung 30: Verkehrsverfahren „Erweiterter Depotverkehr“

Quelle: Eigene Darstellung

Neben der Festlegung des **Verkehrsverfahrens** also solches, müssen im Rahmen der taktischen Planung die bereits angesprochenen Nebenbedingungen explizit festgelegt und deren Kennzahlen quantifiziert werden, da diese wiederum neben dem Verkehrsverfahren selbst die mögliche Depotentfernung ebenfalls mitbestimmen. Neben der bereits aufgeführten Durchschnittsgeschwindigkeit ist vor allem der zur Hauptlaufüberwindung zur Verfügung stehende Lenk- und Arbeitszeitanteil festzulegen.

Die im Komplettladungsnetzwerk im Vergleich zum Stückgutnetzwerk nicht zwingend notwendige strikte Trennung der Durchführung von Vor- und Hauptlauf kann es mitunter notwendig machen, Lenk- und Arbeitszeitanteile eines Fahrers für die eigene Durchführung von Ent- und Beladetätigkeiten vorzuhalten. So ist es vorstellbar, dass ein im Komplettladungsnetzwerk eingesetzter Fahrer seine Schicht mit der Entladung eines am Depot angekommenen Trailers beginnt, anschließend selbst die Beladung des Trailers beim Kunden übernimmt und im Anschluss den Hauptlauf, also die Raumüberwindung zum Eingangs- oder Wechseldepot durchführt. Der maximal mögliche Zeit- und daraus resultierende Streckenaufwand im Hauptlauf wird nun um den bereits im Rahmen des selbst übernommenen Vorlaufs (und Nachlauf des vorherigen Transportes) erbrachten Aufwand reduziert. Werden Hauptlaufaktivitäten also nicht strikt von allen weiteren Teilen der nun mehrgliedrigen Transportkette

getrennt bearbeitet, können entsprechend niedrigere, maximal zulässige Depotdistanzen im Vergleich zu den bisherigen Beispielen entstehen. Der Einfluss des festzulegenden Verkehrsverfahrens in Verbindung mit der ebenfalls festzulegenden Nebenbedingung des maximalen Depotabstandes ($d_{\max}$) auf die Möglichkeiten, den Transportweg einer Sendung im Netzwerk zu bestimmen, zeigen Abbildung 31 und Abbildung 32 (Seite 169). Die dargestellten ungerichteten Netzgraphen¹²⁹ zeigen anhand einer exemplarisch gewählten Netzwerkstruktur aus 20 Netzknoten (Depots) die in Abhängigkeit der Planungsergebnisse verfügbaren Kanten (Depotverbindungen).

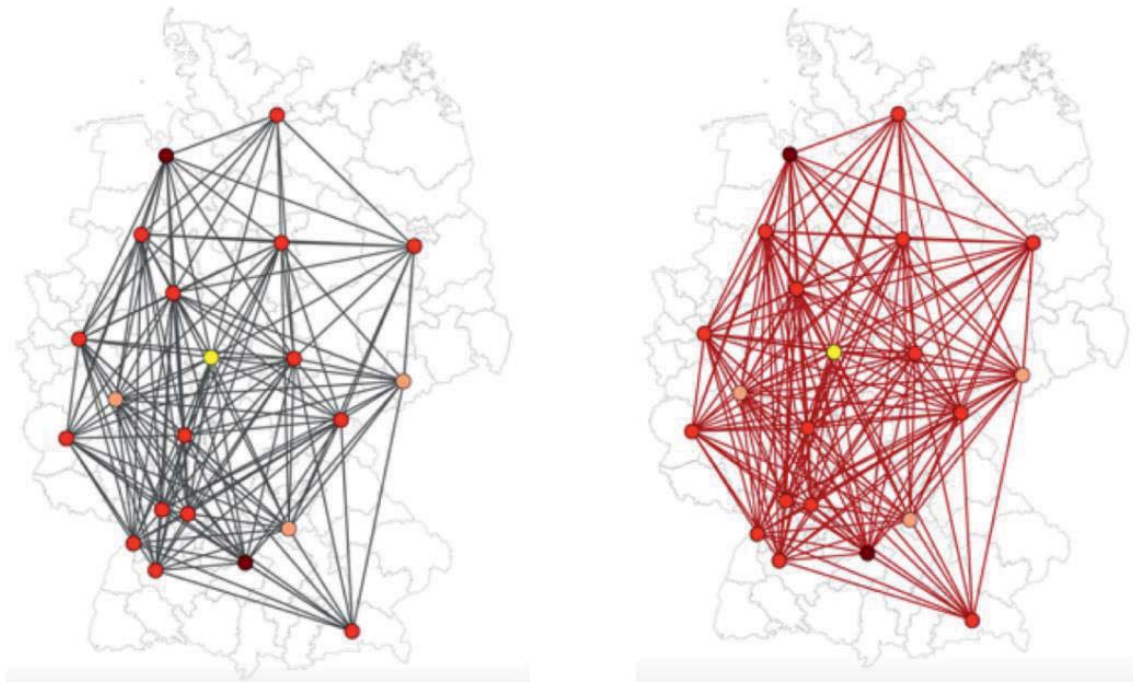


Depotverkehr mit $d_{\max} = 250$ km (links) und 292 km (rechts)

Abbildung 31: Netzwerkgraphen einer exemplarischen Netzstruktur im Depotverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

¹²⁹ Für weiterführende Informationen zur Graphentheorie vgl. exemplarisch Grünert und Irnich (2005), S. 33 ff.



Begegnungsverkehr mit $d_{\max} = 500$ km (links) und 585 km (rechts)

Abbildung 32: Netzwerkgraphen einer exemplarischen Netzstruktur im Begegnungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Betrachtet man dabei die Depots in Berlin-Ludwigsfelde und Lüneburg (siehe auch Abbildung 33, Seite 170), so ist festzustellen, dass aufgrund der räumlichen Entfernung beider Depots (ca. 330 km) die bisher beispielhaft formulierten Nebenbedingungen zunächst den Begegnungsverkehr zwischen beiden Depots erlauben. Ein Depotverkehr hingegen ist auf direktem Wege nicht möglich, da die als maximal für den Depotverkehr zugelassene Depotentfernung von 250 km bzw. 292 km überschritten ist und dadurch die Rückkehr des Fahrers zum Startdepot innerhalb einer Schicht in diesem Verkehrsverfahren nicht möglich ist. Unter Anwendung des Verkehrsverfahrens „Depotverkehr mit Wechseldepot“ scheint jedoch zumindest im Szenario mit maximal zugelassenem Depotabstand von 292 km eine Abwicklung von Sendungen der Depots Ludwigsfelde und Lüneburg mit einem Transportweg, führend über das „Wechseldepot“ Wolfsburg, abwickelbar.

Alle bisher definierten Nebenbedingungen sind erfüllt (Lage von Quellen und Senken in den jeweiligen Bediengebieten wird unterstellt, das Depot Wolfsburg ist im Rahmen der Bedingung $d_{\max} = 292$ km sowohl aus Lüneburg als auch aus Ludwigsfelde erreichbar). Da jedoch, wie in Abbildung 33 (Seite 170) noch einmal verdeutlicht, der netzwerkbedingte Transportweg einen Aufwand von ca.

480 km, also im Vergleich zum Direktverkehr einen um 150 km erhöhten Aufwand erzeugen würde, ist davon auszugehen, dass die zu erzielenden ökonomischen Vorteile im Rahmen der Netzwerkproduktion an dieser Stelle nicht zu erreichen sind.

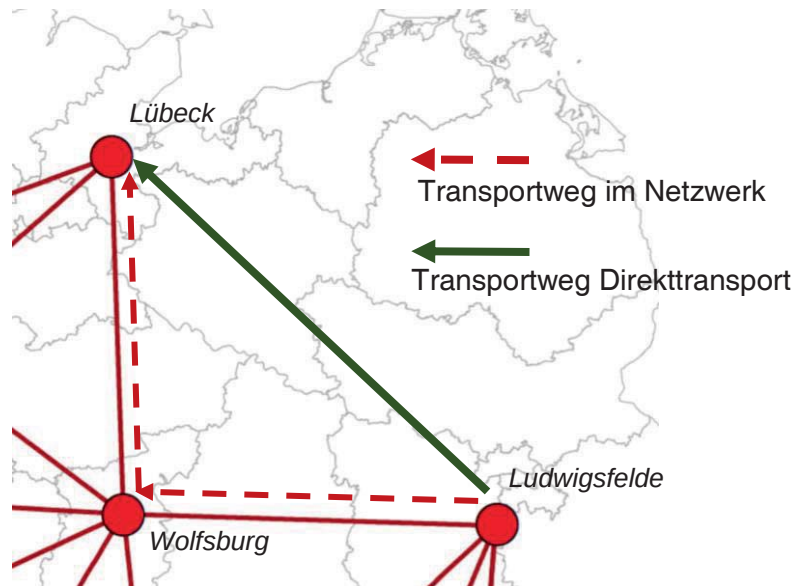


Abbildung 33: Mögliche Transportwege im Netzwerk ohne Umwegrestriktion

Quelle: Eigene Darstellung

Während im Rahmen der Linienplanung von Sammelgutnetzwerken die Inanspruchnahme von Umwegen zugunsten einer dadurch optimierten Sendungskonsolidierung das Gesamtergebnis positiv beeinflusst (vgl. Wlček (1998), S. 40), sind Umwege im Komplettladungsnetzwerk letztendlich der entscheidende Faktor im Hinblick auf eine ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Produktion. Trotz dessen sind systembedingte Umwege zwar nicht grundsätzlich zu vermeiden, es gilt jedoch die Möglichkeiten der Transportwegeidentifikation entsprechend frühzeitig zu restriktieren. Im Rahmen der Prüfung der Netzwerkfähigkeit einer Sendung muss also als letzter Parameter für die Definition von *unabhängig restriktiven Faktoren* auf Ebene der taktischen Planung der **maximal zulässige Umweg (u_{max})** definiert werden. Systembedingte Umwege können einerseits im Rahmen der bereits geschilderten Transportwegdefinition unter gegebenen Nebenbedingungen entstehen. Dies ist in Abhängigkeit der Depotdichte eines Netzwerks vor allem dann wahrscheinlich, wenn Verkehrsverfahren mit fixierten Ortsvorgaben zum Einheitsentwurf praktiziert werden. Andererseits entstehen Umwege in Abhängigkeit der Größe eines Bediengebietes durch die „gebrochene“ Transportdurchführung. So ist denkbar, dass Sendungen bei praktizierter Trennung von Vor- und Hauptlauf nach der Verladung im ungünstigsten Falle entgegen der eigentlichen Ziel-

richtung erst zum Ausgangsdepot verbracht werden, um später den eigentlichen Hauptlauf von dort zu starten.

Die taktische Begrenzung des im Netzwerk zugelassenen Umweges kann in Abhängigkeit der charakteristischen Merkmale des Gesamtnetzwerkes letztendlich als absolute Schranke erfolgen (kein Netzwerkauftrag darf mehr als bspw. 80 km Umweg im Netzwerk erzeugen) oder aber als relativer Wert, bspw. in Abhängigkeit des Streckenaufwandes der Sendung im Direkttransport, festgelegt werden.

Abhängige restriktive Faktoren bezeichnen wiederum Eigenschaften der einzelnen Sendung, deren eigener Erfüllungsgrad vom gleichzeitigen Erfüllungsgrad mindestens einer weiteren Sendung abhängig ist. Erst nach Erfüllung der folgend definierten abhängig restriktiven Faktoren werden Sendungen als „netzwerkfähig“ bezeichnet.

Nach der Ermittlung aller bearbeitbaren Ausgangssendungen je Depot muss in Abhängigkeit der entsprechenden Eingangsdepots eine Verknüpfung von gegenläufigen Sendungen erfolgen, durch die in Abhängigkeit des angewandten Verkehrsverfahrens eine gleichmäßige Auslastung der eingesetzten Ressourcen bestmöglich gewährleistet werden kann. Jeder Netzwerkkante müssen also (ggf. anteilig) paarige Sendungen zugeordnet werden, um für die transporttechnische Bedienung der Kante mindestens einen Transportbedarf je Richtung sicherzustellen. Die Identifikation von gegenläufigen Sendungen auf einer (Teil-)Relation soll im weiteren Verlauf als **Matching** bezeichnet werden. Wie beschrieben gelten erfolgreich verknüpfte, also „gematchte“ Sendungen abschließend als netzwerkfähig. Auf Ebene der taktischen Planung müssen für ein Komplettladungsnetzwerk nun die Rahmenbedingungen für die jeweiligen mathematischen Algorithmen festgelegt werden, auf deren Basis letztendlich die Identifikation von Sendungspaaren erfolgen wird. Hierzu sind in Abhängigkeit der Verkehrsverfahren verschiedene Methoden denkbar, deren Anwendung bzw. zugrunde gelegte Kenngrößen taktisch festgelegt werden müssen.

Abbildung 34 (Seite 173) zeigt die zur Verfügung stehenden Varianten des Sendungsmatchings in einem Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre im Überblick. Dabei werden den bereits besprochenen Verkehrsverfahren die jeweils abgeleiteten Möglichkeiten des Sendungsmatchings zugeordnet. Ungeachtet der Tatsache, dass bereits im Rahmen der strategischen Diskussion zur Festlegung der Netzwerkstruktur eine Hub-and-Spoke-Variante ausgeschlossen werden konnte, wird die Matchingvariante „am Hub“ der Vollständigkeit geschuldet ebenfalls dargestellt. Im Vordergrund der folgend eingehenden

Erläuterungen der jeweiligen Matchingvarianten stehen einerseits die dem Begegnungsverkehrsverfahren abgeleiteten Varianten des paarigen Sendungsmatchings zwischen zwei betrachteten Depots, bei denen entweder ein „depotungebundener“, also individuell auf freier Strecke stattfindender Einheiten-tausch zugelassen ist oder aber der Einheiten-tausch verbindlich an verfügbare Infrastruktur gebunden ist, also nur an einem verfügbaren Depot stattfinden darf.

Im Verkehrsverfahren des Depotverkehrs stehen Matchingvarianten im Fokus der Betrachtung, die eine anteilige Auftragsverknüpfung ermöglichen und die Grundlaststeigerung des Netzwerkes insgesamt, im Vergleich zum rein paarigen Matching im Begegnungsverkehr erreichen sollen. Dabei lassen sich wiederum zwei Verfahren differenzieren. Einerseits die sog. Überhangverknüpfung nach vorheriger Identifikation paariger Sendungen und zum anderen eine Matchingvariante, die eine anteilige Verknüpfung auf Basis aller zur Verfügung stehenden Sendungen versucht. Neben der folgenden qualitativen Diskussion der einzelnen Matchingvarianten erfolgt in Kapitel 5 und 6 nach Anwendung der entsprechenden mathematischen Algorithmen eine erste quantitative Analyse der jeweiligen Ergebnispotentiale unter Verwendung verschiedener Sendungsportfolios und Netzwerkkonfigurationen.

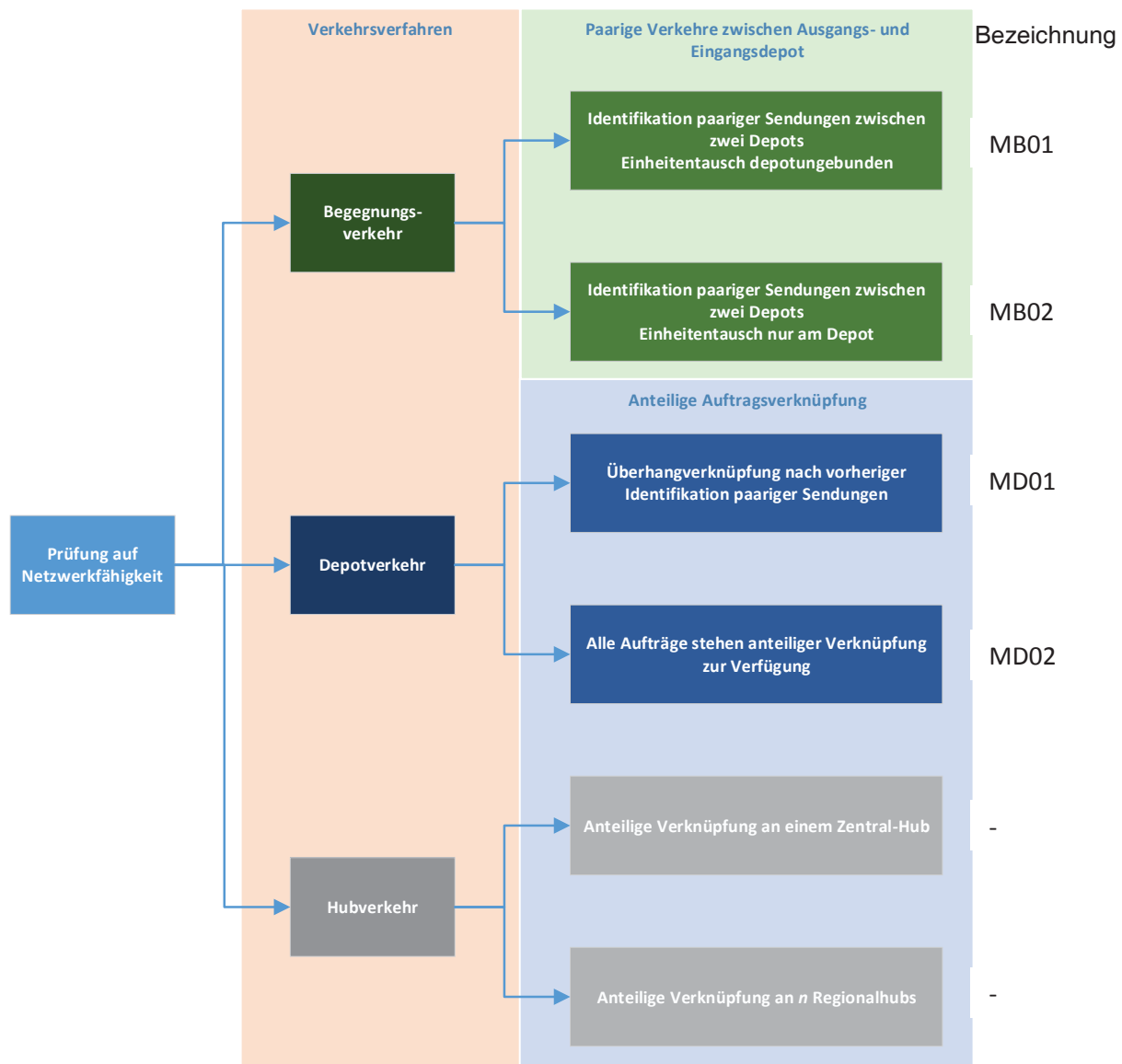


Abbildung 34: Matchingvarianten in Abhängigkeit der Verkehrsverfahren

Quelle: Eigene Darstellung

Im Rahmen des klassischen Begegnungsverkehrs steht als Matchingverfahren grundsätzlich das Verknüpfen paariger Sendungen zwischen den jeweiligen Ausgangs- und Eingangsdepots im Vordergrund. Hierbei werden als netzwerkfähige Sendungen ausschließlich die Sendungen identifiziert, denen eine entgegengesetzte Sendung auf der betreffenden Relation (Verbindung zwischen zwei Depots) zugeordnet werden kann. Eine beispielhafte Sendung ab Ausgangsdepot A zum Eingangsdepot B benötigt zur Herstellung der Netzwerkfähigkeit also eine verfügbare Sendung von dessen Ausgangsdepot B zum Eingangsdepot A, sodass der Begegnungsverkehr gleichmäßig ausgelastet stattfinden kann. Entsprechend der Definition von $d_{\max}$ (siehe Seite 164) darf der Abstand der betreffenden Depots eben diesen Wert nicht übersteigen. Der

Einheitentausch kann im ersten Matchingverfahren *MB01* für den Begegnungsverkehr losgelöst von der Netzwerkstruktur an beliebigen Orten stattfinden (i. d. R. auf einem auf halber Strecke gelegenen Rastplatz). Das Potential, im Hauptlaufverkehr einen zusätzlichen Umwegaufwand zu produzieren, wird somit minimiert.

Die Freiheit, den Einheitentausch an beliebigen Orten stattfinden zu lassen, birgt jedoch für den operativen Bereich zunehmend Gefahrenpotential, im Hinblick auf Stabilität und Verlässlichkeit der Netzwerktransporte dahingehend, dass kaum mehr verfügbare Flächen im öffentlichen Raum zu diesem Zweck zur Verfügung stehen. So existiert insgesamt ein Mangel an geeigneten Parkständen für Lkw, wodurch es vor allem in den Nachtstunden zu teils massiver Überfüllung von Tank- und Rastanlagen kommt. Gewerbegebiete und Parkflächen von Einkaufszentren in Autobahnnähe werden zudem zunehmend besitzerseitig gesperrt (vgl. Pfannerstill und Apfelstädt (2013)). Ein planbarer Einheitentausch an der Strecke ist unter diesen Umständen zunehmend nur schwer zu ermöglichen.

Aus diesem Grund wird der Matching-Algorithmus *MB02* um die Bedingung erweitert, dass der Einheitentausch ausschließlich an einem im Netzwerk verfügbaren Depotstandort stattfinden darf. Dabei ist vorgesehen, lediglich die Infrastruktur in Form der notwendigen Fläche vorzuhalten. Die Verfügbarkeit von Sendungen und Ressourcen an dem für den Einheitentausch vorgesehenen Depot bleibt im Begegnungsverkehr unberücksichtigt. Die bisher formulierte Bedingung der Paarigkeit verknüpfbarer Sendungen bleibt also erhalten. Der Streckenaufwand zwischen den sendungsabgebenden und sendungsempfangenden Depots, bei einem nun über das Wechseldepot führenden Transportweg, bleibt im Vergleich zu *MB01* gleich. Die räumliche Lage des Wechseldepots muss eine Rückkehr der sich begegnenden Fahrzeuge zu deren Heimatdepots ermöglichen.

Somit nimmt $d_{\max}$ im Matching-Szenario „Begegnungsverkehr mit Einheitentausch an einem Depot“ den gleichen Wert an, wie im Depotverkehr. Die Matchingvarianten *MB01* und *MB02* werden in Abbildung 35 (Seite 175) noch einmal grafisch verdeutlicht. Darüber hinaus wäre es denkbar, die Funktionalität des Wechseldepots im Sinne der Ressourcenvorhaltung zu erweitern und somit durch eine zusätzliche Aufhebung der bisher bestehenden Notwendigkeit paariger Sendungen zwischen zwei konkreten Depots eine Zusammenführung mehrerer Begegnungsverkehre an einem Wechseldepot zu ermöglichen. Der bzw. die als Wechseldepot bezeichneten Knoten im Netzwerk erfahren dadurch

die Bedeutung eines zentralen oder regionalen Hubs (vgl. Wiček (1998), S. 34). Selbst Mehrdepotstrukturen mussten jedoch bereits auf Ebene der strategischen Planung eines Güterverkehrsnetzes für Komplettladungen ausgeschlossen werden.

Die Notwendigkeit der zusätzlichen Ressourcenvorhaltung und -planung an einem solchen Hub-Depot und das bedingt durch die ermöglichten Hauptlaufentfernungen entstehende Umwegpotential unterstreichen die mangelnde Implementierungsmöglichkeit von Hubstrukturen im Untersuchungsfall.

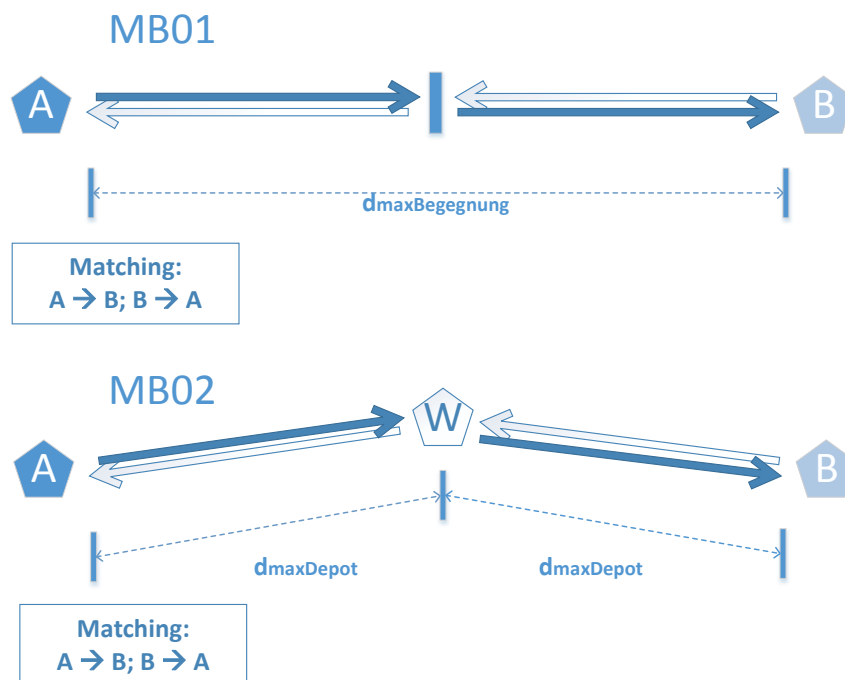


Abbildung 35: Matchingvarianten im Begegnungsverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Die bisher im Begegnungsverkehr notwendige Paarigkeit von mindestens zwei Sendungen einer Relation soll für den Depotverkehr nun aufgehoben werden. Das bedeutet, die Möglichkeiten der im Netzwerk abzuwickelnden Sendungen soll sich durch die Einführung einer sog. **Überhangverknüpfung** maßgeblich erhöhen. Existieren innerhalb der Relation unpaarig verlaufende Transportbedarfe, so sollen diese durch die Möglichkeit einer anteiligen (oder auch partiellen) Verknüpfung von Überhängen anderer Relationen erneut zu paarigen Verkehren zusammengeführt werden. In Anlehnung an das von GRAF erweiterte Modell der klassischen Dreiecksconsolidierung von Wechselbrücken, bei dem unpaarige Aufträge an sog. Transitpunkten, abseits der eigentlichen Depotroute zusammengeführt und Wechselbrücken dort getauscht werden (vgl. Graf (2009), S. 121 ff), sollen im vorliegenden Untersuchungsfall verfügbare

Netzknoten, also vorhandene Depots, der Überhangverknüpfung dienen. Die Prüfung alternativer Kombinationsvarianten setzt also voraus, dass innerhalb des erweiterten Depotverkehrsverfahrens mindestens ein Wechsel- bzw. funktional vollumfänglich ausgestattetes Depot den zentralen Knoten mehrerer Transportrelationen bildet (siehe auch Abbildung 30, Seite 167), an dem unpaarige Überhänge ggf. unter Inanspruchnahme eines abweichenden Transportweges zusammengeführt werden können. Abbildung 36 zeigt exemplarisch ein Sendungsportfolio, das unter der bisher beschriebenen Bedingung (ausschließlich paariges Matching) innerhalb der jeweiligen Relationen keine gleichmäßig ausgelasteten Verkehre zulässt, da zu den vorhandenen Transportbedarfen die entgegengesetzt verlaufenden Transportbedarfe fehlen.

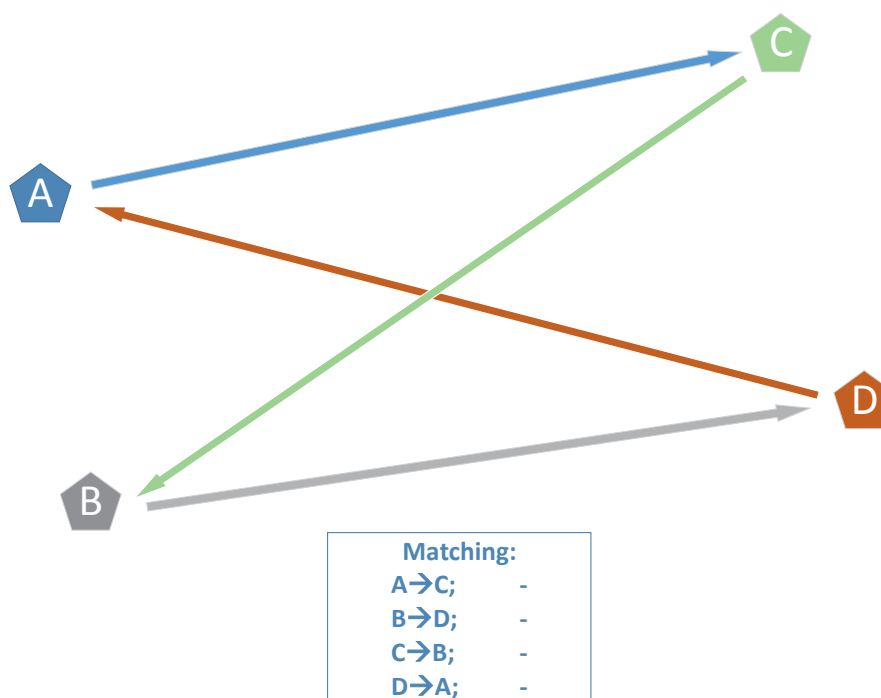


Abbildung 36: Exemplarische Überhangsituation

Quelle: Eigene Darstellung

Eine Zusammenführung der Transportbedarfe an einem zusätzlich in die Betrachtung einbezogenen Depot und einer dort stattfindenden partiellen Verknüpfung der einzelnen Hauptlaufanteile erlaubt entsprechend Abbildung 37 (Seite 177) nun die erneute Identifikation von Sendungspaaren und damit eine Implikation gleichmäßig ausgelasteter Verkehre.

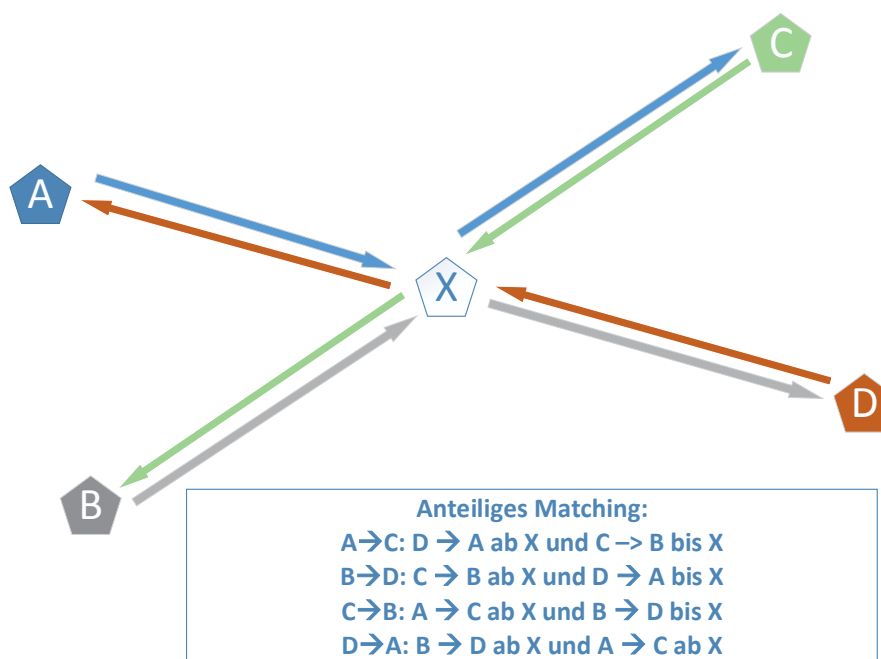


Abbildung 37: Anteiliges Matching von Überhängen

Quelle: Eigene Darstellung

Der Streckenaufwand des zuvor bestimmten Transportweges der Sendungen $A \rightarrow C$ und $B \rightarrow D$ über das Depot X muss dabei der Definition der unabhängig restriktiven Faktoren entsprechen.

Das Prinzip der anteiligen Auftragsverknüpfung im Depotverkehr liegt so den beiden Matchingvarianten MD01 und MD02 zugrunde. Im Unterschied beider Varianten sollen bei MD01 zunächst paarige Sendungen auf den jeweiligen Relationen identifiziert und im Anschluss daran alle übrigen Sendungen des Portfolios auf Möglichkeiten einer alternativen (Überhang-) Verknüpfung geprüft werden. Das bedeutet, der Matching-Algorithmus MD01 setzt zunächst den als MB01 beschriebenen Ansatz um und erweitert diesen um die erneute Behandlung des Überhangs (also aller, durch MB01 nicht matchbaren Sendungen) unter der Prämisse der Aufhebung der relationsbezogenen Paarigkeitsbedingung.

Im Unterschied dazu soll das Matching-Verfahren MD02 von Beginn an auf jegliche Identifikation relationsbezogener Paarigkeiten verzichten und stattdessen versuchen, alle im Portfolio vorhandenen Sendungen bestmöglich anteilig miteinander zu verknüpfen. Hinter der Idee steht die Vermutung, dass die im Rahmen von MD02 maximierte Variantenvielfalt der anteiligen Verknüpfungsmöglichkeiten in Abhängigkeit der Netzwerkstruktur noch einmal zu besseren Ergebnissen im Vergleich mit MD01 führen kann. Gleichzeitig muss jedoch bereits an dieser Stelle vermutet werden, dass im Falle von Störungen, bspw.

durch Fahrzeug- oder Sendungsausfälle, die geplante Verkehrsabwicklung insgesamt wesentlich stärker beeinflusst wird, als in allen vorher beschriebenen Varianten.

Ob und in welchem Umfang die entsprechenden Matching-Verfahren den hier dargelegten Erwartungen entsprechen, muss im Rahmen noch folgender Potentialuntersuchungen quantifiziert werden.

Die mathematische Modellierung und Entwicklung der konzeptionell beschriebenen Matching-Varianten selbst ist ferner nicht Bestandteil dieser Arbeit. Für erste Untersuchungen zur Wirksamkeit der verschiedenen Ansätze wird auf Ergebnisse gemeinsamer Arbeiten des Autors mit weiteren Autoren aus dem Fachbereich Mathematik zurückgegriffen (vgl. bspw. Apfelstädt, Dashkovskiy, und Nieberding (2016)).

4.4. Operative Planung

Auf operativer Planungsebene muss nun nach WLČEK und STUMPF die Abwicklung der Verkehre innerhalb der durch die taktische Planung vorgegebenen Rahmenbedingungen organisiert werden. Die operativen Planungsprozesse innerhalb der Stückgutverkehrsnetzwerke konzentrieren sich dabei auf die Nahverkehrsdisposition, die unter Beachtung der Sammel- und Verteilgebiete sowie den definierten Tourgebieten der einzelnen Depots die sog. **Flächenverkehre organisieren**. Dies beinhaltet einerseits die Abholdisposition, bei der die Vorläufe von den Quellen zu den Depots geplant werden und andererseits die Zustelldisposition, die wiederum den Nachlauf von den Depots zu den Kunden organisiert. Im Stückgutnetzwerk besteht die Aufgabe der Zustelldisposition insbesondere darin, die am Depot eingetroffenen Sendungen den auf taktischer Ebene entwickelten Tourgebieten zuzuordnen, in denen die Senken räumlich verortet sind. Um einen, dem täglich schwankenden Sendungsaufkommen, der täglich schwankenden Sendungsgrößen und den geplanten Fahrzeugkapazitäten entsprechenden Ausgleich zu erzeugen, werden Sendungen bei Bedarf zwischen den Tourgebieten verschoben, sodass letztendlich möglichst alle Sendungen zugestellt werden können. Im Zweifel muss ein zusätzliches Fahrzeug eingesetzt werden, um die entsprechenden Zustellungen sicherzustellen (vgl. Wlček (1998), S. 46). Nach erfüllter Zustellung beim Empfänger beginnt i. d. R. die Abholung der Sendungen bei den Versendern, wobei mitunter die Schwierigkeit besteht, dass bei Beginn des Prozesses noch nicht alle Abholaufträge vorliegen. WLČEK spricht an dieser Stelle von

der Notwendigkeit eines rollierenden Planungs- und Anpassungsprozesses (vgl. ebenda). Die eingesammelten Sendungen werden im Anschluss im Depot gemäß deren Bestimmungsorten den empfangenden Depots (auf Basis deren Sammel- und Verteilgebiete) bzw. den entsprechend taktisch geplanten Linienverkehren zugeordnet.

Darüber hinaus fallen in Stückgutnetzwerken auf operativer Ebene Planungsaufgaben im Bereich der **Fernverkehrsdisposition** an. So wurde zunächst auf taktischer Planungsebene entschieden, wie Stückgutsendungen im Standardfall zu befördern sind und welche Kapazitäten für eben diese Fälle zur Verfügung stehen. Alle Sendungen, die nicht im Rahmen dieser Standardprozesse transportiert werden können oder sollen, müssen von der Fernverkehrsdisposition zu Fahrzeugladungen kombiniert werden. Die Notwendigkeit kann dabei in der Überschreitung der zur Verfügung stehenden Linienkapazität begründet liegen (sog. Überhangmengen) oder aber auf eine zuvor bewusste Entscheidung des Disponenten, die betreffende Sendung aufgrund deren spezifischer Merkmale (bspw. als Teilladung) nicht dem Stückgut zuzuordnen, zurückzuführen sein (vgl. Stumpf (1998), S. 68). Diese Sendungen werden nun zu Touren zusammengefasst, für deren Abwicklung wiederum geeignete Fahrzeuge beschafft werden müssen. Neben der Abwicklung dieser Touren im klassischen Selbsteintritt besteht dabei stets die Möglichkeit, Subunternehmerfahrzeuge am Markt einzukaufen.

Die operativen Planungsaufgaben lassen sich für ein Güterverkehrsnetzwerk im Stückgutbereich anhand der Ausführungen von WLČEK und STUMPF also wie folgt zusammenfassen:

- Organisation/Disposition der Flächenverkehre (Abholungen, Zustellungen),
- Abgrenzung Stückgut- und Teilladungssendungen,
- Festlegung des Transportmodus für Teilladungen,
- Zusammenstellung der Ferntouren,
- Beschaffung von Fahrzeugen für Ferntouren.

Betrachtet man nun die operativen Aufgaben in einem Güterverkehrsnetzwerk für Komplettladungen, so lassen sich zunächst im Bereich der **Nahverkehrsdisposition** vergleichbare Aufgabenstellungen identifizieren. Die Zustell-disposition hat dabei die termingerechte Bereitstellung der am Depot angekommenen Sendungen beim Kunden zu organisieren sowie im Rahmen einer Abholdisposition die Beladung neuer, dem Netzwerk zur Verfügung gestellter

Transportaufträge zu gewährleisten. Bereits auf Ebene der taktischen Planung wurde nachgewiesen, dass aufgrund der charakteristischen Merkmale der Komplettlading keine Notwendigkeit besteht, zur Organisation der Flächenverkehre etwaige Tourengebiete zu beschreiben. Insofern besteht die Aufgabe der Flächenverkehrsorganisation vor allem darin, termingerechte Zustellungen am Depot angelangter Sendungen mit Abholungen von an entsprechender Quelle verfügbaren Sendungen räumlich und zeitlich möglichst optimal miteinander zu verknüpfen. Ziel dabei muss es sein, den bei Anschlussfahrten von der Senke zur neuen Quelle entstehenden Leeraufwand zu minimieren, also die Streckenauslastung der im Flächenverkehr eingesetzten Fahrzeuge zu maximieren.

Bei einer Trennung von Hauptlauf und Zustellung ergeben sich zudem im Vergleich zur klassischen Produktionsform Möglichkeiten, die zeitliche Auslastung der am Transportablauf beteiligten Fahrzeuge dahingehend zu erhöhen, dass selbst späte Entladezeitfenster beim Empfänger zunächst keine Auswirkung auf die zeitliche Produktivität des Zugfahrzeuges und des Fahrers ausüben, da am Depot angekommene Trailer bis zur Entladung „warten“ können, während der Nahverkehrsfuhrpark andere Zustell- und Abholaufträge abarbeitet. Im Vergleich zur Flächenverkehrsorganisation im Stückgutssystem werden die Zustellaufträge also exklusiv mit verfügbaren Abholaufträgen unter den genannten Optimierungsansätzen gekoppelt und so sternförmige Fahrten erzeugt, die stets mit der Übernahme eines beladenen Trailers am Depot beginnen, dessen Zustellung unmittelbar folgt und im Anschluss, unter Inanspruchnahme einer möglichst geringen Anfahrt zur neuen Beladestelle, eine Abholung mit anschließender Abgabe des beladenen Trailers am Depot realisiert (siehe Abbildung 25, Seite 155).

Im Unterschied zur starren Trennung von Hauptlauf und Vor- bzw. Nachlauf kann in Abhängigkeit der bereits dargelegten Einsatzorganisation zudem die Möglichkeit bestehen, dass Fahrer-Fahrzeug-Einheiten zusätzlich zum eigentlichen Hauptlauf die dazugehörigen Vor- und Nachlaufaktivitäten innerhalb der geplanten Einsatzzeit aufeinanderfolgend selbst übernehmen. Die Organisation der jeweiligen Glieder der Transportkette muss dann in enger Abstimmung mit der Hauptlauforganisation erfolgen, da die zuvor genannten Möglichkeiten eines zeitlichen Puffers nicht bestehen.

Letztendlich ist beim Einsatz von Fahrzeugen im Flächenverkehr zur Sicherung einer hohen zeitlichen und Streckenauslastung stets zu prüfen, ob sog. Zwischentouren innerhalb des Bediengebietes (also im Nahbereich) ergänzend zum „Flächenverkehr“ des Netzwerkes durchgeführt werden können. Gleich-

zeitig müssen mit Hilfe von Zwischentouren mögliche mengen- oder raumbezogene Ungleichgewichte zwischen Zustellungen und Abholungen ausgeglichen werden, um die Auslastung im Flächenverkehr insgesamt zu maximieren. Der Prozess der Abgrenzung verschiedener Verkehrsmodi auf Basis der individuellen Charakteristika einzelner Sendungen, wie sie in Stückgutssystemen in Form der Unterscheidung von Stückgut und Teilladung vorgenommen wird, entfällt im Komplettladungssystem. Vielmehr tritt an diese Stelle die bereits in ihrer Struktur vorgestellte Untersuchung jeder im Netzwerk verfügbaren Sendung im Hinblick auf die Durchführbarkeit (siehe Abschnitt 4.3.3.3., Seite 162 ff) im bislang strategisch und taktisch geplanten Netzwerk. Das bedeutet, im Rahmen der operativen Planung muss nun jedes, innerhalb der Netzwerkorganisation bis zu einem festgelegten Zeitpunkt verfügbare Sendungsdatum auf dessen Netzwerkfähigkeit hin untersucht werden. Im chronologischen Verlauf des operativen Tagesgeschäftes ist die Feststellung der Netzwerkfähigkeit demnach entscheidend für die Aufgaben der Flächenverkehrsplanung, da nicht-netzwerkkonforme Sendungen, die entsprechend im klassischen Produktionsverfahren produziert werden, nicht von der Nahverkehrsdisposition zu bearbeiten sind.

Zur Prüfung auf Netzwerkfähigkeit der Sendungen aller Netzwerkpartner ist es zunächst notwendig, diese in einer Datenbank zu sammeln. Alle Netzwerkpartner stellen also ihre nach wie vor selbst akquirierten Sendungen, die sie mit Hilfe des Netzwerkes in industrialisierter Form produzieren wollen, dem Prüfverfahren zur Verfügung. Somit verbleibt zunächst die letztendliche Dispositionshoheit im lokalen Unternehmen und die bereits von KRAUSE adressierte diesbezügliche Problemstellung, die auch im Rahmen der Vorstellung u. a. des Forschungsprojektes „SILK“ diskutiert wurde, nämlich Akzeptanzprobleme durch ein gewisses Maß an „Entmündigung“ der einzelnen Netzwerkteilnehmer (vgl. Krause (2007), S. 115 sowie Drexl et al. (2011), S. 46 ff), bleibt außen vor. Der Datenpool wird zu einem gegebenen Zeitpunkt fixiert. Das heißt, alle in die Prüfung einzubeziehenden Sendungen müssen dem System bis zu einem festgelegten Zeitpunkt gemeldet sein. Der im Anschluss stattfindende Prüfprozess lässt sich in folgende drei konsequente Phasen differenzieren:

1. Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz,
2. Prüfung der Datensätze auf Netzwerkrelevanz (unabhängige restriktive Faktoren),
3. Prüfung der Datensätze auf Netzwerkfähigkeit (abhängige restriktive Faktoren).

In einer ersten Untersuchungsphase werden dabei alle dem Sendungspool zur Verfügung gestellten Datensätze identifiziert und von der weiteren Auswertung ausgeschlossen, deren Merkmale nicht den auf strategischer Planungsebene festgelegten Netzwerkmerkmalen entsprechen. Abbildung 38 (Seite 183) stellt den ersten Teil der Untersuchung als einfaches Flussdiagramm dar. Im vorliegenden Untersuchungsfall ist das Netzwerk als „nationales“ Netzwerk für „Komplettladungen“ beschrieben. Insofern sind Sendungen zunächst nicht untersuchungsrelevant:

- deren Quelle und/oder Senke nicht in Deutschland verortet ist/sind (Filterung nationale Transporte),
- die nicht den Merkmalen einer Komplettladung genügen, also aufgrund ihrer volumen- und/oder gewichtsmäßigen Ausprägung dem Teilladungssegment zuzuordnen sind (Filterung FTL),
- deren anhaftende Mindestanforderungen an das zur Transportdurchführung benötigte Equipment durch das auf Ebene der strategischen Planung festgelegte Transportequipment nicht erfüllt sind.

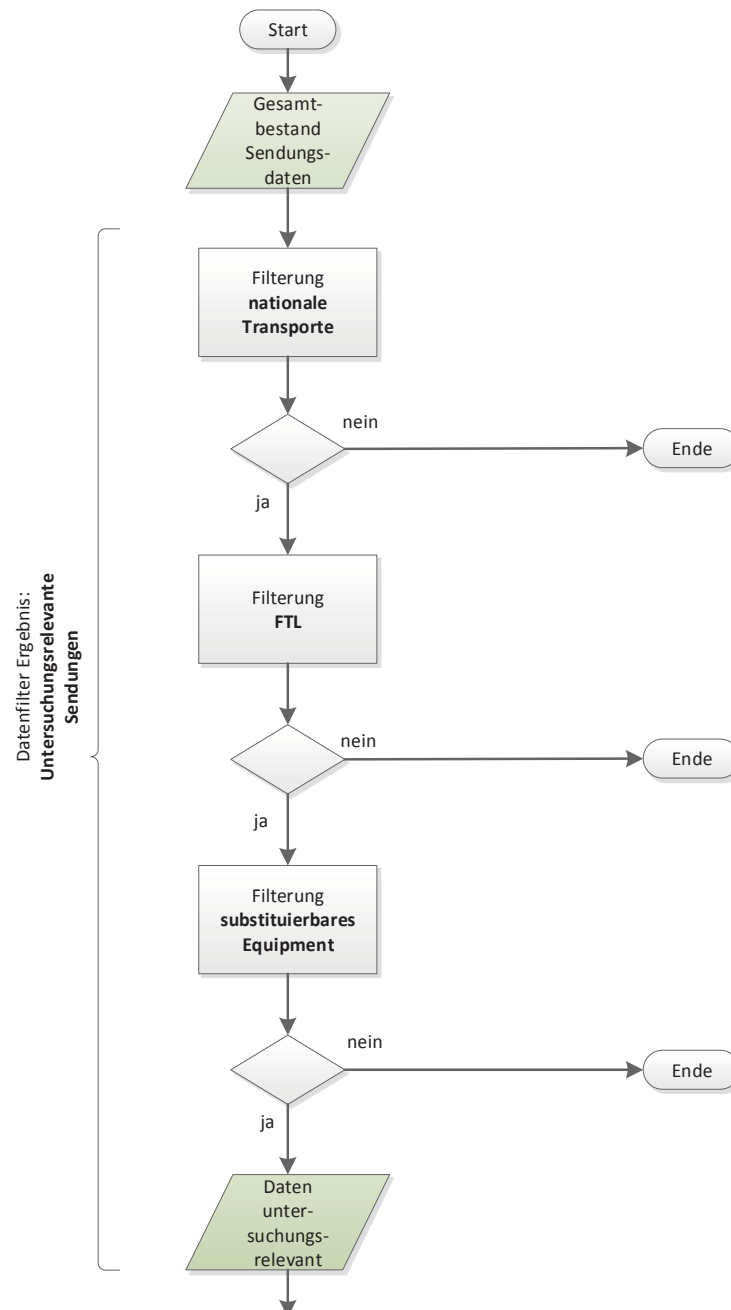


Abbildung 38: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz

Quelle: Eigene Darstellung

Nach Feststellung der Untersuchungsrelevanz gilt es, in der zweiten Untersuchungsphase die verbliebenen Datensätze auf deren Relevanz für die spätere Netzwerkabwicklung zu prüfen. Dabei werden nun die auf taktischer Ebene festgelegten Parameter und Bedingungen als Prüfkriterium angesetzt. Geprüfte Sendungen erfüllen den Anspruch „netzwerkrelevant“ zu sein, wenn:

- das Beladedatum dem Zieldatum der Auswertung entspricht,
- die Quelle der Sendung innerhalb eines der definierten Bediengebiete verortet ist,
- die Senke der Sendung innerhalb eines der definierten Bediengebiete verortet ist,
- Quelle und Senke nicht im selben Bediengebiet verortet sind (ggf. Zwischentour im Flächenverkehr),
- eine Route im Netzwerk entsprechend der Bedingungen in Abhängigkeit des Verkehrsverfahrens und der Netzwerkkonfiguration gefunden werden kann,
- die entsprechend des angewendeten Verkehrsverfahrens ermittelte Netzwerkroute im Vergleich zur Route im Direktverkehr den Ansprüchen im Hinblick auf den maximal zugelassenen Umweg genügt.

Somit ist zunächst das Beladedatum eines jeden Datensatzes mit dem entsprechenden Auswertungsdatum abzugleichen, zurückliegende Transportdaten ggf. aus der Datenbank zu entfernen und zukünftige Sendungsdaten für spätere Auswertungen vorzuhalten, diese jedoch von der aktuellen Auswertung auszuschließen.

Weiter sind die Bediengebiete entsprechend der taktischen Entscheidung im Hinblick auf die Ausdehnung der jeweiligen Gebiete ($r_{\max}$) zu definieren. Dazu werden alle im entsprechenden Umkreis verorteten fünfstelligen Postleitzahlgebiete um das Depot ermittelt und anhand deren tatsächlicher Entfernung zur Depotadresse die Einhaltung des definierten Wertes für $r_{\max}$ geprüft. Die daraus entstandene Depot-PLZ-Entfernungsmatrix liefert für jedes Depot die entsprechenden Postleitzahlgebiete, die den formulierten Bedingungen entsprechen. Auf dieser Grundlage kann daraufhin die Überprüfung der Quell- und Senken-PLZ des Sendungsdatums auf Zugehörigkeit zu einer definierten Menge an Depot-PLZ erfolgen. Kann sowohl ein Ausgangs- als auch ein Eingangsdepot identifiziert werden und sind beide Depots nicht identisch, so ist sichergestellt, dass die Sendung im Rahmen der Netzwerkdefinition zunächst abgeholt und auch zugestellt werden kann und die Sendung nicht im Nahverkehr zu disponieren ist. Unter Einbezug des definierten Netzwerkgraphen (siehe Abbildung 31, Seite 168), der auf Grundlage der taktischen Entscheidungen über Verkehrsverfahren und den Fahrzeugeinsatz den maximal zulässigen Depotabstand $d_{\max}$ und die daraufhin möglichen Depotverbindungen im Netzwerk enthält, wird nun für jedes Sendungsdatum untersucht, ob vom Ausgangsdepot hin zum entsprechenden Eingangsdepot eine regelkonforme Route im Netzwerk existiert.

Ist dies der Fall, wird im letzten Untersuchungsschritt des Abschnittes geprüft, ob die Differenz zwischen ermittelter Netzwerkdistanz und der Distanz im Direktverkehr den Ansprüchen der taktischen Entscheidung zum maximal zulässigen Umweg $u_{\max}$ genügt.

Sind die Ergebnisse der o. g. Prüfungen positiv, so ist das jeweils untersuchte Sendungsdatum „netzwerkrelevant“, da alle unabhängig restriktiven Faktoren erfüllt sind. Die Sendung kann innerhalb der Netzwerkstruktur und im Rahmen der einzelnen Faktordefinitionen abgeholt, im Hauptlauf transportiert und auch zugestellt werden. Abbildung 39 (Seite 186) veranschaulicht den Prüfprozess der Netzwerkrelevanz noch einmal grafisch.

4. Konzeption eines Güterverkehrsnetzes für Ladungsverkehre

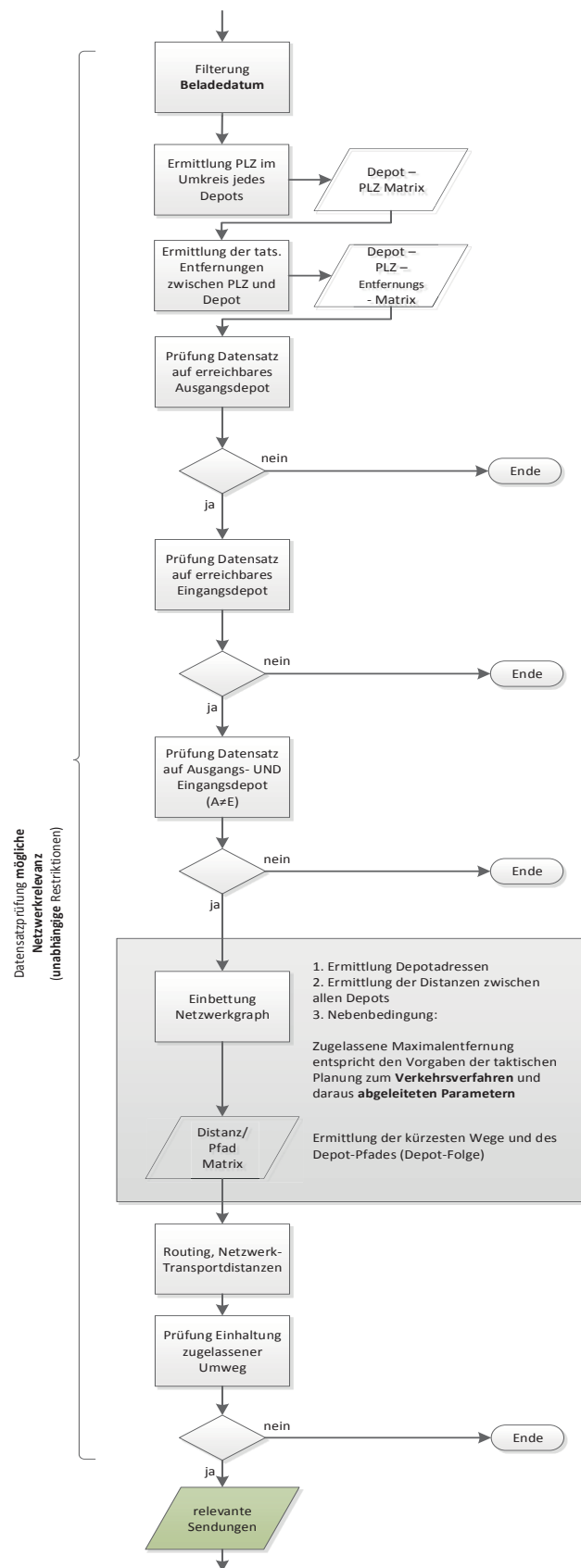


Abbildung 39: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Netzwerkrelevanz

Quelle: Eigene Darstellung

In dritter und letzter Untersuchungsphase werden nun abschließend die netzwerkrelevanten Sendungsdaten insgesamt auf ihre tatsächliche Netzwerkfähigkeit untersucht, indem die Einhaltung der zuvor auf taktischer Ebene als „abhängig restriktive Faktoren“ beschriebenen Bedingungen untersucht wird. Dabei steht, entsprechend der zur Anwendung gelangenden Matchingvariante, die Verknüpfung der Sendungen untereinander im Vordergrund.

Hierzu werden alle verbliebenen Sendungen in der Datenbank in eine Verflechtungsmatrix der einzelnen Depots untereinander überführt, anhand derer folgend der eingesetzte Matchingalgorithmus die gesuchten Sendungspaare identifizieren kann. Erfolgreich „gematchte“ Sendungen werden abschließend als netzwerkfähig bezeichnet, da diese in Abhängigkeit des Gesamtportfolios verfügbarer Sendungen im Sinne des ursprünglichen Ziels der strukturierten Abwicklung im definierten Netzwerk tatsächlich produziert werden können. Sind an einzelnen Depots die zur Verfügung stehenden Ressourcen im Vergleich zur Einspeisemöglichkeit von Sendungen ins Netz restriktiert, so ist in einem abschließenden Untersuchungsschritt denkbar bzw. notwendig, die netzwerkfähigen Sendungen entsprechend der verfügbaren Ressourcenkapazität zu reduzieren.

Bereits im Rahmen der Erläuterung der Planungsgegenstände der strategischen Planung konnte zwischen der festzulegenden Zeittaktung von Hauptlaufverkehren (strategischer Planungsgegenstand, im FTL-Netz statisch nicht notwendig, siehe dazu Abschnitt 4.2., S. 143 ff) und der individuellen **zeitlichen Abstimmung der operativen Durchführung** von gematchten Begegnungs- bzw. Depotverkehren differenziert werden.

Als letzte Aufgabe der operativen Planung gilt es nun also sicherzustellen, dass alle an einem Matching beteiligten Transporte auch zum entsprechend notwendigen Zeitpunkt (im einfachsten Falle zeitgleich) am vom System vorgegebenen Begegnungspunkt eintreffen und der Einheitentausch ohne Wartezeit einzelner, am Gesamtmatching beteiligter Fahrzeuge, vollzogen werden kann. Dabei müssen die Disponenten der am Matching beteiligten Fahrzeuge die jeweiligen Abfahrtstermine der Hauptlauffahrzeuge bestimmen. Hierfür gilt es zunächst, den entsprechend spätestmöglichen Begegnungstermin zu identifizieren. Dieser wird in der Regel durch die Sendung(en) bestimmt, die mit frühesten fixen Entladeterminen bzw. restriktiven Entladezeitfenstern behaftet ist. Der festzulegende Termin des Einheitentausches muss also gewährleisten, entsprechende Zeitfenster bzw. Termine einhalten zu können. Ist die späteste Schranke der zeitlichen Abstimmung definiert, muss ferner geprüft werden, ob

möglicherweise ein früherer Einheitentauschtermin notwendig ist, da durch bereits bekannte Folgeaufträge des Fahrzeuges dessen Verfügbarkeit sichergestellt werden muss. Grundsätzlich kann die zur Identifikation der Netzwerksendungen eingesetzte EDV-Lösung hier bereits erste Hinweise bzw. Planungsgrundlagen zur Verfügung stellen.

Sind Fixtermine einzelner Sendungen für deren Zustellung bekannt, so können diese als Information allen am identifizierten Matching beteiligten Disponenten entsprechend ausgegeben und die jeweils spätesten Abfahrtszeiten am Heimatdepot bereits vorgegeben werden. Insgesamt beruht die Idee der in beschränktem Maße flexiblen und individuellen Bestimmung des Termins zum Einheitentausch auf der Grundlage, dass in systematisierten Güterverkehrsnetzwerken grundsätzlich die im Vergleich zur konventionellen Produktion notwendige Ruhezeit des Fahrers von 9-11 h, die i. d. R. die Gesamtdauer des Transportes von Quelle bis Senke mitbestimmt, entfällt. Theoretisch ermöglicht die sequentielle Mehrfachbesetzung stets, ab der Quelle der Sendung, diese direkt zum Begegnung- bzw. Einheitentauschpunkt zu befördern. Die Notwendigkeit einer Fahrzeitunterbrechung bzw. Ruhepause des Fahrers entfällt im Rahmen der Systemkonfiguration gänzlich, während eine konventionell eingesetzte Ressourcenkombination im nationalen Fernverkehr auf dem Weg von Quelle zur Senke ohne einen Begegnungsverkehr o. Ä. i. d. R. mindestens eine Ruhezeit einlegt.

Es ist also grundsätzlich davon auszugehen, dass bei gleichbleibenden Be- und Entladezeiten dem Transport im Netzwerk im Vergleich zur konventionellen Produktion ein zeitlicher Minderaufwand von mindestens neun Stunden obliegt und dieser nun entsprechende Planungsflexibilität gewährleistet. So können beispielsweise Transporte mit einem morgendlich frühen Entladezeitpunkt beim Empfänger nach Abstimmung aller an der gebrochenen Transportkette beteiligten Netzwerkpartner ggf. erst wesentlich später an der Quelle verladen werden, da die Transportdauer im Netzwerk nahezu auf die reale Dauer der Raumüberwindung reduziert ist. Ebenso ergibt sich durch Entkopplung von Hauptlauf und Zustellung eine neue Flexibilität ebenfalls im Umgang mit ungünstigen Entladefenstern, bspw. erst am Nachmittag des Entladetages.

So obliegt es dem zustellenden Netzwerkpartner, selbst bei früher Ankunft des Linienverkehrsfahrzeuges am Eingangsdepot, den beladenen Trailer am Depot bis zum Entladezeitfenster vorzuhalten und währenddessen die Fahrer-Fahrzeug-Kombination weiter zu beschäftigen. Insofern ergeben sich für die auf operativer Planungsebene durchzuführende zeitliche Abstimmung der jeweils als

Netzwerkseendungen identifizierten Transporte insgesamt flexible Möglichkeiten, die im Dialog aller beteiligten Disponenten und unter Berücksichtigung aller zuvor und im Anschluss an die jeweils aufeinander abzustimmenden Hauptlaufverkehre stattfindenden Aktivitäten geklärt werden müssen. Abbildung 40 zeigt den Ablauf der dritten Untersuchungsphase grafisch aufbereitet.

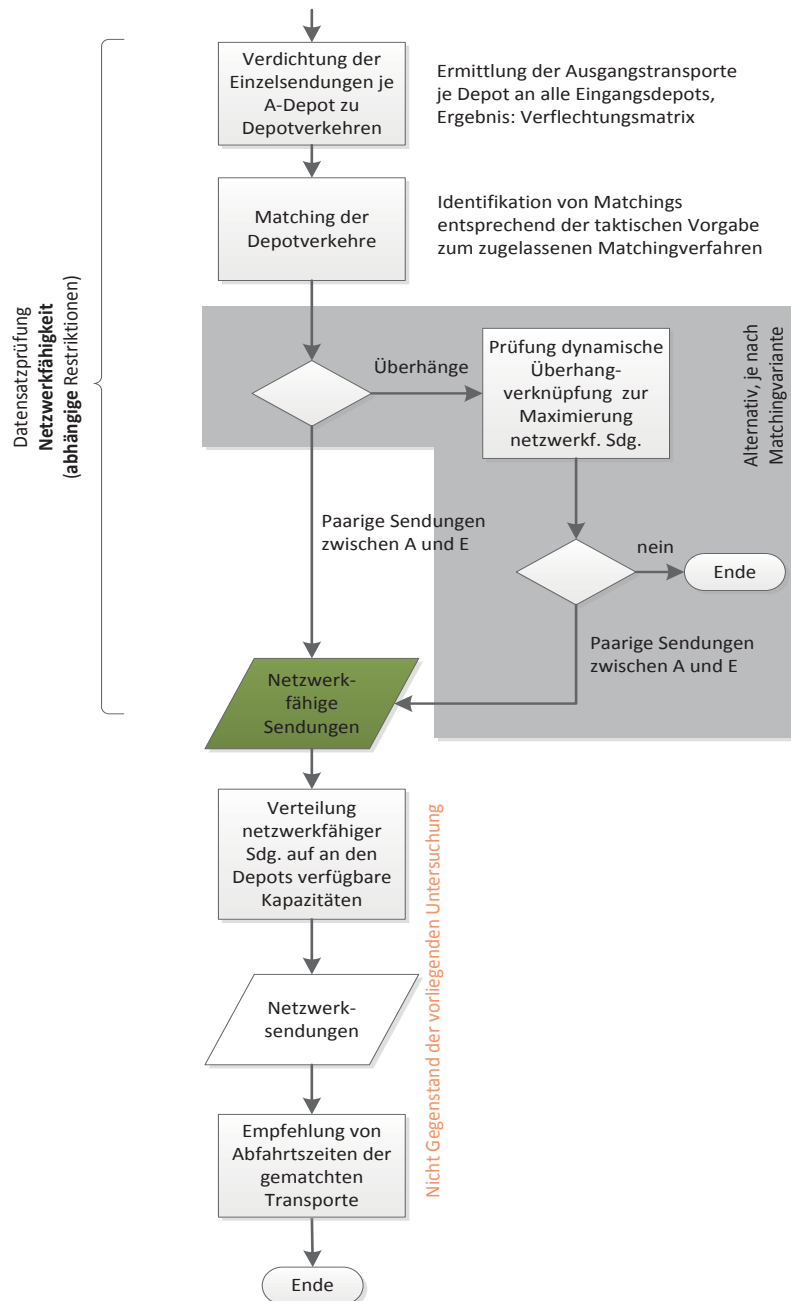


Abbildung 40: Ablauf Prüfung der Datensätze auf Netzwerkfähigkeit

Quelle: Eigene Darstellung

Das Gesamtergebnis der operativen Planung (bzw. Auswertung) ist mit entsprechend zeitlichem Vorlauf zum tatsächlichen Beladungstermin der untersuchten

Sendungen den Netzwerkteilnehmern mitzuteilen, damit einerseits die Nahverkehrsdisposition frühzeitig das Planungsergebnis umzusetzen vermag und andererseits für alle aus der Untersuchung ausgeschiedenen Sendungsdaten eine Lösung im Bereich der klassischen Produktion gefunden werden kann.

4.5. Zusammenfassung des konzeptionellen Ansatzes

Im zurückliegenden Kapitel wurde erstmals ein Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre konzeptionell entwickelt. In Anlehnung an die in der Literatur verfügbaren Planungsgegenstände verschiedener Planungsebenen von Stückgutsystemen konnten dabei die notwendigen Einzelmaßnahmen und deren quantitative und qualitative Charakteristik herausgearbeitet werden. Es hat sich dabei deutlich gezeigt, dass die netzwerkgeführte Produktion von Komplettladungsverkehren zwar in einigen Bereichen vergleichsweise einfache Lösungen für einzelne Planungsaufgaben zulässt, im Rahmen der Gesamtkonzeption jedoch nicht weniger komplexe Anforderungen stellt.

So sind auf Ebene der strategischen Planung vor allem die Fragestellungen im Hinblick auf Anzahl, räumliche Verortung und Dimensionierung von Depots im Netzwerk auf Basis mangelnder Notwendigkeit von Flächendeckung zur Leistungserstellung und auf Basis der auszuschließenden Konsolidierung von Sendungen äußerst flexibel zu bearbeiten. Umso komplexer jedoch werden durch dieselben Umstände Problemstellungen auf taktischer Ebene, deren Lösungen letztendlich die Steuerung und Funktionalität des Netzwerkes garantieren müssen. Zentraler Bestandteil der Netzwerkkonzeption auf taktischer Ebene ist dabei die Formulierung des Sendungsmatchings, also der zielführenden Verknüpfung verschiedener Sendungen im Netzwerk, die eine sequentielle Mehrfachbesatzung der eingesetzten Fahrzeuge ermöglichen soll und gleichzeitig deren gleichmäßige Auslastung garantiert. Dabei wird erstmals von der bisher auch in Stückgutsystemen praktizierten starren Linienverkehrsplanung abgewichen und ein Konzept zur dynamischen Identifikation von entsprechend passenden Sendungen im Sinne der zuvor definierten Parameter und dem täglich volatil zu erwartendem Gesamtaufkommen vorgestellt. Hierfür wurden erste konzeptionelle Merkmale und Restriktionen in Form von definierten Verkehrsverfahren, restriktiven Faktoren zur Gewährleistung der Funktionalität des Systems und differenzierte Varianten des Sendungsmatchings vorgestellt.

Abschließend wurden erste Prozessdefinitionen für die operative Planung des angestrebten Güterverkehrsnetzwerkes abgeleitet und die Implementierung der

auf den zuvor beschriebenen Planungsebenen entwickelten Maßnahmen dargestellt. Tabelle 9 (Seite 192) stellt die wichtigsten Planungsprobleme und deren Lösungsansätze auf den im Einzelnen besprochenen Planungsebenen für die Untersuchungsgegenstände „Stückgutnetzwerk“ und „Komplettladungsnetzwerk“ noch einmal gegenüber.

Alle im zurückliegenden Kapitel vorgestellten Einzelfaktoren und deren Zusammenwirken werden im Folgenden jeweils zu einer ersten vergleichenden Potentialanalyse herangezogen.

Tabelle 9: Merkmale und Prämissen der Planung von Güterverkehrsnetzwerken

Konzeption und Planung von Güterverkehrsnetzwerken

...im Sammelgutsegment	...im Komplettladungssegment
Fokus:	
Effiziente Sendungskonsolidierung	Gleichmäßig ausgelastete Verkehre (ohne Konsolidierungsmöglichkeit)
Aufgaben und Ziele strategischer Planung	
Bestimmung von optimaler Anzahl/Lage von Depots unter der Prämisse eines flächendeckenden Angebots	Anzahl/Lage der Depots variabel ohne Zwang zur Flächendeckung
Dimensionierung der Depots auf Grundlage erwarteter Mengen und Funktionalität des Depots	Depots mit vergleichsweise einfacher logistischer Funktion, Dimensionierung nicht notwendig
Festlegung der Netzstruktur/Stufigkeit	Netzstruktur vorgegeben, Mehrstufigkeit ausgeschlossen
Festlegung der Zeittaktung der Verkehre	Fixierte Zeittaktung nicht notwendig, individuelle Taktung möglich
Festlegung zur Netzwerkkonformität spezieller Gütergruppen	
Festlegung zum Transportequipment	
Aufgaben und Ziele taktischer Planung	
Planung von Sammel- und Verteilgebieten unter der Prämisse der Flächendeckung	Planung von Bediengebieten ohne Zwang zur Flächendeckung
Planung von Tourgebieten	-
Linienverkehrsplanung (Konsolidierungsmaßnahmen, Fahrplan der Hauptlaufverkehre)	Festlegung der Systematik zur Identifikation von Sendungspaaren zur gleichmäßigen Auslastung von im Netzwerk eingesetzter Ressourcen (unabhängig restriktive Faktoren, Verkehrsverfahren, abhängige restriktive Faktoren, Matchingmethoden)
Aufgaben und Ziele operativer Planung	
Organisation der Flächenverkehre (Abholungen, Zustellungen)	Organisation der Flächenverkehre (Abholungen, Zustellungen, Zwischentouren)
Abgrenzung Stückgut/Teilladungen	Identifikation von Netzwerksendungen
(nach Taktfahrplan)	Organisation des Systemverkehrs (bilaterale Abstimmung der Abfahrtszeiten gemachter Sendungen)
Festlegung Verfahrensweise für Teilladungen/Überhangmengen	Festlegung von Verfahren für nicht-netzwerkfähige Sendungen
Abwicklung von Teilladungen/Überhangmengen	Abwicklung von nicht-netzwerkfähigen Sendungen

Quelle: Eigene Darstellung

5. Potentiale des Lösungsansatzes

Das in den zurückliegenden Abschnitten theoretisch konzipierte Güterverkehrsnetzwerk und dessen funktionale Parameter werden folgend einer quantitativen Potentialanalyse unterzogen. Dabei soll untersucht werden, ob und in welchem Maße Vorteile durch die erreichte sequentielle Mehrfachbesatzung von Lkw in systemgeführten Ladungsverkehrsnetzwerken im Vergleich zur klassischen Produktionsform generiert werden können. Im Vordergrund steht dabei zunächst die Untersuchung der Funktionsfähigkeit der verschiedenen Matchingverfahren in Wechselwirkung mit den unabhängig restriktiven Faktoren (siehe Abschnitt 4.3.3.3.). Ziel der Untersuchung ist nachzuweisen, dass die Aufhebung der notwendigen (zuvor als „starr“ bezeichneten) Paarigkeit von mindestens zwei Sendungen einer Relation durch eine zusätzlich dynamische Überhangverknüpfung maßgeblich dazu beiträgt, die Anzahl der im Netzwerk abbildbaren Sendungen zu erhöhen. Im Anschluss an den theoretischen Funktionalitätsnachweis erfolgt eine ökonomische Bewertung des Ergebnisses auf Basis einer noch einmal eingehend erläuterten Anpassung der Fahrzeugkostenrechnung und die entsprechende Ableitung ökonomischer Potentiale des Ansatzes. Den Abschluss des Kapitels bildet die Bewertung der Ergebnisse aus ökologischer Sicht.

5.1. Theoretisch funktionale Potentialanalyse

5.1.1. Beschreibung des Testdatensatzes

Die theoretisch funktionale Potentialanalyse basiert auf einem, vom Elektronischen Marktplatz „TimoCom“ (siehe Abschnitt 3.3.1., Seite 105) zur Verfügung gestellten Datensatz. Die TimoCom Soft- und Hardware GmbH aus Erkrath ist einer der europaweiten Marktführer elektronischer Marktplätze für das Transportgewerbe. Transportaufträge, die nicht im klassischen Selbsteintritt, also mit dem eigenen Fuhrpark bearbeitet werden können, werden in das TimoCom-Portal eingestellt, sodass alle weiteren, am Portal angemeldeten Frachtführer diese Aufträge angeboten bekommen, um für eigene freie Ressourcen passende Aufträge finden zu können. Auf Basis der dargestellten, oft rudimentären Informationen bzgl. des angebotenen Transportauftrages finden bei passend erscheinenden Charakteristika bilaterale Verhandlungen zwischen Anbieter und Nachfrager statt, im Rahmen derer bspw. das Beförderungsentgelt und/oder genaue räumliche Informationen ausgetauscht werden. Nach eigenen Angaben der TimoCom nutzen das Portal derzeit ca. 110 000 Teilnehmer und

es werden im Portal täglich bis zu 500 000 Sendungen angeboten (vgl. TimoCom Hard- und Software GmbH (2016)). Über Ladungsportale wie TimoCom wird der sog. Spotmarkt bzw. das Spotgeschäft abgewickelt. Dabei gilt, wie bereits ausgeführt (siehe Abschnitt 2.2.3.2. Seite 50), stets der tagesaktuell verhandelte Preis. Jede dieser Vereinbarungen gilt als eigenständige Transaktion, ohne Verpflichtungen bezüglich möglicherweise folgender Transaktionen (L. Schubert (2013), S. 33). Enge Beziehungen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern existieren i. d. R. nicht. Die Frachtraten insgesamt orientieren sich stets am aktuellen Marktniveau (vgl. Walther (2010), S. 59).

Das im Rahmen der vorliegenden Untersuchung angestrebte Dissertationsvorhaben wurde durch die TimoCom Soft- und Hardware GmbH freundlicherweise durch die umfangreiche Bereitstellung von Sendungsdaten (Frachtangebote, die über das Portal tatsächlich vermarktet wurden) in folgend beschriebener Quantität und Qualität unterstützt¹³⁰.

5.1.1.1. Quantität des Datensatzes

Die Datensatzbeschreibung kann entsprechend den vom Portal erlaubten Merkmalen zur Charakterisierung eines Frachtangebotes wie folgt zusammengefasst werden:

- Beladedatum: Auswertungszeitraum 01.01.2011 – 17.04.2012,
- Nationale Sendungen, d. h. Eingabefelder „Länderkennzeichen von“ = D und „Länderkennzeichen nach“ = D,
- Komplettladungsangebote, d. h. Eingabefeld „Ladung-Länge“ $\geq 13,6$ oder leer¹³¹,

¹³⁰ Der Dank des Verfassers gilt an dieser Stelle insbesondere Herrn Marcel Frings, Chief Representative/Director Business Development & Key Account Management im Hause TimoCom, der die Datenbereitstellung ermöglichte.

¹³¹ Aus Gründen der Zeitersparnis bei der Eingabe von Frachtangeboten werden oft nur die wichtigsten Merkmale einer Sendung erfasst. Diese sind vordergründig: Länderkennzeichen, Beladepostleitzahl und Entladepostleitzahl. Fehlende Einträge weisen i. d. R. auf allgemeingültige Merkmale hin. So kann auf Basis persönlicher Erfahrungen des Verfassers davon ausgegangen werden, dass Sendungen ohne Lademeterangaben stets Komplettladungen bezeichnen, während im Fall einer Teilladung auf eben diesen Fall explizit durch Eingabe der Lademeteranzahl hingewiesen wird.

- Standardequipment, d. h. Eingabefeld „Aufbau“ = Plane, Koffer und Jumbo¹³²,
- Stichprobe: alle entsprechenden Frachtangebote des jeweiligen Dienstages einer Kalenderwoche im Auswertungszeitraum¹³³; die Auswertung bezieht sich somit auf insgesamt 68 Auswertungstage.

Ein Sendungsdatum (singuläres Frachtangebot) ist dabei durch die folgenden Merkmale beschrieben:

- Beladedatum,
- Quell-Postleitzahl (von_plz),
- Quell-Ort (von_ort),
- Senken-Postleitzahl (nach_plz),
- Senken-Ort (nach_ort),
- Ladelänge (ladung_laenge),
- Aufbauart (aufbau).

Zum Zweck der Anonymisierung wurde auf die Übermittlung jeglicher unternehmensbezogener Daten verzichtet, da diese zudem für die angestrebte Untersuchung keinerlei Relevanz besitzen. Tabelle 10 (Seite 196) zeigt einen kurzen Auszug der zu verarbeitenden Rohdaten nach deren Übermittlung durch TimoCom.

¹³² Hierbei galt es vor allem, Sendungen, die mit Spezialequipment wie „Schubboden“, „Kipper“, „Silo“, „Tank“ usw. gefahren werden müssen, von der Datenerhebung auszuschließen. Seit Mitte des Jahres 2012 steht zudem die Aufbauart „Mega“ (für Sattelaufleger mit 3 m Innenhöhe) zur Auswahl, die ebenfalls untersuchungsrelevant gewesen wäre, zum Zeitpunkt der Datenerhebung jedoch noch nicht separat zur Verfügung stand und deshalb hinter der Merkmalskombination aus „Länge“ = 13,6 und „Aufbau“ = Jumbo vermutet werden kann.

¹³³ Im Rahmen der folgenden Auswertung des Datensatzes war es wichtig, einerseits die Volatilität des Sendungsaufkommens auf Tagesebene zu erfassen und darüber hinaus, saisonale Schwankungen im Jahresverlauf ebenfalls zu berücksichtigen. Da die Bereitstellung ALLER im Laufe von 15 Monaten im Portal eingestellter Sendungen jedoch nicht möglich war, wurde die Abfrage den Empfehlungen von BÄUMER und HAUTZINGER folgend auf die jeweiligen Diensttage aller den Erhebungszeitraum betreffenden Kalenderwochen reduziert (vgl. Bäumer und Hautzinger (2010), S. 41).

Tabelle 10: Rohdaten, Frachtangebote

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?
beladedatum; von_plz; von_ort; nach_plz; nach_ort; ladung_laenge; aufbau				
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Göppingen; 77652; offenburg; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Tartu; 88239; wangen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Mülheim an der Ruhr; 57610; Altenkirchen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Duisburg; 57413; Finnentrop; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Georgsmarienhütte; 52070; Aachen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Buchloe; 52070; Aachen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Freilassing; 93083; Obertraubling; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Düren; 00000; Greiz; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Freilassing; 93083; Obertraubling; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Schwarzenfeld; 52070; Aachen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; bidingen; 00000; tischenreuth; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Herbrechtingen; 97616; Bad Neustadt; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Witzzenhausen; 55597; Wöllstein; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Witzzenhausen; 55597; Wöllstein; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Heilbronn; 52070; Aachen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Obermeitingen; 36282; Haunack; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Mayen; 56841; Traben-Trarbach; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Witzzenhausen; 55597; Wöllstein; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 00000; Elsterwerda; 52070; Aachen; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Trebsen; 89073; Ulm; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Dresden; 39288; Burg; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Lauchhammer; 60308; Frankfurt; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Lauchhammer; 60308; Frankfurt; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Lauchhammer; 60308; Frankfurt; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Ottendorf Okrilla; 53797; Lohmar; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Trebsen; 77933; Lahr Schwarzwald; 13.6; Plane			
2011-04-26	00:00:00.0; 01000; Riesa; 20000; Hamburg; 13.6; Plane			

Quelle: Eigene Datei, durch die TimoCom Soft- und Hardware GmbH, Erkrath zur Verfügung gestellter Datenbankexport

Insgesamt verteilt sich eine verfügbare Anzahl von 1 878 773 den zuvor skizzierten Anforderungen entsprechende Datensätze auf die bereits genannten 68 Auswertungstage. Abbildung 41 stellt die Verteilung der Datensätze auf die einzelnen Auswertungstage grafisch dar und hebt einmal mehr die Volatilität des hier betrachteten Spotmarktes hervor. So stehen zwar im Mittel gut 27 600 Sendungen je Auswertungstag zur Verfügung, jedoch beträgt die statistische Spannweite über alle Auswertungstage knapp 57 000 Sendungen bei einer letztendlichen Standardabweichung von ca. 14 000 Sendungen.

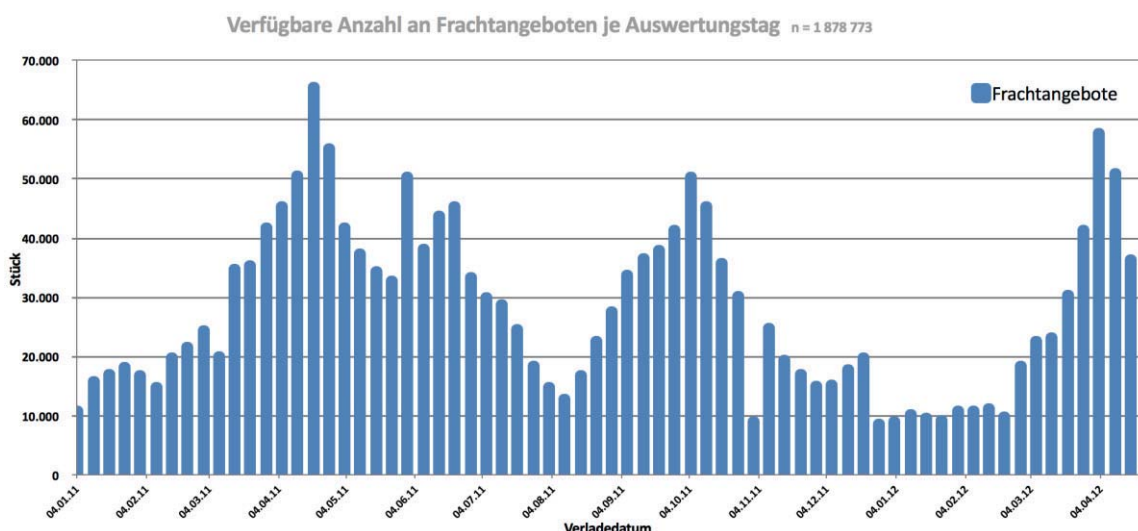


Abbildung 41: Verteilung der verfügbaren Datensätze auf einzelne Auswertungstage

Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der teils massiven quantitativen Abweichungen des täglich verfügbaren Sendungsportfolios wird noch einmal die Notwendigkeit einer flexiblen Reaktionsmöglichkeit der angestrebten Systemverkehre auf sich verändernde Rahmenbedingungen deutlich. Ohne bereits an dieser Stelle die relationsbezogene Verflechtung der einzelnen Sendungen zu kennen, scheint eine starre Linienverkehrsplanung für den Ladungs(system)verkehr, der, wie bereits mehrfach ausgeführt, keine Bündelungseffekte generieren kann, unangebracht. Die flexible Hauptlaufsteuerung muss dabei stets eine optimale Auslastung des Gesamtnetzwerkes, sowohl an aufkommensschwachen als auch an aufkommensstarken Tagen gewährleisten.

5.1.1.2. Repräsentativität des Datensatzes

Der zur Auswertung zur Verfügung stehende Datensatz zeigt das Verhalten des Spotmarktes anhand eines Angebotsquerschnittes des marktführenden elektronischen Marktplatzes in Deutschland (siehe dazu auch Abschnitt 2.2.3.2., Seite 50 und Abschnitt 3.3.1., Seite 105). Betrachtet man den Spotmarkt bzw. die dort vermarkteten Ladungsangebote als „Überlaufbecken“ der geplanten Transportproduktion, so kann in quantitativer Form kein seriöser Rückschluss auf die insgesamt in Deutschland transportierten Menge gezogen werden, da die Grundlast der Transportproduktion, die außerhalb des Spotmarktes beauftragt wird, nicht bekannt ist. Weiter stellt eine relationsbezogene Betrachtung der Spotmarktaufträge oft eine dem Gesamtmarkt umgekehrte Situation dar. So werden häufig vor allem die für den Selbsteintritt unattraktiven Aufträge am Spotmarkt angeboten, um mit dem eigenen Fuhrpark eben nicht in Gebiete mit geringer Wahrscheinlichkeit auf direkte Rückbefrachtung fahren zu müssen. Insofern wird eine spätere Auswertung der räumlichen Verortung von Quellen und Senken und deren Häufigkeit zeigen, dass Gebiete, die innerhalb der deutschlandweiten Gesamtbetrachtung eine eher untergeordnete Rolle spielen, im Rahmen der Spotmarktanalyse hochfrequentierte Ein- und teilweise auch Ausgangsgebiete darstellen (siehe Abbildung 45, Seite 207). Auch wenn die hier zu Auswertung kommenden Sendungsdaten also insgesamt weder im Sinne der Quantität noch des räumlichen Bezuges als repräsentativ für das in Deutschland im Straßengüterverkehr bewegte Gesamtvolumen angesehen werden können, so eignen sich gerade diese Daten für die angestrebte Untersuchung in besonderem Maße.

Die zuvor dargelegte Volatilität des Sendungsvolumens an den unterschiedlichen Auswertungstagen ist im separat betrachteten Spotmarkt höher einzuschätzen, als bei einer Betrachtung des Gesamtmarktes (inkl. dem Volumen des Spotmarktes als Teilmenge). Somit können die Auswirkungen des Marktverhaltens auf die Stabilität und Grundlast des angedachten Netzwerkverkehrs unter äußerst ungünstigen Bedingungen getestet werden, auch wenn diese Bedingungen für den späteren praktischen Betrieb nicht maßgebend sind. Ferner spielt der Richtungsbezug einzelner Sendeströme für die Untersuchungen der Wirkungsweise der geplanten dynamischen Überhangverknüpfung eine nur untergeordnete Rolle. Wichtige Voraussetzung für die Untersuchung ist jedoch, dass sich Sendeströme nicht auf wenige Hauptrelationen konzentrieren, was innerhalb des verfügbaren Datensatzes als ausgeschlossen gelten kann und durch folgende Untersuchungen belegt wird (siehe Abschnitt 5.1.3.2.).

5.1.1.3. *Qualität und Filterung des Datensatzes*

Der vorgestellte Datensatz besitzt in seiner übermittelten Form insgesamt die zuvor beschriebenen charakteristischen Merkmale. Einzelne Datensätze können jedoch aufgrund folgender Eigenschaften nicht verarbeitet werden. Zwar verfügt zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der vorliegenden Arbeit die Mehrheit der Speditionsanwendungen über Schnittstellen, die einen Export der erfassten Auftragsdaten zur Plattform TimoCom ermöglichen, der hier verwendete Testdatensatz jedoch lässt die Vermutung zu, dass dieser mehrheitlich manuell im Portal erfasst wurde. So werden, wie bereits ausgeführt, nur die wichtigsten Informationen erfasst und dargestellt, häufig werden darüber hinaus aber zum Zwecke der Zeitersparnis während der Erfassung Informationen eingekürzt bzw. zusammengefasst. Klassisches Beispiel hierfür ist die nicht hinreichend genau beschriebene fünfstellige Postleitzahl als Kennzeichen der räumlichen Verortung von Quelle und/oder Senke des Ladungsangebotes, die häufig nur zweistellig beschrieben und mit entsprechender Anzahl Nullen im Erfassungsfeld aufgefüllt wird. Die letzte Zeile der in Tabelle 10 (Seite 196) exemplarisch dargestellten Sendungsdaten zeigt ein solches Beispiel:

„[...] von 01000 Riesa nach 20000 Hamburg [...]“

Zwar sind die dargestellten Informationen für Disponenten zunächst ausreichend, um darüber zu entscheiden, ob das Ladungsangebot von Interesse sein kann oder nicht, die maschinelle Auswertung im Rahmen der hier angestrebten Potentialanalyse kann solche Datensätze jedoch nicht berücksichtigen. Ferner ergeben sich bei manueller Erfassung naturgemäß Fehler, sodass

Datensätze zwar im Sinne des notwendigen Formats passend erstellt wurden (jeweils fünfstellige PLZ vorhanden), die Angaben jedoch falsch sind. Fehlerhafte, nicht existente Postleitzahlangaben können ebenfalls maschinell nicht ausgewertet werden, da auch hierfür keine Routinginformationen ermittelbar sind.

So wurden zunächst alle Datensätze auf das Vorhandensein je einer korrekten fünfstelligen Postleitzahlangabe für Quelle und Senke überprüft und fehlerhafte Datensätze aus der Untersuchung ausgeschlossen. Insgesamt mussten aufgrund der zuvor genannten Probleme ca. 172 000 Datensätze als nicht auswertbar identifiziert werden. Der zu verarbeitende Gesamtdatensatz besitzt somit **einen Umfang von insgesamt 1 706 863 Sendungsdaten.**

5.1.1.4. Alternative Datenquellen

Einleitend muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass seit der Unwirksamkeit des in Teilen bis 1998 gültigen Ordnungsrahmens des staatlich regulierten Straßengüterverkehrs, der vor allem Marktzugangsbeschränkungen in Form von Kontingentierung der Genehmigungen für die Durchführung von Straßengüterverkehren beinhaltete (vgl. Ihde (2001), S. 172) und dem damit einhergegangenen Wegfall der Kontrollen der Einhaltung dieser Kontingentierung, keine detaillierten Erhebungen darüber existieren, welche Gütermengen auf welchen Relationen von Einzelfahrzeugen oder auf Unternehmensebene transportiert werden.

So erhebt bspw. das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) in Stichproben mittels des Formblattes bei ausgewählten Unternehmen einzelne Angaben zum Fahrzeug-einsatz im gewerblichen Verkehr und im Werkverkehr. Dabei werden sämtliche in einem Berichtszeitraum beginnende Fahrten bis zu ihrem Fahrtende sowie die dabei transportierte Ladung erfasst. Das Zentrale Fahrzeugregister (ZFZR) ist dabei die Auswahlgrundlage für die Stichprobenziehung, Basis für die Hochrechnung und Informationsquelle zu Fahrzeugdaten zwecks Entlastung der Befragten. Ermittelt werden Kennzeichen und Halteranschriften der Stichprobenfahrzeuge sowie die technischen Angaben zum jeweiligen Fahrzeug (auch der eingesetzten Anhänger) (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt (2013), S. 90). Die Ergebnisse werden in einer Hochrechnung ermittelt und als kumulierte Verkehrsverflechtung des Transportaufkommens in Tonnen und der Beförderungsleistung in Tonnenkilometern der Bundesländer und NUTS 2-Regionen, differenziert

nach Güterpositionen (zusammengefasste NST 2007-Abteilungen, siehe auch Abschnitt 2.1.2., Seite 14 ff) dargestellt. Als nachteilig bzgl. der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung angestrebten Auswertung muss dabei angeführt werden:

- Die berücksichtigten Quell- und Zielgebiete (Bundesländer, NUTS 2-Regionen) sind für eine Übertragung in eine praxisrelevante Netzwerk-konfiguration zu groß.
- Eine vergleichende Kostenkalkulation ist auf Einzelauftragsebene nicht möglich, da die großflächige Beschreibung der Quell- und Zielgebiete keine gesicherten Rückschlüsse auf einzelne Auftragsentfernungen zulassen.
- Kumulierte Aufkommensangaben lassen zudem keinen methodisch gesicherten Rückschluss auf einzelne Lkw-Fahrten zu (Ziel der Untersuchung!).
- Nicht für alle Verflechtungsrelationen stehen Ergebnisse zur Verfügung (Auswertung insgesamt sehr lückenhaft).
- Aufkommensangaben sind nur als kumulierte Werte einer Jahres-scheibe verfügbar, keine Rückschlüsse auf Volatilität des Aufkom-mens im Zeitverlauf möglich.

Im Vergleich mit der verfügbaren Datenbasis, die zwar nur einen Ausschnitt des Gesamtmarktes beschreibt, liegen die jeweiligen Sendungsdaten jedoch als einzelne Lkw-Fahrten mit einem eindeutig zeitlich differenzierbaren Bezug einer Tagesscheibe und mit eindeutigem Ortsbezug von Quelle und Senke vor.

Ähnliche Schwächen, bezogen auf das Auswertungsziel, weisen die der „Verkehrsverflechtungsprognose 2030“ (vgl. M. Schubert et al. (2014)) bzw. des Vorgängers, der „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtung“ zugrundeliegenden Güterverkehrsmatrizen¹³⁴ auf. Zwar basieren beide Auswertungen auf vergleichsweise kleinräumigeren Verkehrszellen (NUTS 3-Regionen), jedoch ist auch hier durch die kumulierte Darstellung der Ergebnisse in der Jahresscheibe kein Rückschluss auf temporäre Aufkommensschwankungen möglich. Einzelne Lkw-Fahrten sind ebenfalls nicht methodisch sicher auszuweisen und mangels genauer Entfernungsinformationen nicht vergleichend monetär bewertbar.

¹³⁴ Die GV-Matrizen sind über die „Clearingstelle Verkehr“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unter www.dlr.de/cs/ zu beziehen.

Es stehen darüber hinaus keine weiteren Datenquellen bzw. weiteres Datenmaterial zur zielführenden Auswertung im Sinne der angestrebten Untersuchung zur Verfügung.

5.1.2. Netzwerkkonfiguration

Um die zur ersten Analyse vorliegenden Daten zielführend auswerten zu können, gilt es weiter, für den Versuchsaufbau eine erste Netzwerkkonfiguration zu entwickeln. Die im Rahmen der **strategischen Netzwerkplanung** erarbeiteten einzelnen Planungsaufgaben (siehe Abschnitt 4.2., Seite 143 ff) sollen dabei erstmals zur Anwendung kommen. Im Sinne des grundsätzlichen Ausschlusses von Hubstrukturen für Komplettladungsnetzwerke aufgrund zu erwartender ökonomischer Nachteile im Vergleich zur Rasterstruktur, wird das zu Versuchszwecken zu gestaltende Netzwerk als **Rasterstruktur** ausgebildet. Grundsätzlich wurde bereits ausgeführt, dass im Komplettladungsnetzwerk kein direkter Zwang zur Flächendeckung existiert und darum die Frage nach „Anzahl notwendiger Depots“ und „Räumlicher Verortung der Depots“ variabel und in Abhängigkeit der angestrebten Netzwerkausdehnung flexibel zu beantworten ist. Im vorliegenden Versuchsaufbau soll jedoch eine nationale Flächendeckung gewährleistet werden, woraufhin die Anzahl und auch eine entsprechende räumliche Verortung der Depots nicht ohne Weiteres frei festzulegen ist. Grundlage der zu treffenden Festlegungen hierzu werden die auf Ebene der taktischen Planung getroffenen Annahmen im Hinblick auf die Planung von Sammel- und Verteilgebieten (hier Bediengebiete) zum Erreichen einer deutschlandweiten Flächendeckung darstellen. Eine strategische „Dimensionierung“ von Depots konnte mangels Notwendigkeit entsprechender logistischer Funktionen ebenfalls ausgeschlossen werden, eine Festlegung auf den Straßengüterverkehr insgesamt gilt als angenommen.

Für die auf taktischer Planungsebene zu treffenden Entscheidungen im Hinblick auf die Entwicklung von Bediengebieten wird für das zu entwickelnde Versuchsnetzwerk die Struktur der **zweistelligen Postleitzahlgebiete Deutschlands** mit wenigen Einschränkungen adaptiert.

Zunächst liegt die Adaption der PLZ-Gebiete Deutschlands dahingehend nahe, als dass die räumliche Verortung der Sendungsdaten über deren Quell- und Senken-PLZ ein einfaches Zuordnungsverfahren zu vermeintlichen Bediengebieten erlaubt. Weiter korreliert die Ausdehnung der einzelnen zweistelligen

PLZ-Gebiete mit dem erwarteten Sendungsaufkommen des jeweiligen Gebietes. Das bedeutet, in dicht besiedelten Bundesländern wie bspw. Nordrhein-Westfalen ist die flächenmäßige Ausdehnung der jeweiligen Gebiete entsprechend geringer als vergleichsweise in sog. Flächenländern wie Mecklenburg-Vorpommern. Insofern ist es auch innerhalb eines Komplettladungsnetzwerkes zu erwarten, dass Gebiete mit hohem Sendungsaufkommen im Aus- und Eingang von einer größeren Anzahl Partnerbetriebe bearbeitet werden müssen, während Gebiete mit insgesamt weniger Sendungsaufkommen größer dimensioniert werden müssen, um einen ökonomisch sinnvollen Fahrzeugeinsatz zu gewährleisten. Ferner entspricht die Dimension der zweistelligen PLZ-Bereiche im Mittel ungefähr der in Abschnitt 4.3.1. (Seite 151) dargelegten Ausdehnungsstrategie für Bedienggebiete eines Komplettladungsnetzwerkes.

Zur Vereinfachung einzelner Bedienggebietsdefinitionen wurden einige räumlich sehr gering ausgedehnte Gebiete und sowie Gebiete, die einander nahezu umschließen (siehe Abbildung 42) zusammengefasst. Die Zusammenfassung einzelner Gebiete folgt dabei keiner wissenschaftlichen Methode, an dieser Stelle sollten vielmehr „händische“ Anpassungen genügen.

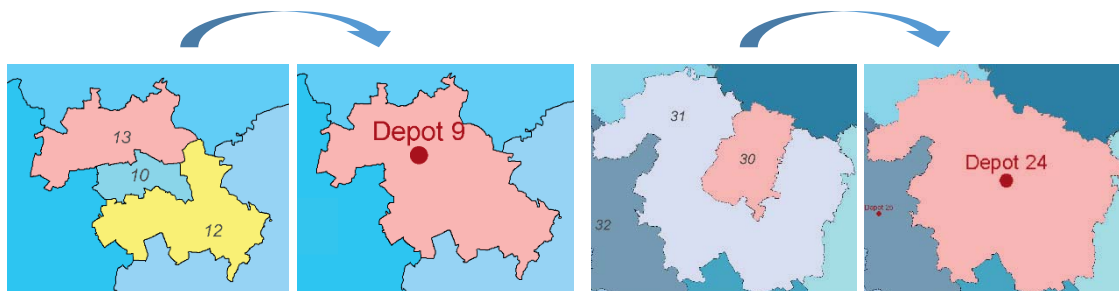


Abbildung 42: Zusammenfassung verschiedener PLZ-Gebiete zu einem Bedienggebiet

Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt stehen somit für eine erste Analyse 86 Bedienggebiete, die eine 100%ige Flächendeckung in Deutschland gewährleisten, zur Verfügung. Jedem Bedienggebiet wurde daraufhin ein Depotstandort zugewiesen. Dieser ist i. d. R. der einwohnerstärksten Stadt im betrachteten Bedienggebiet zugeordnet, da dort das höchste Sendungsaufkommen vermutet werden kann und somit Streckenaufwände für Vor- und Nachlaufverkehre minimiert werden können.

Alternativ wurde zuvor geprüft, ob Depotstandorte bspw. mit Hilfe des Flächenschwerpunktes des einzelnen Bedienggebietes sinnvoll zu ermitteln sind. Dies war jedoch bei einer überwiegenden Mehrzahl der betrachteten Gebiete nicht

der Fall. Abbildung 43 stellt die räumliche Verortung der Depotstandorte, die der Datenauswertung unterlegt sind und die jeweils von dort aus bewirtschafteten Bedienggebiete noch einmal grafisch dar. Weiterhin ist eine tabellarische Übersicht aller Bedienggebiete und deren Depotstandorte dem Anhang der Arbeit zu entnehmen.

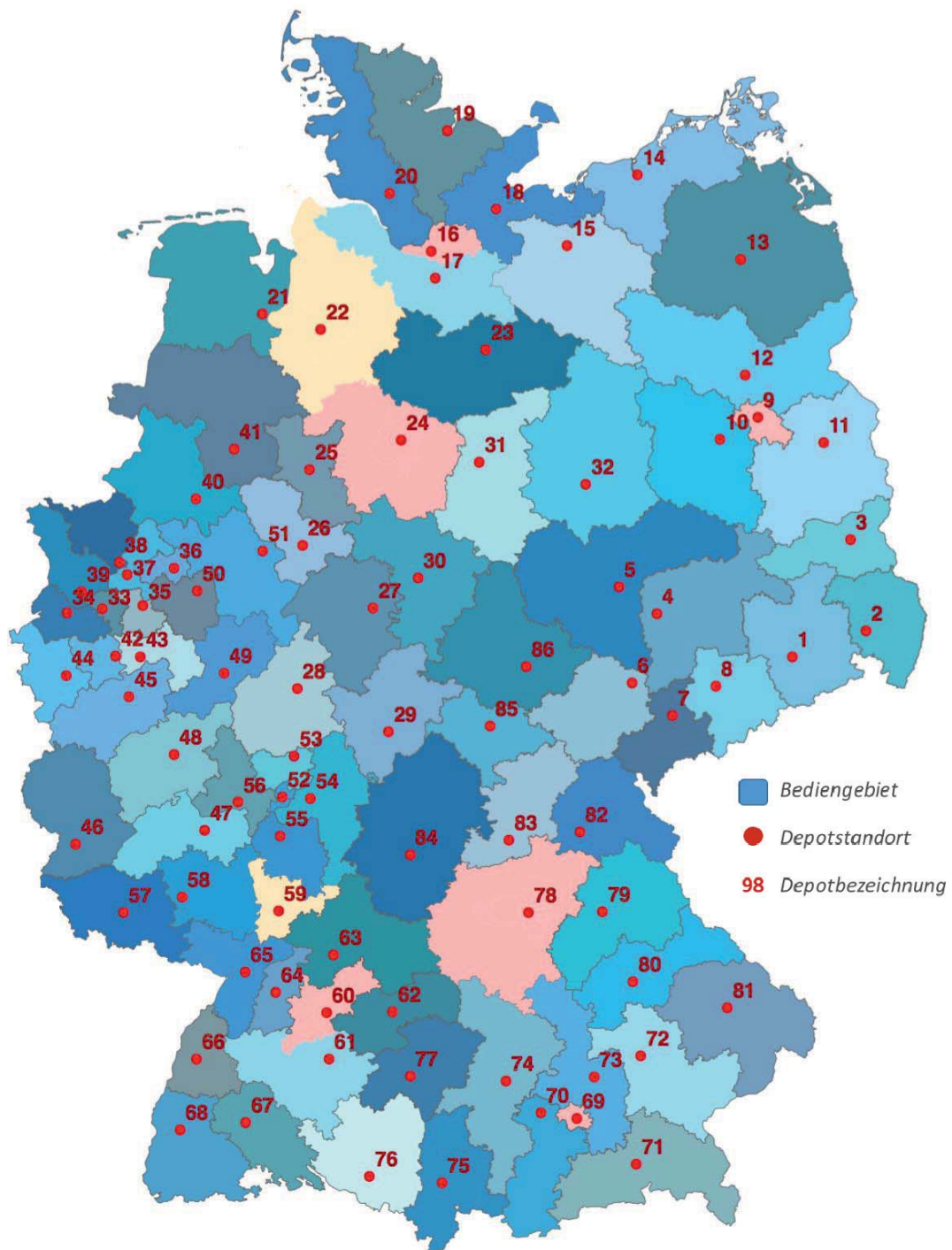


Abbildung 43: Netzwerkkonfiguration zur theoretisch funktionalen Potentialanalyse

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.3. Testergebnisse

Der auswertbare Datensatz wird folgend unter Verwendung der zuvor beschriebenen Netzwerkkonfiguration dem unter Abschnitt 4.4. beschriebenen Prüfprozess unterzogen, um so jedes einzelne Sendungsdatum auf der Grundlage der verschiedenen Verkehrsverfahren auf dessen letztendliche Netzwerkfähigkeit hin zu überprüfen. Ziel der Untersuchung ist dabei, neben der rein quantitativen Ermittlung matchbarer Sendungen, die Wirksamkeit des Prinzips der Überhangverknüpfung nachzuweisen und die Ergebnisse verschiedener Verkehrs- und Matchingverfahren miteinander zu vergleichen.

5.1.3.1. Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz

Entsprechend des in Abbildung 38 (Seite 183) dargestellten Ablaufs der ersten Untersuchungsphase werden alle Sendungen auf notwendige Eigenschaften geprüft, nationale Transporte und Komplettladungen zu sein, die wiederum einer festgelegten Mindestanforderung an das notwendige Transportequipment genügen. Auf der Grundlage der entsprechend formulierten Datensatzbeschreibung (siehe Abschnitt 5.1.1.1., Seite 194), die wiederum auf eben den genannten Eigenschaften basiert, kann der Untersuchungsschritt für die vorliegende Untersuchung entfallen, da der Testdatensatz bereits auf Basis der zu filternden Kriterien zusammengestellt wurde. Abzüglich der durch Falscheingaben oder Fehler nicht maschinell auswertbaren PLZ-Angaben einzelner Datensätze ist von einer allgemeinen Untersuchungsrelevanz aller 1 706 893 Datensätze des auswertbaren Gesamtdatensatzes auszugehen.

5.1.3.2. Prüfung der Datensätze auf Netzwerkrelevanz

Nach Feststellung der Untersuchungsrelevanz des jeweiligen Sendungsdatums folgt die bereits in Abbildung 39 (Seite 186) nachzuvollziehende Prüfung auf Netzwerkrelevanz. Das bedeutet, jedes einzelne Sendungsdatum wird dahingehend geprüft, ob dieses im Rahmen der Netzwerkkonfiguration und des unterstellten Verkehrsverfahrens im Netzwerk produziert werden kann. Im Einzelnen werden dabei folgende Merkmale geprüft:

- Beladedatum

Im vorliegenden Untersuchungsfall werden alle in der Datenbank befindlichen Daten entsprechend dem Beladedatum den jeweiligen 68 Auswertungstagen

zugeordnet, um sicherzustellen, dass im weiteren Verlauf nur Sendungen des gleichen Auswertungstages auf abhängige restriktive Faktoren geprüft werden.

- Quelle und Senke der Sendung sind räumlich innerhalb eines der definierten Bediengebiete verortet.

Im vorliegenden Untersuchungsfall ergibt sich aus der Netzwerkdefinition und der damit einhergehenden Definition der Bediengebiete eine 100%ige Flächendeckung des Untersuchungsraumes. Es ist deshalb davon auszugehen, dass für alle untersuchungsrelevanten Sendungsdaten sowohl ein Ausgangs- als auch ein Eingangsdepot erreichbar ist. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Prüfung auf Erreichbarkeit eines Aus- und eines Eingangsdepots.

Tabelle 11: Sendungen mit erreichbarem Aus- und/oder Eingangsdepot

Anzahl Sendungen mit erreichbarem Ausgangsdepot	Anzahl Sendungen mit erreichbarem Eingangsdepot	Anzahl Sendungen mit erreichbarem Aus- und Eingangsdepot	Fehler
1 706 802	1 706 822	1 706 731	135

Quelle: Eigene Darstellung

Erwartungsgemäß können fast alle Sendungen im Datenpool zunächst von einem Aus- und auch einem Eingangsdepot bedient, also abgeholt und auch zugestellt werden. Insgesamt ergab die Entfernungsabfrage für 135 Sendungen kein Ergebnis, da keine Straßenverbindung zum referenzierten Schwerpunkt des PLZ-Gebietes ermittelt werden konnte. Dies ist bspw. bei Inseln ohne Brückenverbindung der Fall. Abbildung 44 (Seite 206) zeigt die räumliche Verteilung aller Sendungsquellen innerhalb der 8 278 fünfstelligen Postleitgebiete sowie die räumliche Verteilung aller Sendungssenken des untersuchungsrelevanten Datensatzes.

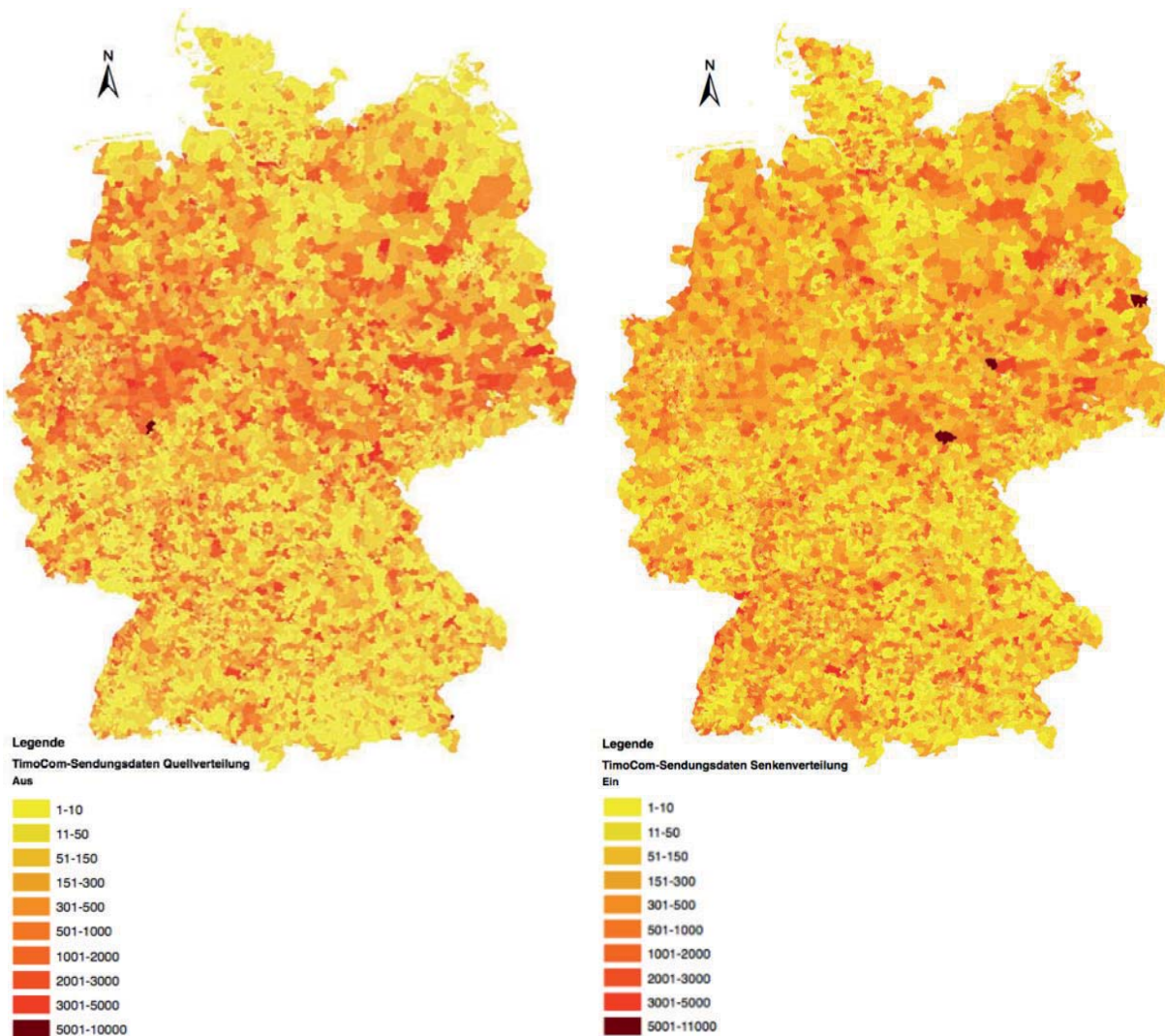


Abbildung 44: Räumliche Verteilung der Quell-Postleitzahlen (links) und Ziel-Postleitzahlen (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 1\,706\,731$)

Quelle: Eigene Darstellung

Während sich die Quellen des untersuchungsrelevanten Datensatzes mit einer statistischen Spannweite von 7 580 Sendungen (0-7 580 Sdg.), im Mittel mit 206,2 Sendungen bei einer Standardabweichung von 499,4 Sendungen auf 8 278 PLZ-Gebiete verteilen, beträgt die Spannweite der Senkenverteilung 10 284 Sendungen (0-10 284 Sdg.) bei einer Standardabweichung von 495,7 Sendungen um den gleichen Mittelwert. Die jeweils hohe Spannweite sowie die entsprechend hohen Standardabweichungen beider Verteilungen indizieren das eingangs skizzierte Problem ungleichmäßig verteilten Aufkommens von Transportbedarfen und der daraus resultierenden unpaarigen Verkehrsströme.

Dies wird noch deutlicher, subsummiert man die entsprechenden Quellen und Senken innerhalb der zugrunde gelegten Netzwerkkonfiguration (siehe Abschnitt 5.1.2. Seite 201) in den jeweiligen Bedienegebieten.

Abbildung 45 zeigt das jeweilige Quell- und Senkenaufkommen der 86 Bedienegebiete.

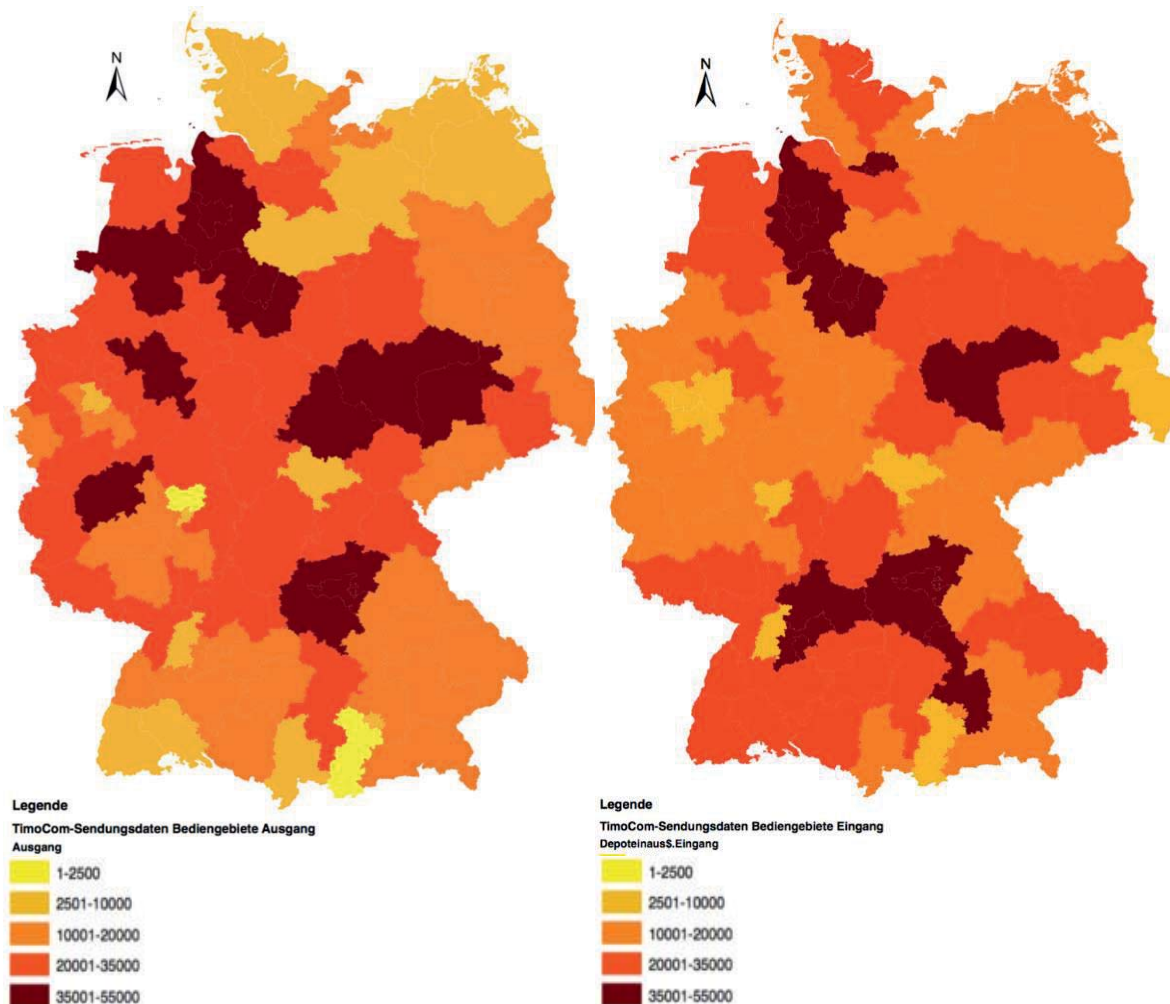


Abbildung 45: Räumliche Verteilung der Quellen innerhalb der Bedienegebiete (links) und der Senken innerhalb der Bedienegebiete (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 1\,706\,731$)

Quelle: Eigene Darstellung

- Quelle und Senke dürfen nicht im selben Bedienegebiet verortet sein.

Transporte, die innerhalb eines Bedienegebietes abwickeln werden müssen, werden im Rahmen der operativen Planung durch die Nahverkehrsdisposition bearbeitet und spielen bei der Planung und Durchführung der Netzwerkverkehre keine Rolle. Aus diesem Grund können bzw. müssen Sendungen, deren Quell-Postleitzahl und Senken-Postleitzahl dem gleichen Bedienegebiet zuzuordnen

sind, von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen werden. Der untersuchungsrelevante Datensatz (1 706 731 Sdg.) beinhaltet insgesamt **17 176 Sendungen**, die ein entsprechendes Merkmal besitzen, was letztendlich einem Anteil von 1 % der Gesamtdatenmenge entspricht.

- Kann eine Route im Rahmen der Netzwerkkonfiguration gefunden werden, die den Parametern des einzelnen Verkehrsverfahrens entspricht?

Die in Abschnitt 4.3.3.3. ausführlich diskutierten Verkehrsverfahren sind im Hinblick auf die für das Routing wichtigen Parameter, vordergründig durch die maximal zulässige Depotentfernung $d_{\max}$ differenzierbar. Dabei wurde zunächst grundsätzlich zwischen den Verfahren „Begegnungsverkehr“ und „Depotverkehr“ unterschieden. Die innerhalb eines späteren Untersuchungsschrittes zum Einsatz kommenden Matchingalgorithmen wurden dabei zudem innerhalb des Verfahrens „Begegnungsverkehr“ in MB01 (Identifikation paariger Sendungen zwischen zwei Depots mit einem depotungebundenen Einheitentausch) und in MB02 (Identifikation paariger Sendungen zwischen zwei Depots mit depotgebundenem Einheitentausch) differenziert. Ferner wurde der „Depotverkehr“ ebenfalls in zwei unterschiedliche Matchingvarianten unterschieden, die jedoch im Hinblick auf die hier diskutierte Größe $d_{\max}$ dieselben Anforderungen stellen.

Grundsätzlich wird die vorliegende Untersuchung in jeweils zwei Entfernungsszenarien je Verkehrsverfahren umgesetzt. Dabei wird im:

- Begegnungsverkehr ohne Depotzwang beim Einheitentausch eine Maximalentfernung zwischen Aus- und Eingangsdepot von **$d_{\max} = 580$ km** (siehe Seite 164) und alternativ **$d_{\max} = 500$ km** und im
- Begegnungsverkehr mit Depotzwang beim Einheitentausch und im Depotverkehr eine Maximalentfernung von Aus-, Wechsel- und Eingangsdepot von je **$d_{\max} = 290$ km** (siehe Seite 165) und alternativ **$d_{\max} = 250$ km**

zugelassen.

Tabelle 12 (Seite 209) zeigt für die entsprechenden Klassen der zugelassenen Depotentfernung die Anzahl der Datensätze, für die unter der Prämisse von maximal einem zugelassenen Wechsel eine Route im Netzwerk gefunden wird.

Tabelle 12: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad je Depotentfernungsklasse

Maximale Depotentfernung $d_{\max}$	Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad
500 km	1 329 320
580 km	1 489 702
250 km	1 213 858
290 km	1 402 414

Quelle: Eigene Darstellung

Naturgemäß können unter den günstigsten Bedingungen ($d_{\max} = 580$ km, ohne weitere Einschränkungen) die meisten Sendungen geroutet werden. Der Unterschied des Begegnungsverkehrsszenarios mit 580 km maximal zugelassener Depotentfernung zum Depotverkehrsszenario mit 290 km maximal zugelassener Depotentfernung und einem zugelassenen Wechsel besteht darin, dass offensichtlich nicht alle Depotverbindungen, die zwar der 580 km – Restriktion (Aus- zu Eingangsdepot) genügen, auch über ein für den Depotverkehr notwendigerweise erreichbares Wechseldepot mit wiederum maximal 290 km Entfernung zum Aus- und auch zum Eingangsdepot verfügen.

Abbildung 46 und Abbildung 47 (Seite 210) zeigen die jeweiligen Graphen der Netzwerkverbindungen und Netzwerkbeziehungen in den entsprechend zugelassenen Depotentfernungsklassen. Dabei werden einerseits die tatsächlich existierenden Netzwerkpfade dargestellt, also alle benachbarten Depots, die innerhalb der Entfernungsklasse zu erreichen sind (Verbindungen). Zudem werden im Vergleich dazu die möglichen Depotbeziehungen dargestellt, die unter den gegebenen Restriktionen eine „Beziehung“ als Aus- und Eingangsdepot einer Sendung eingehen können. Betrachtet man erläuternd dazu eine Sendung, die im Depotverkehrsverfahren vom Ausgangsdepot A über ein Wechseldepot W zu einem Eingangsdepot E transportiert wird, so wird im Graphen der möglichen Verbindungen ein „Pfad“ von A nach W und von W nach E visualisiert, wenn die Entfernungen zwischen A und W sowie W und E den jeweiligen Parametern entsprechen.

In der zweiten Darstellung erfolgt die Verbindung vom Ausgangsdepot A und dem Eingangsdepot E, da diese im Rahmen des zuvor genannten Verfahrens und unter Erfüllung der notwendigen Bedingungen als Aus- und Eingangsdepot in „Beziehung“ stehen. Die jeweiligen Graphen werden stellvertretend für alle untersuchten Szenarien und zugelassenen Depotentfernungen für den Depotverkehr mit $d_{\max} = 250$ km und mit $d_{\max} = 290$ km dargestellt.

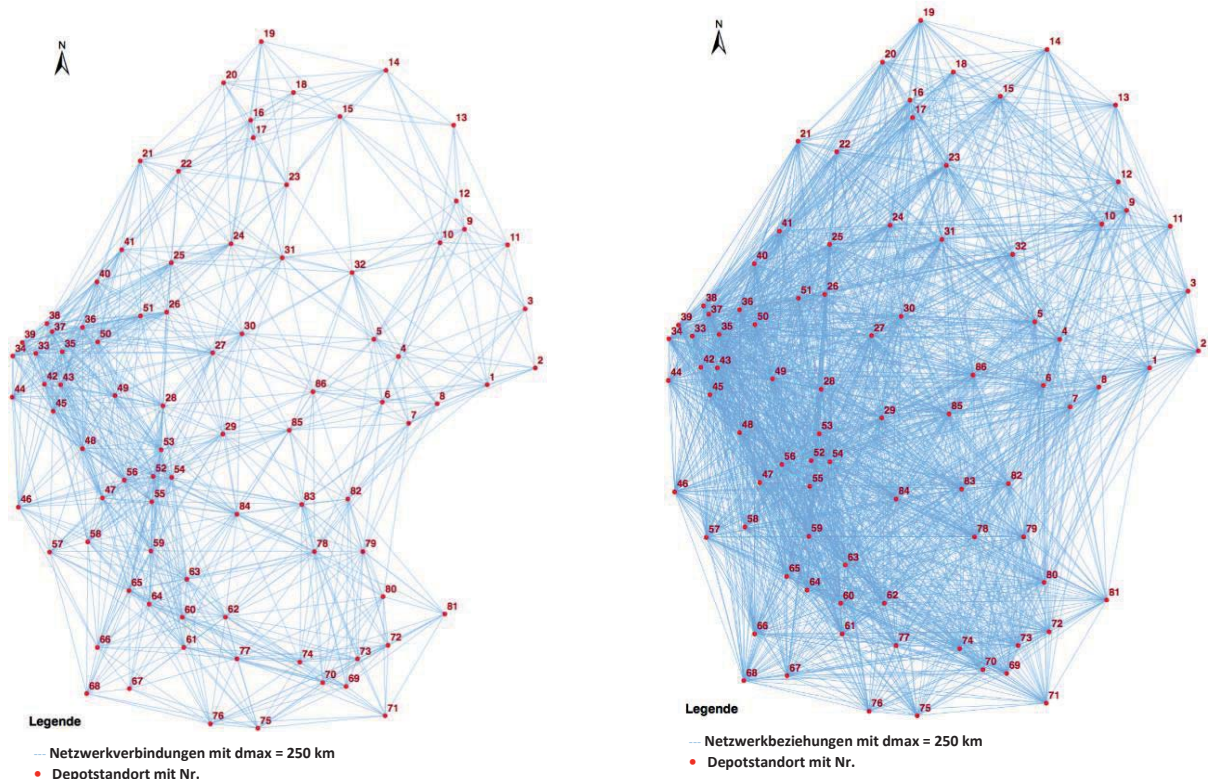


Abbildung 46: Graphen der Netzwerkverbindung (links) und Netzwerkbeziehungen (rechts) im Depotverkehr mit $d_{\max} = 250$ km

Quelle: Eigene Darstellung

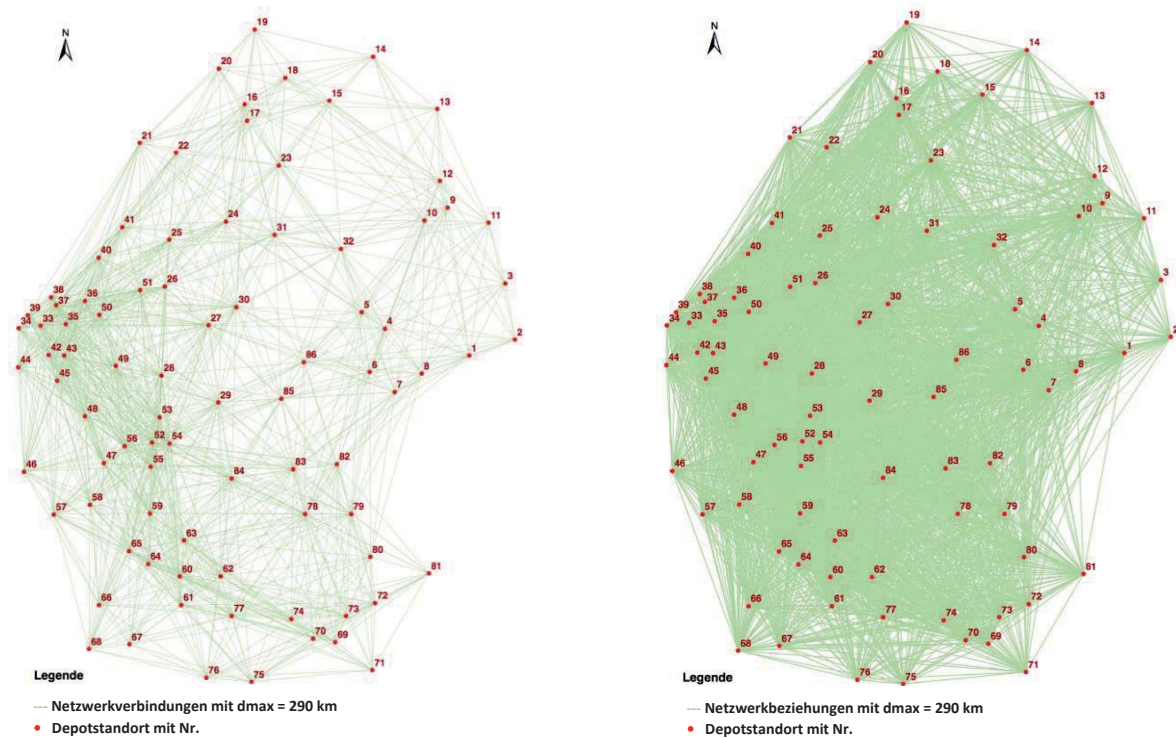


Abbildung 47: Graphen der Netzwerkverbindung (links) und Netzwerkbeziehungen (rechts) im Depotverkehr mit $d_{\max} = 290$ km

Quelle: Eigene Darstellung

Somit können im Depotverkehr mit maximal zugelassenem Depotabstand von 250 km mit insgesamt 918 Verbindungen der Depots 2 289 Beziehungen hergestellt werden. Bei einem maximal zugelassenen Depotabstand von 290 km stellen 1 170 Verbindungen insgesamt 2 727 Beziehungen her.

Im depotungebundenen Begegnungsverkehrsszenario ist eine Differenzierung zwischen Verbindungen und Beziehungen nicht gegeben. Hier werden insgesamt 2 551 ($d_{\max} = 500$ km) und 2 983 ($d_{\max} = 580$ km) Beziehungen im Netzwerk hergestellt. Geht man von 3 655 ungerichteten Depotverbindungen aus, die zwischen den 86 vorhandenen Depots ohne Distanzeinschränkungen möglich sind, so sind aufgrund der günstigen räumlichen Verteilung der Depots in den einzelnen Szenarien 63 % - 82 % der möglichen Relationen bedienbar.

- Erzeugt die im Netzwerk ermittelte Route im Vergleich zum Direktverkehr einen den Vorgaben entsprechend hinnehmbaren Umweg?

Bedingt durch den im Netzwerk gebrochenen Verkehr ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, im Vergleich zum Direktverkehr längere Transportdistanzen zu generieren. Um letztendlich nur solche Sendungen als „netzwerkrelevant“ zu identifizieren, die den vermeintlichen ökonomischen Vorteil des Produktionsverfahrens nicht von vornherein durch immense Umwegaufwendungen neutralisieren oder gar umkehren, ist der zugelassene Umweg im Netzwerk durch den Parameter $u_{\max}$ restriktiert.

Im vorliegenden Untersuchungsfall gilt $u_{\max} = 80$ km¹³⁵.

Tabelle 13 (Seite 212) zeigt zunächst die Anzahl der in den jeweiligen Verkehrsverfahren und den dazugehörigen Entfernungsklassen als „netzwerkrelevant“ identifizierten Sendungen.

¹³⁵ Der maximal zugelassene Umweg von 80 km wurde in verschiedenen Arbeitskreisen des später noch ausführlich vorgestellten Forschungsprojektes „iLAN-Intelligentes Ladungsnetzwerk“ mit den dort eingebundenen Projektpartnern festgelegt und für die vorliegende Untersuchung übernommen.

Tabelle 13: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und eingehaltenem Maximalumweg

Verkehrsverfahren mit d_{max}	Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und u_{max}
Begegnungsverkehr ohne Depotzwang 500 km	970 818
Begegnungsverkehr ohne Depotzwang 580 km	1 088 898
Depotverkehr 250 km	868 069
Depotverkehr 290 km	1 008 990

Quelle: Eigene Darstellung

Die Auswertung zeigt, dass nur ca. 73 % der Sendungen mit Netzwerkpfad im Begegnungsverkehrsszenario und nur ca. 72 % der Sendungen mit Netzwerkpfad im Depotverkehrsszenario den Anforderungen der Umwegaufwendungen genügen. Um bereits an dieser Stelle die entstehenden Umwege etwas genauer zu hinterfragen, zeigt Abbildung 48 eingangs noch einmal die Verteilungsfunktion der Direktentfernungen des untersuchungsrelevanten Datensatzes. Dabei wird deutlich, dass der Gesamtdatensatz im Hinblick auf die tatsächlichen Direktentfernungen nicht von Kurzstreckenverkehren dominiert wird, die zunächst im Verdacht stehen, besonders hohe Umwegaufwendungen im Netzwerk zu generieren. Weniger als 20 % des Gesamtdatensatzes besitzen eine Direktentfernung von weniger als 200 km, mehr als 50 % des Gesamtdatensatzes wiederum von mehr als 350 km.

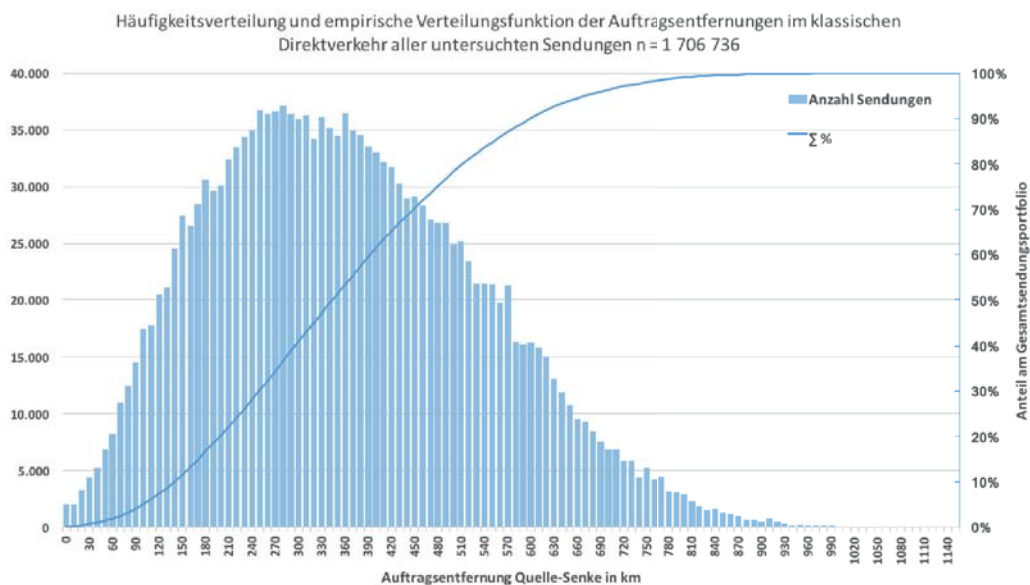


Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Auftragsentfernungen

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 49 stellt nun die Häufigkeitsverteilung der erzeugten Umwege im jeweiligen Verkehrsverfahren exemplarisch in der jeweils höheren Depotentfernungsklasse dar. Deutlich erkennbar ist dabei, dass der überwiegende Anteil der erzeugten Umwege in beiden Szenarien weniger als 40 km (53 % des Gesamtdatensatzes) umfasst. Betrachtet man dabei nur die Menge an Sendungen mit weniger als 80 km Umweg, so ist zu konstatieren, dass 72 % der „netzwerkrelevanten“ Sendungen im Depotverkehr und 74 % dieser Sendungsmenge im Begegnungsverkehr weniger als 40 km Umweg verursachen und somit eine hoffnungsvolle Grundlage für die noch folgende ökonomische Betrachtung liefern.

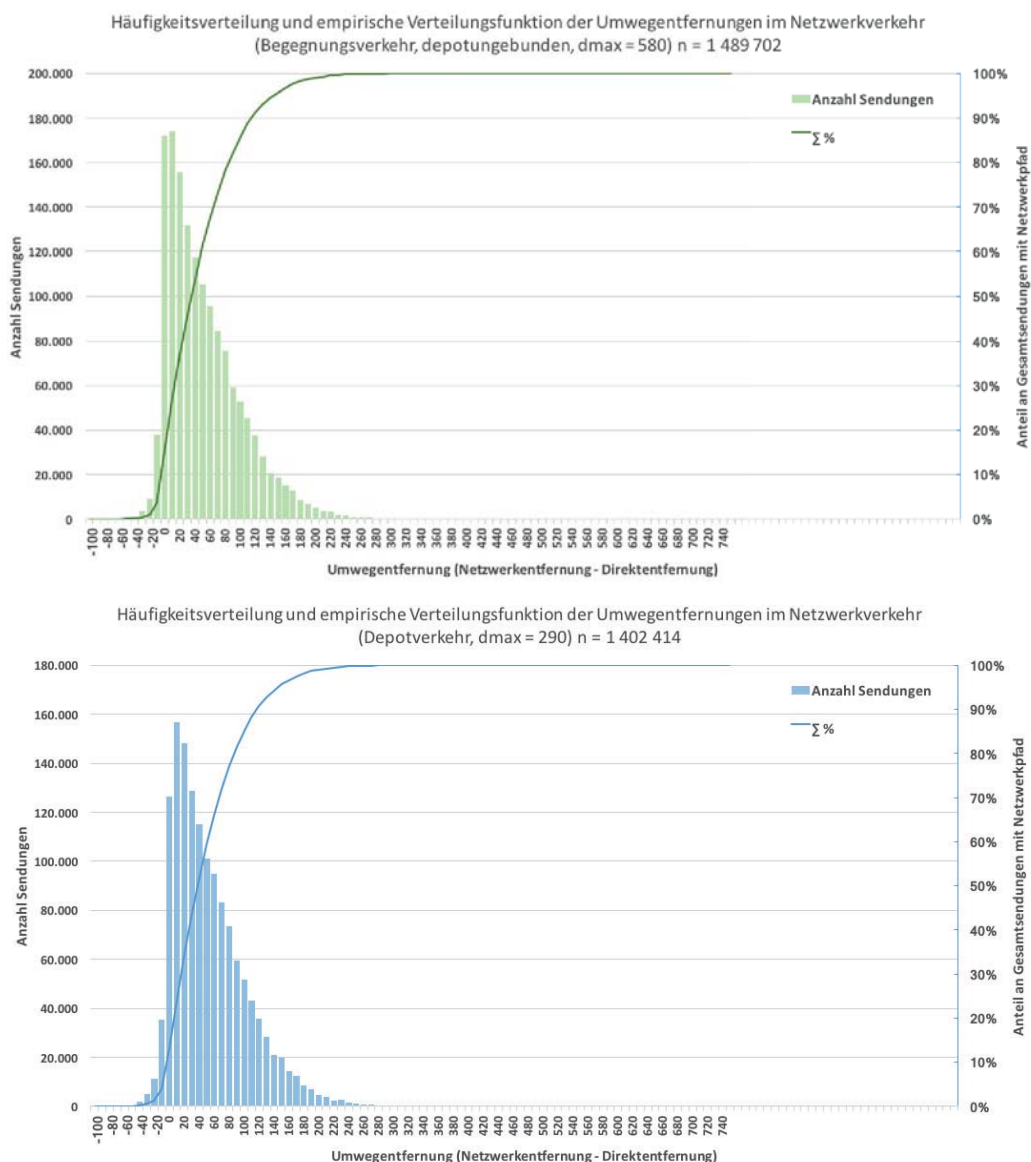


Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Umwegentfernungen im Begegnungsverkehrsszenario (oben) und im Depotverkehrsszenario (unten)

Quelle: Eigene Darstellung

Abschließend soll noch einmal anhand der in Abbildung 50 dargestellten Heatmap nach einem möglichen Zusammenhang der Direktentfernung einer Sendung und dem im Untersuchungsnetzwerk erzeugten Umweg gesucht werden.

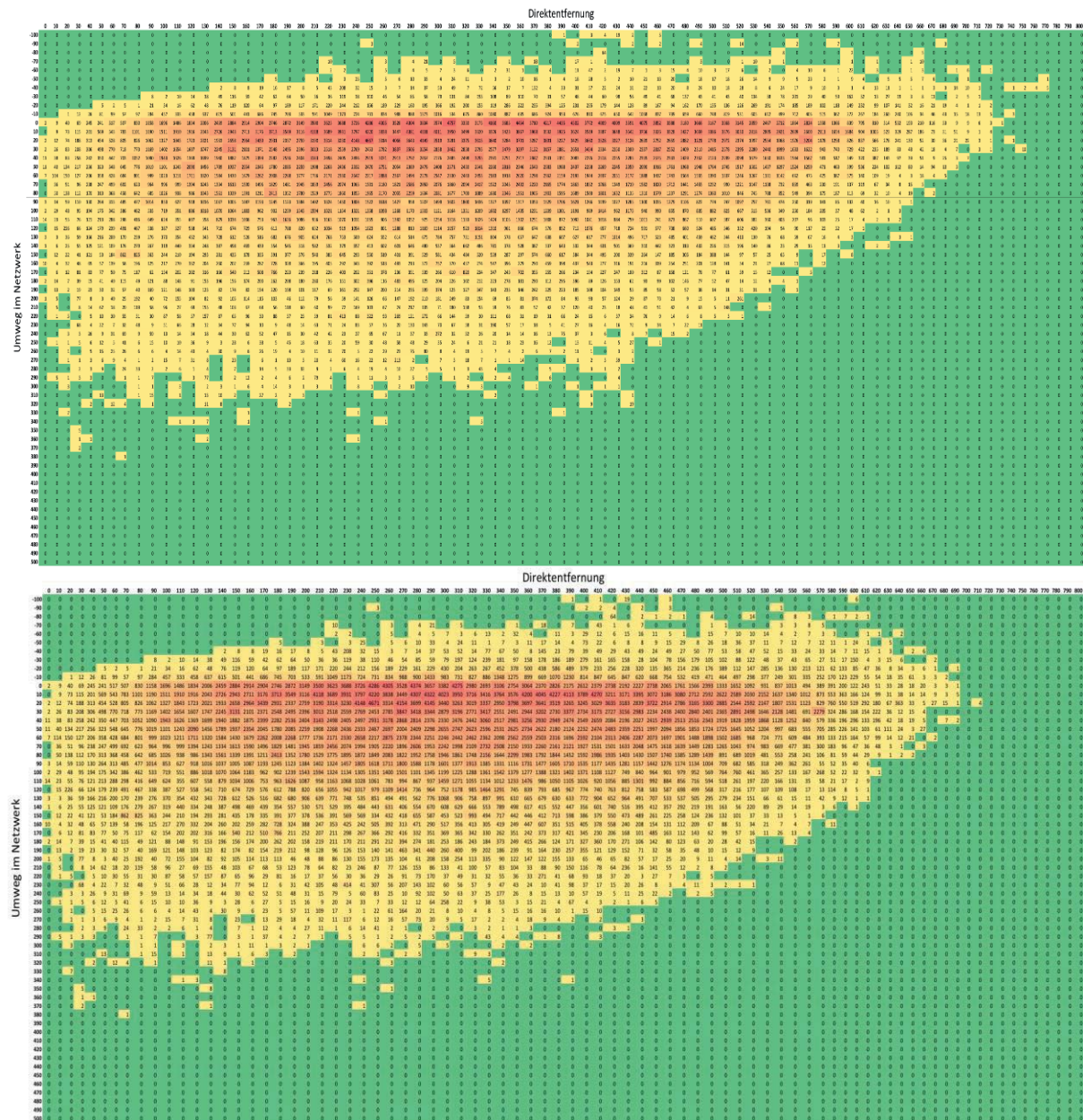


Abbildung 50: Heatmap Umweg im Netzwerk/Direktentfernung für den Begegnungsverkehr mit $d_{max} = 580$ (oben) und für den Depotverkehr mit $d_{max} = 290$ km (unten)

Quelle: Eigene Darstellung

Ohne abgesicherte statistische Verfahren zu bemühen, ist augenscheinlich anhand der jeweiligen Heatmap kein konkreter Zusammenhang einer bestimmten

Direktentfernung und einer Umwegentfernung erkennbar. Die bereits erläuterten Häufungen der Umwegentfernungen verteilen sich wiederum recht gleichmäßig auf die jeweiligen Direktentfernungsklassen.

Die Prüfung der Datensätze auf eine mögliche Netzwerkrelevanz (unabhängige Restriktionen) ist somit abgeschlossen. Ausgehend von der als untersuchungsrelevant identifizierten Gesamtsendungsmenge zeigt Tabelle 14 noch einmal die Ergebnisse der Teiluntersuchung im Überblick.

Tabelle 14: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkrelevanz“

Verkehrsvorhaben mit $d_{\max}$	Sendungen mit ungleichem Aus- und Eingangsdepot	Sendungen mit Netzwerkpfad bei maximal einem zugelassenen Wechsel	Sendungen mit Netzwerkpfad und Einhaltung $u_{\max} = 80$ km (netzwerkrelevante Sendungen)
Begegnungsverkehr 500 km	1 689 555	1 329 320	970 818
Begegnungsverkehr 580 km	1 689 555	1 489 702	1 088 898
Depotverkehr 250 km	1 689 555	1 213 858	868 069
Depotverkehr 290 km	1 689 555	1 402 414	1 008 990

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 51 (Seite 216) und Abbildung 52 (Seite 217) visualisieren die richtungsbezogenen Ströme der als netzwerkrelevant identifizierten Sendungen im Begegnungsverkehrsszenario mit $d_{\max} = 580$ km und im Depotverkehrsszenario mit $d_{\max} = 290$ km.

Dabei werden jeweils die 50 bzw. 100 am stärksten frequentierten Depotbeziehungen als gerichtete Graphen innerhalb der Netzwerkkonfiguration dargestellt.

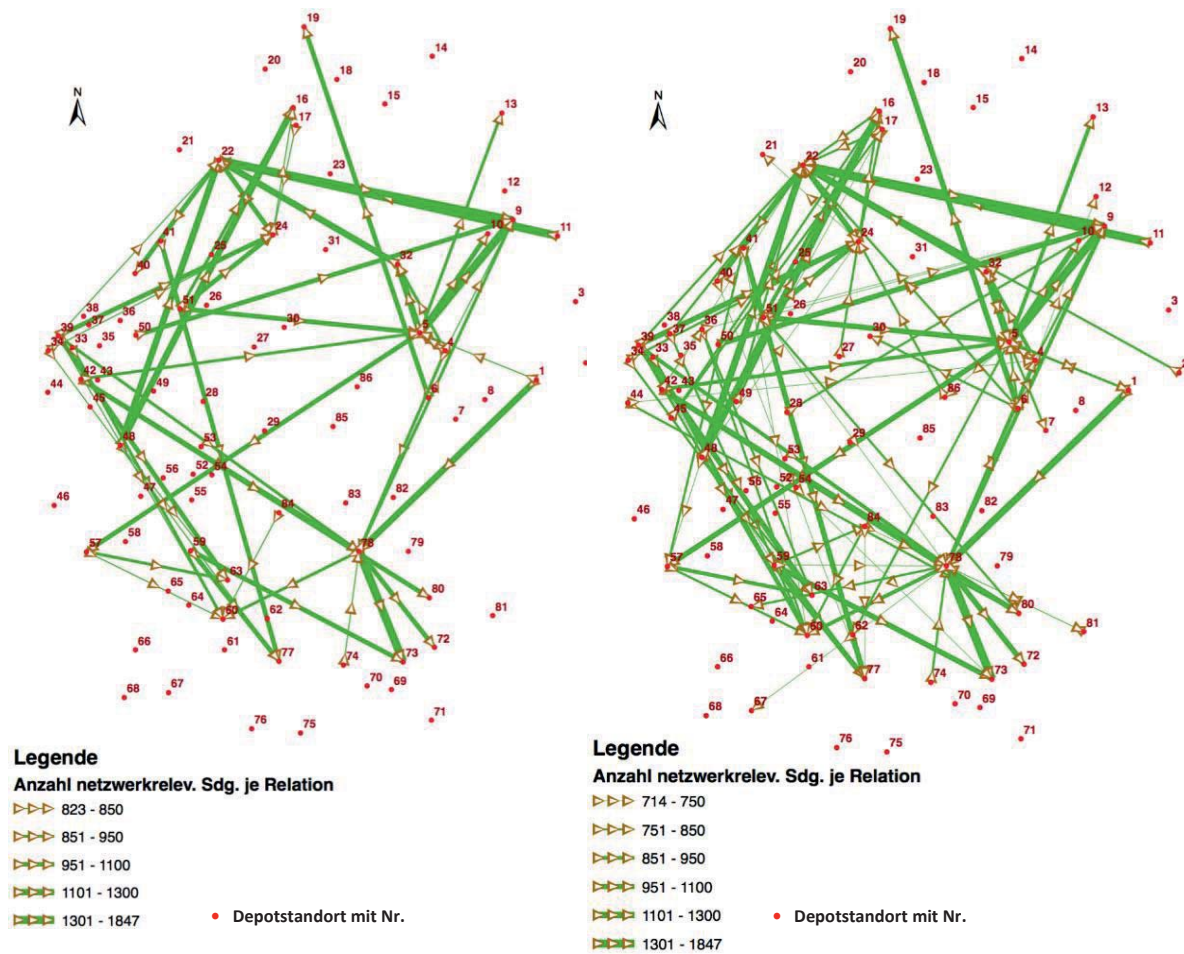


Abbildung 51: Ströme netzwerkrelevanter Sendungen im Begegnungsverkehr, $d_{max} = 580$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 1\,088\,898$

Quelle: Eigene Darstellung

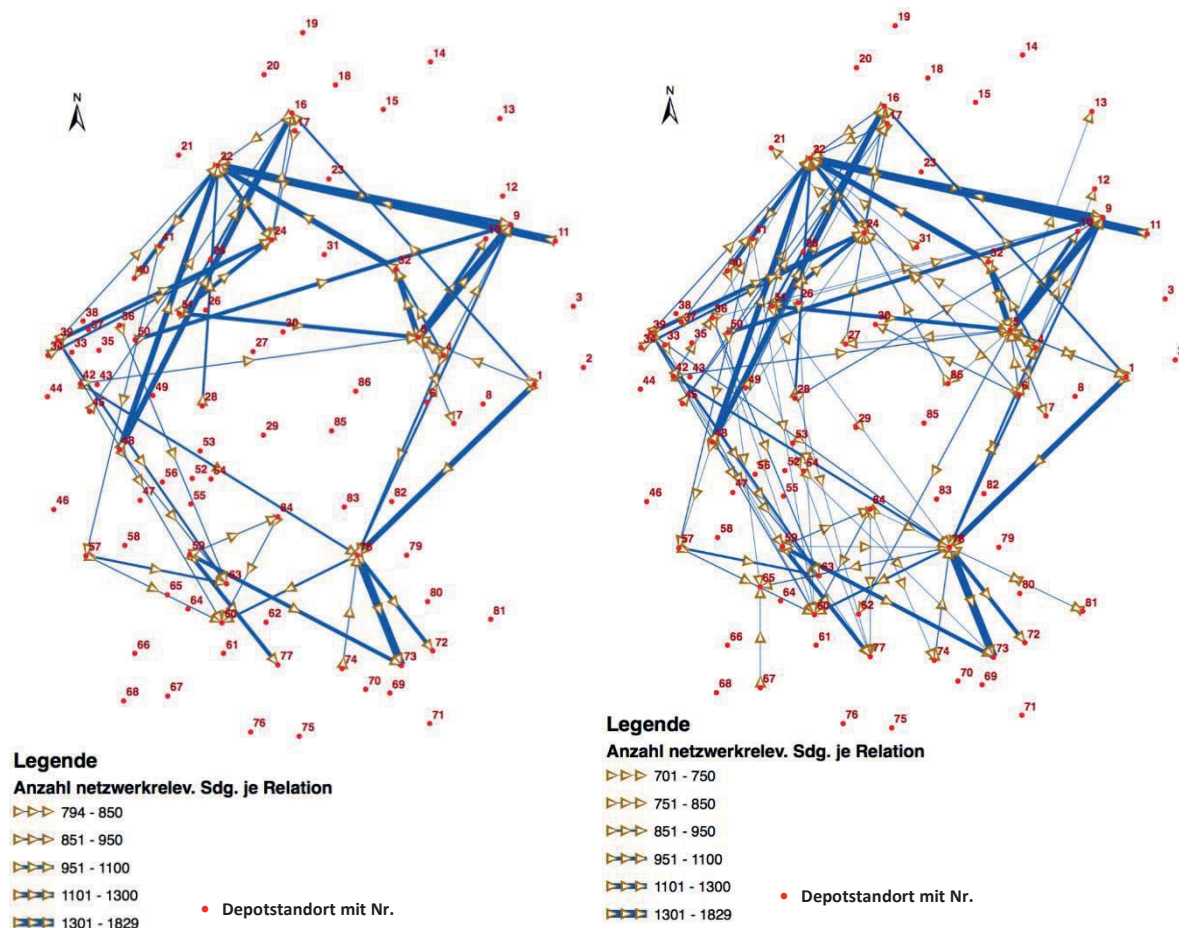


Abbildung 52: Ströme netzwerkrelevanter Sendungen Depotverkehr, $d_{max} = 290$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 1\,008\,990$

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.3.3. Prüfung der Datensätze auf Netzwerkfähigkeit

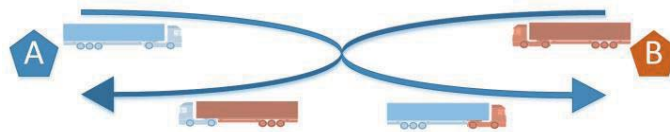
Entsprechend dem Fortgang des operativen Planungsprozesses (siehe Abschnitt 4.4.) werden die zuvor als „netzwerkrelevant“ identifizierten Sendungen nun der Prüfung auf „Netzwerkfähigkeit“ unterzogen, wobei hierbei die jeweiligen Sendungscharakteristika nicht mehr losgelöst voneinander betrachtet werden, sondern im Sinne des „Matchings“, also der Identifikation von Sendungspaaren, die wiederum im angestrebten Produktionsverfahren abgebildet werden können, in Beziehung zu bringen sind (abhängige Restriktionen). Dazu werden alle netzwerkrelevanten Sendungen zu Hauptlaufverkehren zwischen den jeweiligen Aus- und Eingangsdepots verdichtet und diese mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Verfahren auf Netzwerkfähigkeit geprüft.

Folgend werden zunächst noch einmal die Prüfszenarien unter Bezug der bereits diskutierten Matchingvarianten (vgl. Abbildung 34, Seite 173) kurz erläutert.

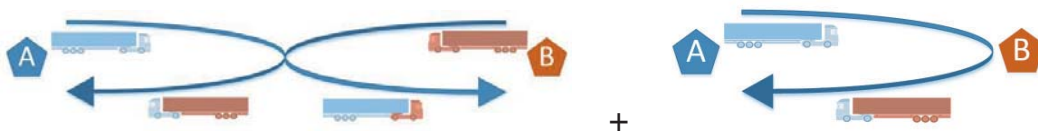
MB01:

Begegnungsverkehr, Identifikation direkt paariger Sendungen zwischen zwei Depots (A→B und B→A), Einheitentausch depotungebunden

- a) Klassischer Begegnungsverkehr mit zwei Fahrzeugen (Mindestabstand beider Depots $> \frac{1}{2} d_{\max \text{Begegnung}}$)



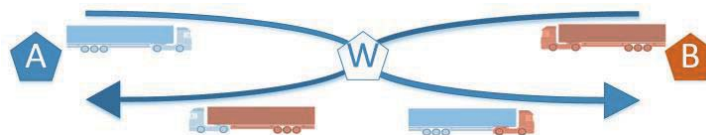
- b) Zusätzliche Berücksichtigung direkt paariger Sendungen (A→B und B→A) mit geringerem Depotabstand als $\frac{1}{2} d_{\max}$ (abbildbar im sog. „einfachen Depotverkehr“)



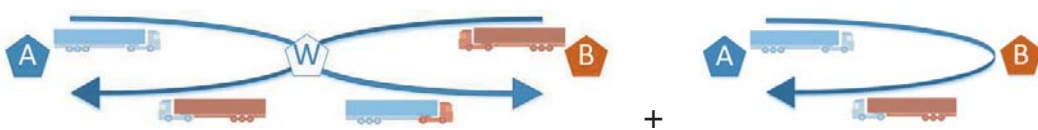
MB02:

Begegnungsverkehr, Identifikation direkt paariger Sendungen zwischen zwei Depots (A→B und B→A), Einheitentausch nur an einem Wechseldepot erlaubt

- a) Klassischer Begegnungsverkehr mit zwei Fahrzeugen



- b) Zusätzliche Berücksichtigung direkt paariger Sendungen (A→B und B→A) mit geringerem Depotabstand als $\frac{1}{2} d_{\max \text{Begegnung}}$ (abbildbar im sog. „einfachen Depotverkehr“)

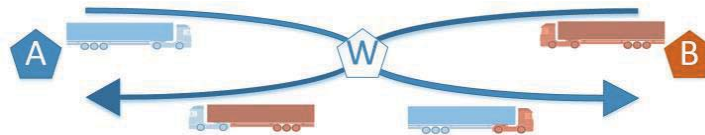


MD01:

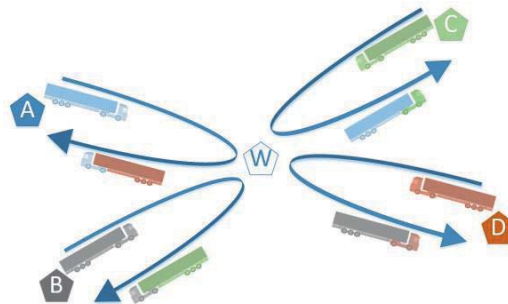
Depotverkehr, Identifikation direkt paariger Sendungen zwischen zwei Depots ($A \rightarrow B$ und $B \rightarrow A$) und anschließender Überhangverknüpfung

a) Anschließende Überhangverknüpfung nur zwischen gleichzeitig startenden Transporten

1. Matching:

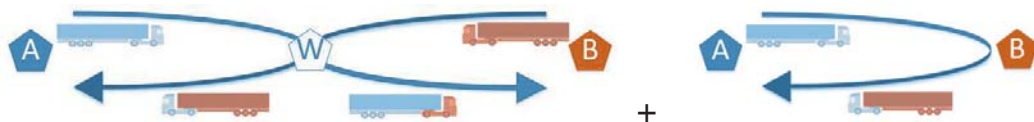


2. Matching:

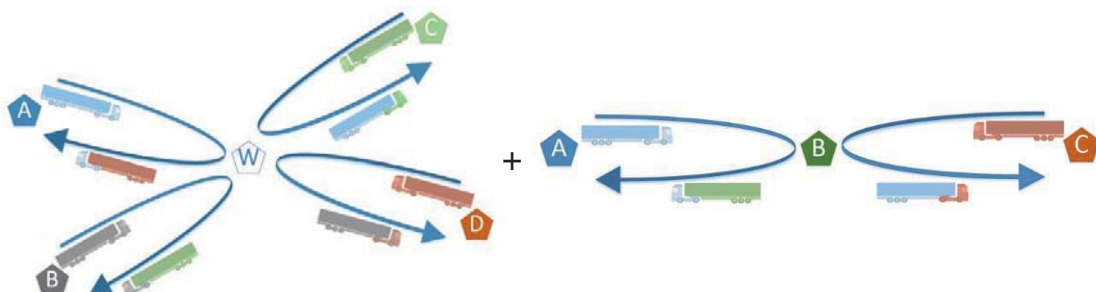


b) Anschließende Überhangverknüpfung zwischen gleichzeitig startenden Transporten und Verkettung möglicher zeitlich aufeinanderfolgender Transporte („Rückladung“)

1. Matching:



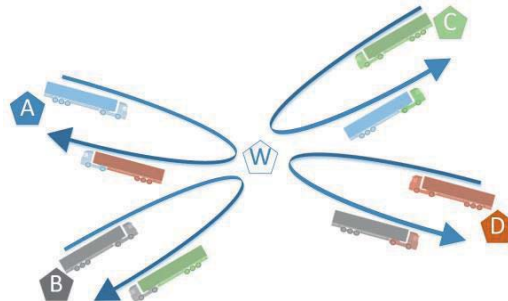
2. Matching:



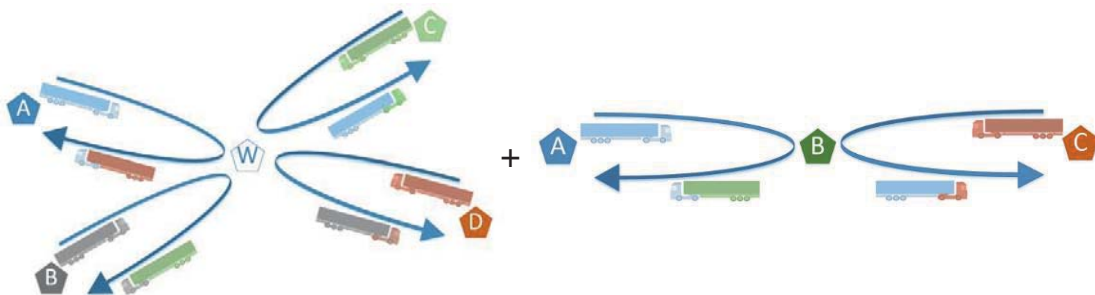
MD02:

Depotverkehr, ALLE Sendungen stehen für eine anteilige Verknüpfung zur Verfügung

- a) Verknüpfung nur zwischen gleichzeitig startenden Transporten



- b) Verknüpfung zwischen gleichzeitig startenden Transporten und Verketzung möglicher zeitlich aufeinanderfolgender Transporte („Rückladung“)



Insgesamt kann somit in 16 Prüfszenarien unterschiedlicher Verfahrensweisen und Entfernungsklassen die Netzwerkfähigkeit der Gesamtmenge der netzwerkrelevanten Sendungen überprüft werden. Ausdrücklich muss an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben werden, dass die technische Umsetzung, also die programmiertechnische Entwicklung der Matchingalgorithmen nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist. Vielmehr bedient sich der Autor an dieser Stelle der Forschungsarbeit von Dipl.-Math. Bernd Nieberding, der die entsprechenden Auswertungsverfahren und Algorithmen im Rahmen der gemeinsamen Projektarbeit im noch umfassend vorzustellenden Forschungsprojekt „iLAN“ umsetzte. Für eingehende Informationen zur Entwicklung der Matching-Algorithmen mit Hilfe der Graphentheorie vgl. Apfelstädt et al. (2016). Tabelle 15 (Seite 221) zeigt die Ergebnisse der Analyse, subsummiert für den gesamten Untersuchungszeitraum, jeweils für alle zuvor erläuterten Prüfszenarien. Dabei werden sowohl die Anzahl der netzwerkrelevanten als auch die Anzahl der netzwerkfähigen Sendungen gezeigt und abschließend der Anteil

netzwerkfähiger Sendungen an der Gesamtheit der netzwerkrelevanten Sendungen dargestellt.

Tabelle 15: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkfähigkeit“

Matchingverfahren, $d_{\max}$, $u_{\max}$ (in km)	Netzwerkrelevante Sendungen	Netzwerkfähige Sendungen (Matchings)	Anteil Matchings an relevanten Sdg.
MB01a, 500, 80	970 818	203 760	20,99 %
MB01a, 580, 80	1 088 898	198 616	18,24 %
MB01b, 500, 80	970 818	370 330	38,15 %
MB01b, 580, 80	1 088 898	405 254	37,22 %
MB02a, 250, 80	868 069	167 634	19,31 %
MB02a, 290, 80	1 008 990	175 286	17,37 %
MB02b, 250, 80	868 069	334 204	38,50 %
MB02b, 290, 80	1 008 990	381 924	37,85 %
MD01a, 250, 80	868 069	180 884	20,84 %
MD01a, 290, 80	1 008 990	192 767	19,10 %
MD01b, 250, 80	868 069	391 197	45,07 %
MD01b, 290, 80	1 008 990	444 168	44,02 %
MD02a, 250, 80	868 069	188 163	21,68 %
MD02a, 290, 80	1 008 990	200 304	19,85 %
MD02b, 250, 80	868 069	406 230	46,80 %
MD02b, 290, 80	1 008 990	462 100	45,80 %

Quelle: Eigene Darstellung

Ein erster, rein quantitativer Vergleich macht deutlich, dass mit Hilfe des klassischen Begegnungsverkehrs unter der Maßgabe der „direkten Paarigkeit“ von Sendungen zwischen Aus- und Eingangsdepots (MB01a) in beiden Entfernungsklassen eine vergleichsweise niedrige Anzahl an Matchings identifiziert werden kann. Diese verschlechtert sich zudem, wenn als zusätzliche Restriktion die Notwendigkeit eines erreichbaren Wechseldepots (der Einheitentausch ist nur an einem Depot, nicht auf freier Strecke zugelassen) hinzugefügt wird (MB02a). Ca. 20 % der verfügbaren Sendungsmenge kann in diesen Szenarien in die entsprechend beschriebene Produktionsform überführt werden. Dem Begegnungsverkehrsszenario kann erst mit Hilfe der Zulassung von eigentlich in der Praxis nicht begegnungsrelevanten Transporten, im Abschnitt 4.3.3.3. als „einfache Depotverkehre“ bezeichnet, zu besseren Matchingergebnissen verholfen werden. Der Einbezug von zwar „direkt paarigen“ Sendungen zwischen Depots, die aufgrund ihrer räumlichen Distanz zueinander keinen Begegnungsverkehr notwendig machen, sondern von einem Fahrzeug im Rundlauf erledigt werden können, stellt aufgrund mangelnder Praxisrelevanz nur ein Testszenario dar, um die Ergebnisse der entwickelten Depotverkehrsszenarien besser einordnen zu können. Immerhin werden unter Einbezug

ALLER direkt paarigen Sendungen Matchingquoten von ca. 37 % - 38 % in beiden Entfernungsklassen erreicht.

In den folgenden Szenarien wird nun die Bedingung der „direkten Paarigkeit“ aufgelöst und die eingangs vorgestellte Idee der zusätzlichen sog. Überhangverknüpfung eingeführt und umgesetzt. Dabei wird noch einmal dahingehend differenziert, ob die zusätzlichen individuell miteinander verknüpften Sendungen gleichzeitig starten können oder aber einzelne Sendungen als Rückladung für bereits „gestartete“ Transporte anteilig bereits verknüpfter Sendungen verfügbar sind. Ferner wird innerhalb der Prüfszenarien des Depotverkehrs unterschieden, ob alle direkt paarigen Sendungen zuerst verknüpft werden und erst im Anschluss an diesen Schritt der Überhang behandelt wird oder ob grundsätzlich alle Sendungen anteilig der Methodik der Überhangverknüpfung zur Verfügung stehen.

Die Untersuchung hat gezeigt, nutzt man alle Möglichkeiten der Überhangverknüpfung sinnvoll aus, so sind entsprechend mehr Sendungen in die beschriebenen Systeme zu überführen, als dies im heute praktizierten „klassischen Begegnungsverkehr“ der Fall ist. Betrachtet man die Szenarien MD01b und MD02b, so sind unter Nutzung der anteilig verknüpften Überhangsendungen, die ebenfalls als Rückladung verkettet werden können, **44 % - 47 %** des netzwerkrelevanten Datensatzes derart miteinander zu verknüpfen, sodass für deren Transport der im Rahmen der Arbeit insgesamt untersuchte, sequentielle Fahrerwechsel in unternehmensübergreifenden Transportnetzwerken zur uneingeschränkten Anwendung kommen kann.

Der Forschungshypothese folgend konnte weiterhin nachgewiesen und erstmals quantifiziert werden, dass innerhalb der Depotverkehrsverfahren und unter Anwendung der Idee der Überhangverknüpfung, im Vergleich zu den heute bereits zum Teil auch unternehmensübergreifend praktizierten Begegnungsverkehren, die in der Regel ein direkt paariges Sendungsaufkommen bedingen, die im Gesamtdatensatz beinhaltete Anzahl netzwerkfähiger Sendungen **mehr als verdoppelt** werden konnte.

Bezeichnet man die Prüfszenarien MB01a (Begegnungsverkehr, direkt paarig, Einheitentausch depotungebunden) in beiden Entfernungsklassen als Referenz der heutigen Umsetzung in der Praxis und legt als Maßstab einer möglichen

Durchdringung die Ergebnisse der Prüfszenarien MD01b an¹³⁶, so ist zu konstatieren, dass innerhalb des Gesamtdatensatzes unter Verwendung der konzipierten Netzwerkkonfiguration folgende, in Abbildung 53 dargestellte Ergebnisverbesserung durch die Implementierung des Ansatzes der Depotverkehre und der entsprechenden Auflösung notwendiger Paarigkeiten konkreter Sendungen erreicht wird.

Verfahren	d_{max}	u_{max}	Matchings
Begegnungsverkehr MB01a (MB01b)	500 km	80 km	203 760 (370 330)
	580 km	80 km	198 616 (405 254)
			
Depotverkehr MD01b	250 km	80 km	391 197
	290 km	80 km	444 168

Abbildung 53: Vergleich relevanter Ergebnisse

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 54 und Abbildung 55 (Seite 224) zeigen in den jeweiligen Entfernungsklassen die Hauptdepotbeziehungen für die in den Prüfszenarien MB01a und MD01b ermittelte Anzahl an Sendungen, die miteinander verknüpft werden konnten.

¹³⁶ Dabei wird einerseits davon ausgegangen, dass die Prüfszenarien MD01a und auch MD02a lediglich als theoretische „Zwischenlösungen“ gelten, da in diesen Szenarien die Funktion, einzelne Sendungsabschnitte oder ganze Sendungen als „Rückladung“ am Depot zu nutzen, trotz Praxisrelevanz nicht vorgesehen ist. Wie innerhalb der Beschreibung der Varianten einer möglichen Überhangverknüpfung dargestellt, werden bei MD01a und MD02a nur Sendungen verknüpft, deren Transport zum gleichen Zeitpunkt starten kann. Somit ist das Prinzip bzw. das Potential des Depotverkehrsverfahrens jedoch nur derart eingeschränkt nutzbar, dass die erzielten Ergebnisse eher informativen Charakter besitzen. Zudem werden aus Gründen der Stabilität und der Komplexität im Planungsprozess als positive Referenz wiederum die beiden genannten Prüfszenarien verwendet, da im Vergleich zum Verbesserungspotential ein vorgeschaltetes Matching tatsächlich paariger Sendungen mit anschließender Überhangverknüpfung beherrschbarer erscheint, als die tatsächlich durchgehend anteilige Verknüpfung von Einzelabschnitten des Depotpfades jeder einzelnen Sendung.

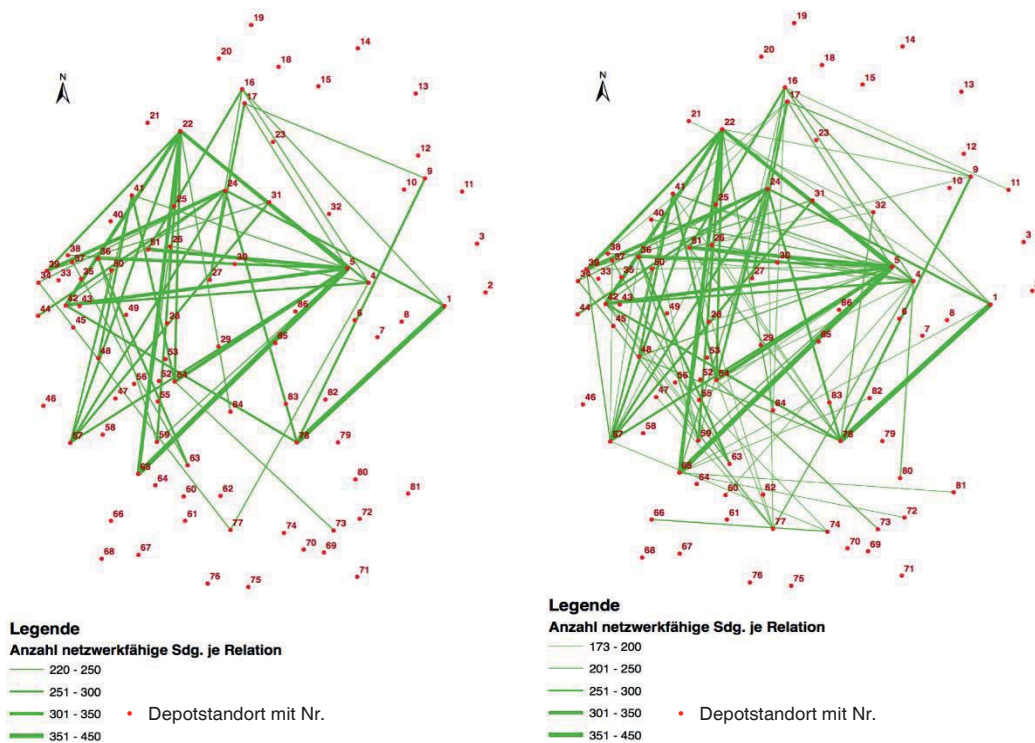


Abbildung 54: Ströme netzwerkfähiger Sendungen im Prüfszenario MB01a, $d_{max} = 580$ km, $u_{max} = 80$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 198\,616$

Quelle: Eigene Darstellung

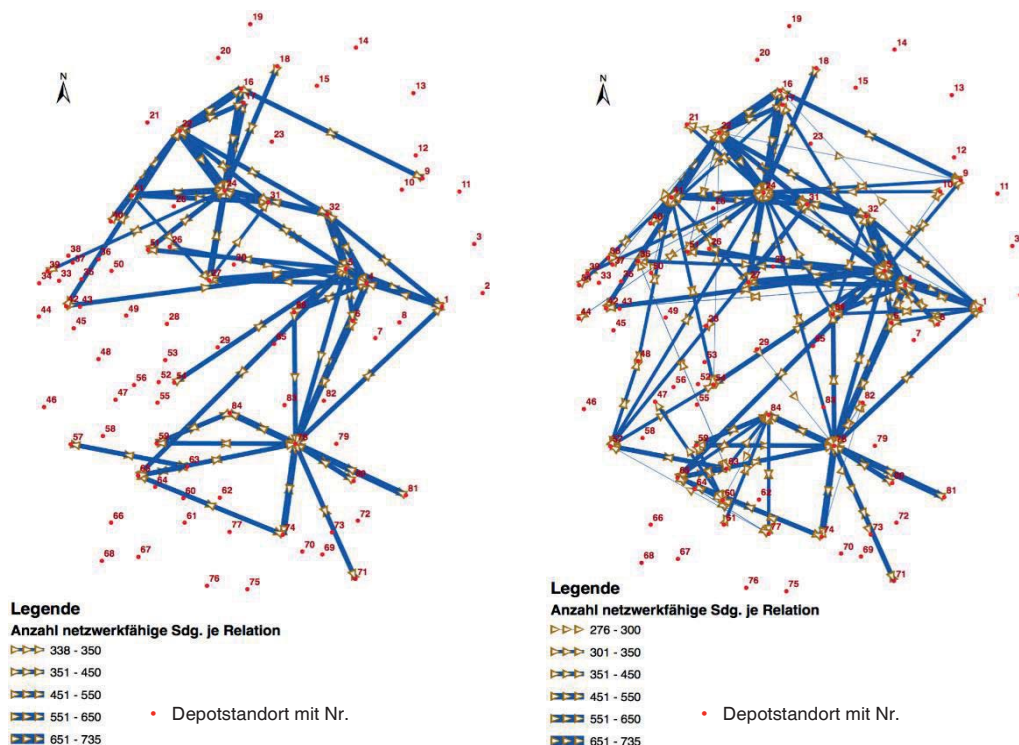


Abbildung 55: Ströme netzwerkfähiger Sendungen im Prüfszenario MD01b, $d_{max} = 290$ km, $u_{max} = 80$ km, Top 50 Depotbeziehungen (links), Top 100 Depotbeziehungen (rechts), $n = 444\,168$

Quelle: Eigene Darstellung

Auch an dieser Stelle wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit zunächst nur die Top 50 bzw. Top 100 Relationen visualisiert. In Abbildung 54 (Seite 224) werden die Matchings zwischen den Depots als ungerichtete Verbindungen dargestellt, da aufgrund der notwendigen direkten Paarigkeit in diesem Prüf-szenario die dargestellte Anzahl verknüpfter Sendungen in beiden Richtungen gleichermaßen existiert. Abbildung 55 (Seite 224) zeigt, entsprechend den dort visualisierten Ergebnissen, das Aufkommen netzwerkfähiger Sendungen je Relation in gerichteter Form.

Im Vergleich beider Darstellungen ist zunächst der deutliche quantitative Unterschied beider Ergebnisse derart erkennbar, sodass einzelne hochfrequentierte Relationen im Depotverkehrsszenario noch stärker frequentiert sind. Vergleicht man neben der absoluten Anzahl an netzwerkfähigen Sendungen auch deren räumliche Verteilung, so ist darüber hinaus festzustellen, dass auch die Anzahl der Depotbeziehungen, auf die sich die netzwerkfähigen Sendungen räumlich verteilen, profitiert. Abbildung 56 zeigt, ausgehend von 7 310 im Netzwerk insgesamt vorhandenen gerichteten Depotbeziehungen, die Anzahl der Depotbeziehungen, die mit netzwerkfähigen Sendungen in den jeweiligen Prüf-szenarien belegt sind. Zusätzlich ist noch einmal die in Abbildung 47 (Seite 210) exemplarisch dargestellte mögliche Anzahl an Depotbeziehungen in den jeweiligen Prüf-szenarien aufgeführt.

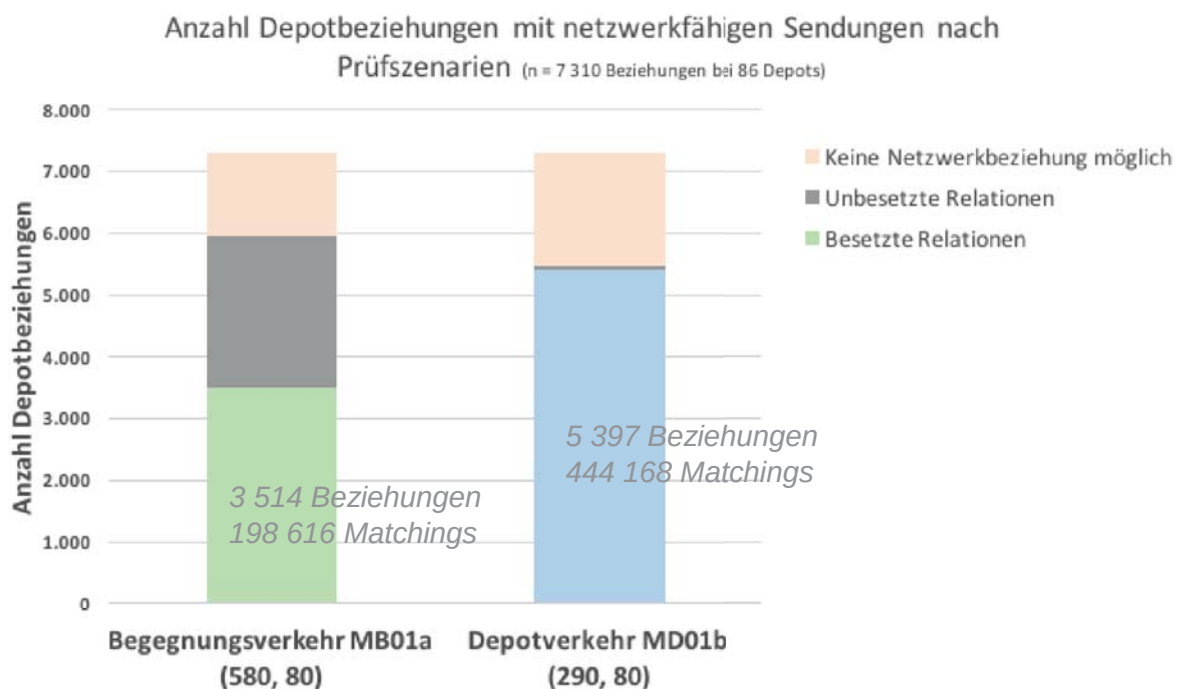


Abbildung 56: Anzahl an Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen nach Prüf-szenarien

Quelle: Eigene Darstellung

Neben der quantitativen Betrachtung in absoluter Form ist für eine spätere praxistaugliche Implementierung der Ansätze von ebenso hoher Bedeutung, welche Grundlast an netzwerkfähigen Sendungen über alle Auswertungstage hinweg zu erwarten ist. Als Grundlast wird an dieser Stelle die Anzahl an Matchings bezeichnet, die an allen Auswertungstagen wiederkehrend, im Rahmen der jeweiligen Depotbeziehungen zu erwarten sind bzw. innerhalb der vorliegenden Untersuchung in dieser Form identifiziert werden konnten. Im Hinblick auf die Volatilität der insgesamt verfügbaren Sendungsdaten an den einzelnen Auswertungstagen stellt Abbildung 57 zunächst die täglich summierte identifizierte Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen für die an dieser Stelle betrachteten Prüf-szenarien dar. Erwartungsgemäß korreliert die Anzahl der identifizierten netzwerkfähigen Sendungen je Auswertungstag dabei jeweils stark mit der Anzahl insgesamt verfügbarer Sendungen (Korrelationskoeffizient 0,9774 bei MB01a mit Gesamtanzahl Sendungen und 0,9864 bei MD01b mit Gesamtanzahl Sendungen).

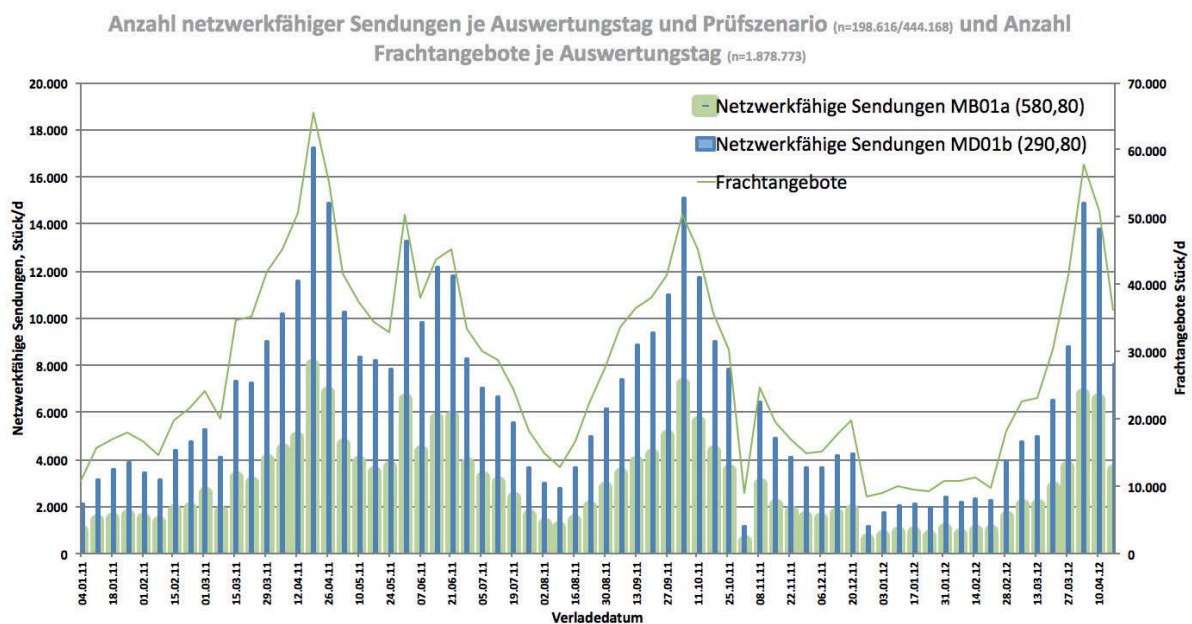


Abbildung 57: Anzahl netzwerkfähiger Sendungen je Auswertungstag und Prüf-szenario sowie Anzahl Frachtangebote je Auswertungstag

Quelle: Eigene Darstellung

Ferner wird auch hier die hohe Volatilität deutlich, die sich entsprechend auf die Anzahl netzwerkfähiger Sendungen je Tag überträgt. Mit Prüf-szenario MB01a (580, 80) liegt der Mittelwert der täglich identifizierten netzwerkfähigen Sendungen bei 2 921, die statistische Spannweite jedoch beträgt 7 500 Sendungen mit Standardabweichung von 1 878 Sendungen. Für das zweite hier betrachtete Prüf-szenario MD01b (290, 80) ergibt sich ein Mittelwert von 6 532 Sendungen

bei einer Spannweite von gar 16 067 Sendungen und einer Standardabweichung von 3 927 Sendungen.

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1. (Seite 105 ff) im Zuge der eingehenden Diskussion der „Begegnungsverkehre (cb2)“ erläutert, gilt mangels Konsolidierungsmöglichkeit eine im Zeitverlauf stabile Grundlast des Sendungsaufkommens in gleichmäßiger Form als bisher nicht erfüllte Bedingung zur erfolgreichen Implementierung des Begegnungsverkehrs in die Produktionsabläufe der frachtführenden Unternehmen. In Anbetracht der massiven Schwankungen der täglich verfügbaren netzwerkfähigen Sendungen insgesamt ist auch innerhalb der betrachteten Untersuchungsszenarien eine nur geringe, wiederkehrende Grundlast zu erwarten. Jedoch soll eine abschließende Untersuchung zeigen, ob im Rahmen der neu entwickelten Verkehrs- und Matchingverfahren das Niveau der Grundlast positiv beeinflusst wird. Auch hier liegt der Verdacht nahe, dass allein durch die Verdopplung der absoluten Anzahl an netzwerkfähigen Sendungen auch die Anzahl an wiederkehrenden Depotbeziehungen im zeitlichen Verlauf steigt. Die folgende relationsbezogene Betrachtung, differenziert nach Auswertungstagen, wird die jeweilige Grundlast identifizieren und in den einzelnen Szenarien vergleichen.

Im ersten Schritt der Untersuchung ist festzustellen, welche der 7 310 ungerichteten Depotbeziehungen zu welcher Anzahl an Auswertungstagen über netzwerkfähige Sendungen verfügen¹³⁷. Ist eine Depotbeziehung dabei an allen 68 Auswertungstagen mit mindestens einer netzwerkfähigen Sendung besetzt, so gilt diese Depotbeziehung über den gesamten Auswertungszeitraum als „stabil“ im Sinne eines regelmäßig wiederkehrend verfügbaren Aufkommens netzwerkfähiger Sendungen.

Abbildung 58 (Seite 228) zeigt die Analyseergebnisse des betrachteten Prüfszenarios MB01a (580, 80). Dabei wird deutlich, dass zunächst keine der 7 310 Relationen tatsächlich über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg stabil besetzt ist. Lediglich vier Depotbeziehungen besitzen an 63 der insgesamt 68 Auswertungstage mindestens eine netzwerkfähige Sendung. Nicht mehr als 13 % (962) aller Depotbeziehungen sind zur Hälfte der Auswertungstage

¹³⁷ Es bleibt festzuhalten, dass gemäß der zugrundeliegenden Verkehrsverfahren und implementierten Parameter im Prüfszenario MB01a für 5 966 ungerichtete Depotbeziehungen ein Netzwerkpfad existiert, im Prüfszenario MD01b für 5 454. Zur besseren Vergleichbarkeit der an dieser Stelle erzeugten Ergebnisse wird jedoch von der Grundgesamtheit aller Depotverbindungen ausgegangen.

besetzt und letztendlich bleiben knapp 52 % aller Depotbeziehung über den gesamten Auswertungszeitraum hinweg unbesetzt.

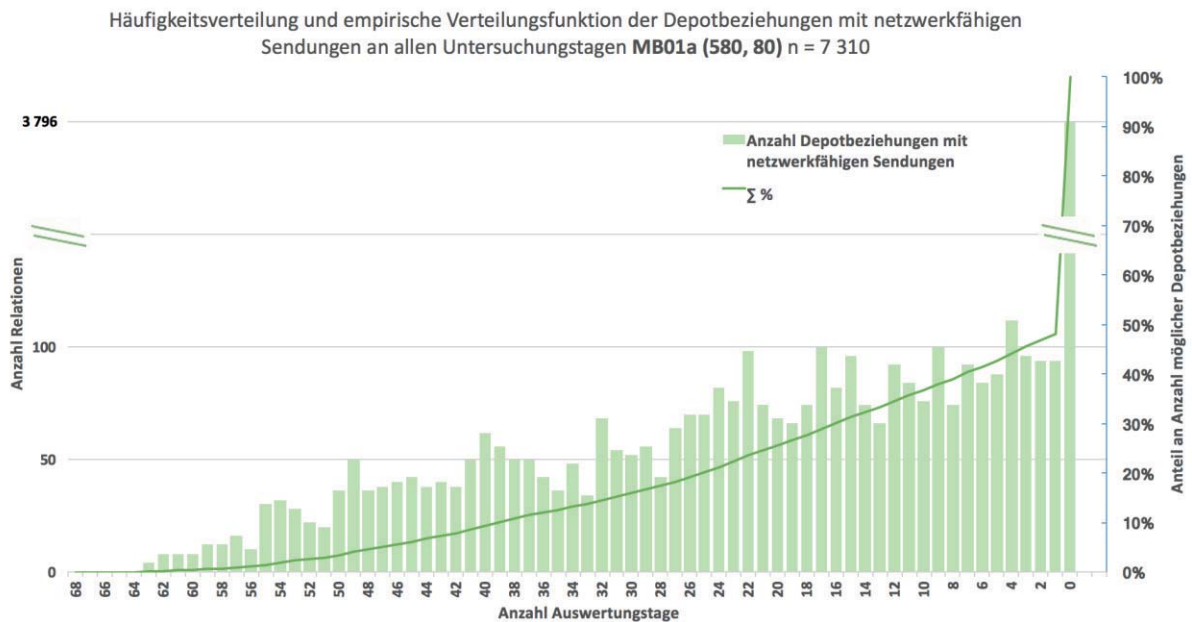


Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MB01a (580, 80)

Quelle: Eigene Darstellung

Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 59 (Seite 229) die Analyseergebnisse des betrachteten Prüfzenarios MD01b (290, 80). Die Ergebnisse liegen im direkten Vergleich auf einem höheren Niveau. Das bedeutet, wenn auch nur drei Depotbeziehungen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg mindestens eine netzwerkfähige Sendung besitzen, so sind in diesem Szenario knapp 30 % (2 154) aller Depotbeziehungen an 34 Auswertungstagen, also der Hälfte des Untersuchungszeitraumes, entsprechend besetzt.

Mit 1 913, während der Gesamtauswertung gänzlich unbesetzten Relationen, liegt die Quote dessen mit 26,2 % zudem um die Hälfte niedriger, als im zuvor betrachteten Szenario.

5.1. Theoretisch funktionale Potentialanalyse

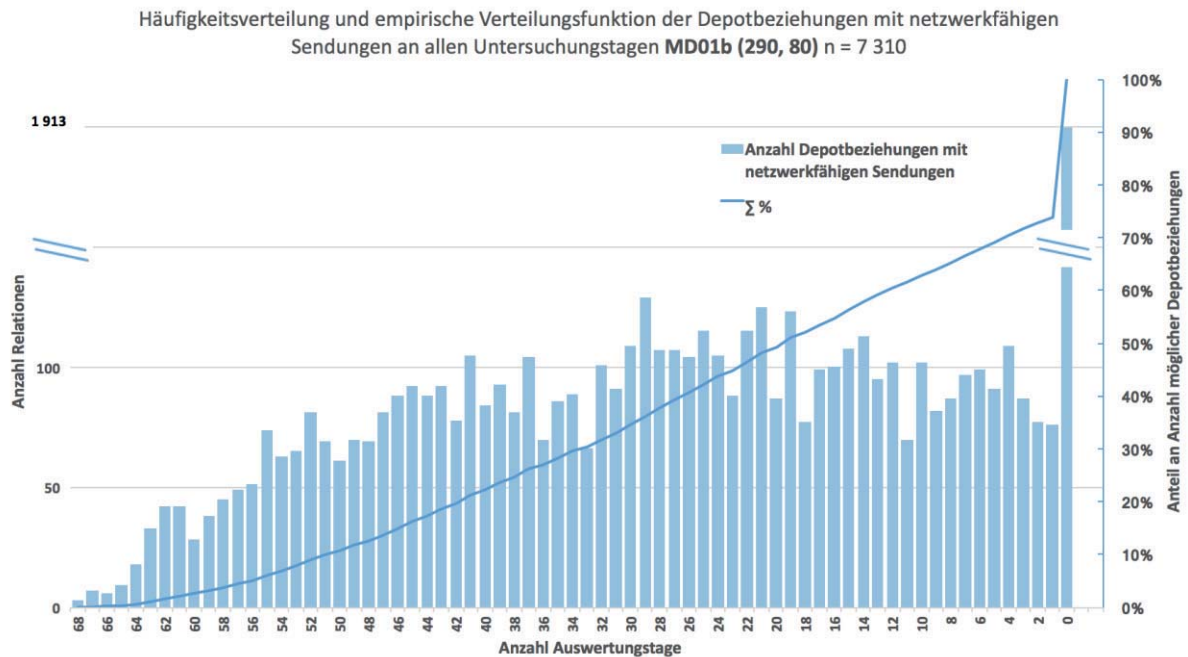


Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MD01b (290, 80)

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 16 stellt die zuvor grafisch aufbereiteten Ergebnisse der Untersuchung zur Grundlastermittlung an allen Auswertungstagen noch einmal gegenüber. Sind im Begegnungsverkehrsszenario nur 12 Depotbeziehungen an 90 % der Auswertungstage mit mindestens einer netzwerkrelevanten Sendung besetzt, so können im Depotverkehrsszenario bereits 118 Depotbeziehungen mit entsprechendem Merkmal identifiziert werden. An 80 % der Auswertungstage sind mit Hilfe des Begegnungsverkehrs 140 Depotbeziehungen zu unterhalten, mit Hilfe des Depotverkehrs 508.

Tabelle 16: Ergebnisübersicht Grundlastbestimmung

Anzahl Auswertungstage	Relationen mit mind. einer identifizierten Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MB01a (580, 80) n = 7 310	Relationen mit mind. einer identifizierten Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MD01b (290, 80) n = 7 310
68 (100 %)	0	3
62 (90 %)	12	118
54 (80 %)	140	508
48 (70 %)	332	923
34 (50 %)	962	2 154
0	3 796	1 913

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 60 und Abbildung 61 (Seite 231) zeigen die räumliche Verortung der Relationen und deren quantitative Belegung identifizierter netzwerkfähiger Sendungen bei 90%iger und 80%iger Belegungsstabilität für beide Prüfzenarien.

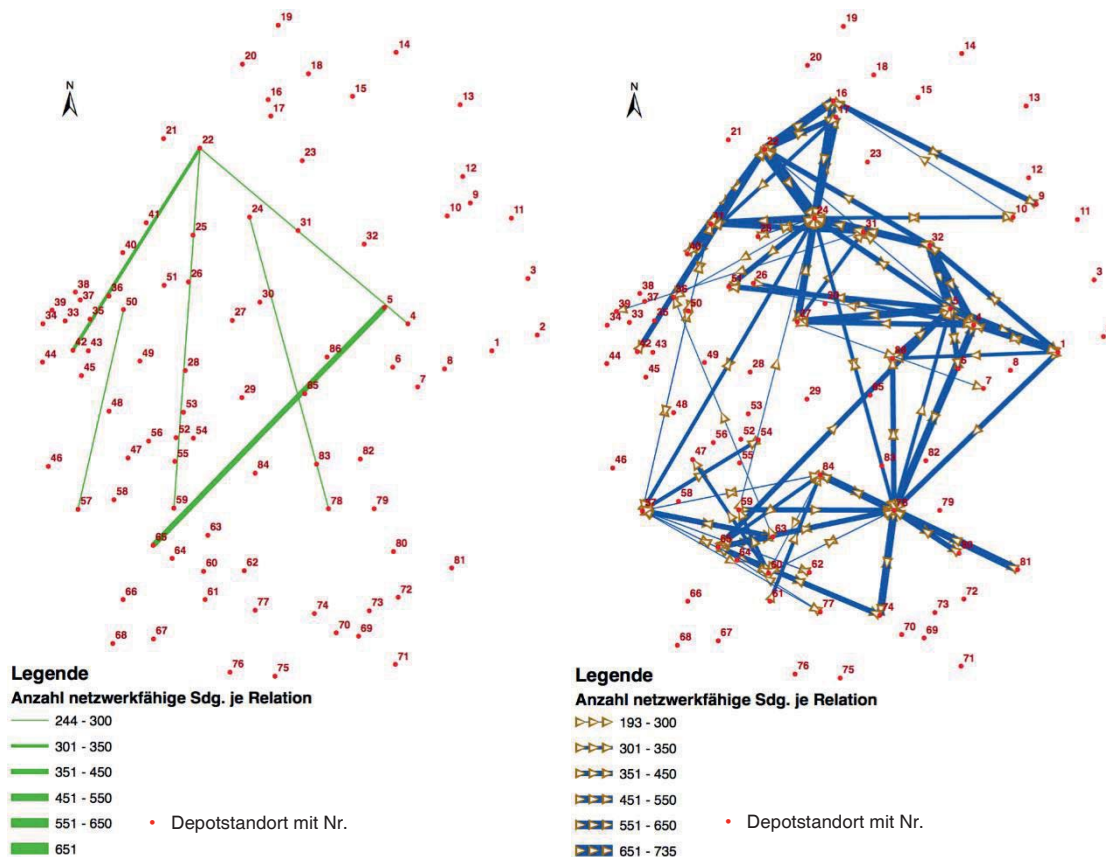


Abbildung 60: Depotbeziehungen der Grundlast netzwerkfähiger Sendungen an 90 % aller Auswertungstage, MB01a (580, 80) (links) und MD01b (290, 80) (rechts)

Quelle: Eigene Darstellung

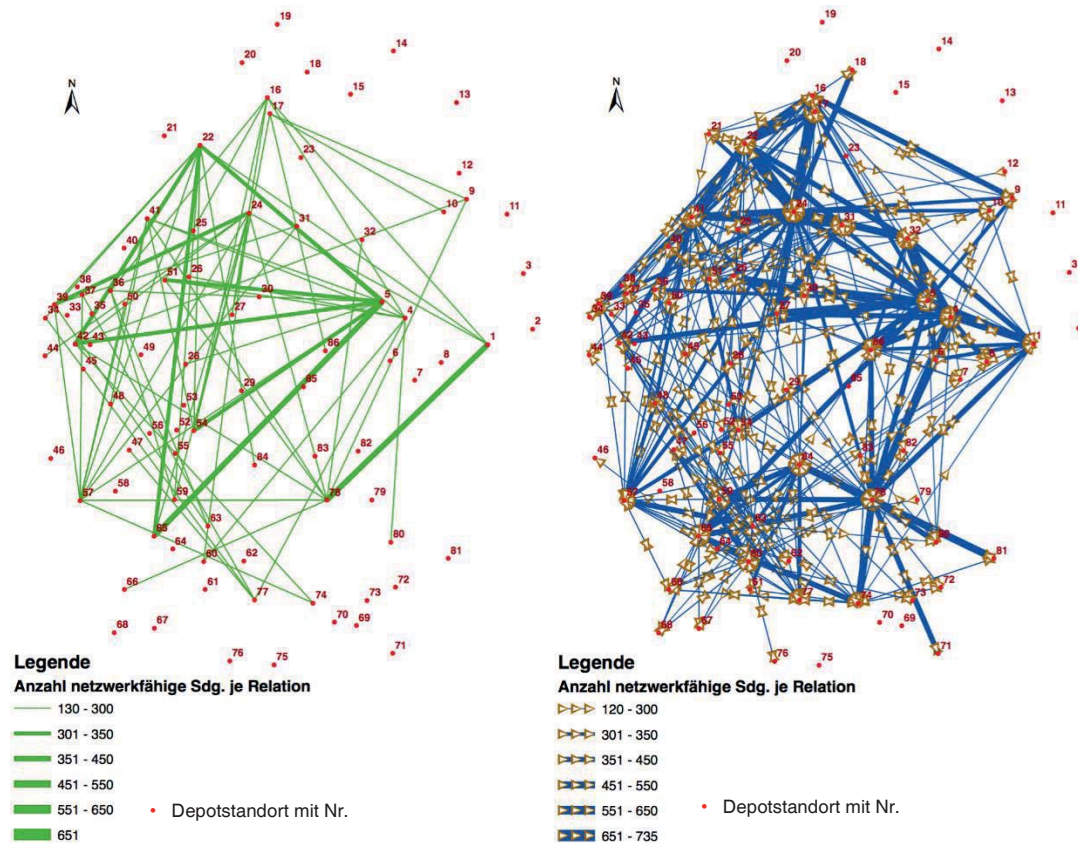


Abbildung 61: Depotbeziehungen der Grundlast netzwerkfähiger Sendungen an 80 % aller Auswertungstage, MB01a (580, 80) (links) und MD01b (290, 80) (rechts)

Quelle: Eigene Darstellung

Neben der zunehmenden räumlichen Ausdehnung „stabiler“ Relationen in den jeweiligen Netzwerken verändert sich zudem naturgemäß auch die Anzahl an Sendungen, die innerhalb des entsprechenden Stabilitätsmaßes an den Auswertungstagen identifiziert werden.

Tabelle 17 (Seite 232) stellt die Ergebnisse der Analyse unter Berücksichtigung der Anzahl netzwerkfähiger Sendungen noch einmal gegenüber. Dabei wird die bereits als These formulierte Verbesserung der Ergebnisse im Rahmen des Depotverkehrsverfahrens deutlich.

Das zu 90 % stabil im Netzwerk zu bearbeitende Sendungsvolumen steigt im Vergleich beider Prüfzenarien von 3 576 Sendungen im Begegnungsverkehr auf 44 488 Sendungen im Depotverkehr. Der Anteil netzwerkfähiger Sendungen, die im dargelegten Sinne als „stabil“ bezeichnet werden können, steigt damit von 1,8 % (im Begegnungsverkehr) auf 10 % (im Depotverkehr).

Tabelle 17: Ergebnisse Grundlastbestimmung inkl. netzwerkfähiger Sendungen

Anzahl Auswertungstage	Relationen mit mind. einer identifizierten Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MB01a (580, 80)	Anzahl netzwerkfähiger Sdg.	Relationen mit mind. einer identifizierten Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MD01b (290, 80)	Anzahl netzwerkfähiger Sdg.
68 (100 %)	0	0	3	1 679
62 (90 %)	12	3 576	118	44 488
54 (80 %)	140	33 196	508	138 325
48 (70 %)	332	64 154	923	208 326
34 (50 %)	962	128 914	2.154	338 710
0	3 796	0	1 913	0

Quelle: Eigene Darstellung

5.2. Ökonomische Potentialanalyse

Neben der reinen Anteilsidentifikation matchbarer Sendungen zur Umsetzung der Netzwerkidee, soll folgend das daraus resultierende wirtschaftliche Potential der Netzwerkproduktion im Sinne einer möglichen Produktionskostenreduktion quantifiziert werden. Um also die Ergebnisse der theoretisch funktionalen Potentialanalyse wirtschaftlich bewerten zu können, ist es notwendig, einerseits die Veränderungen der Kostenkalkulation durch den sequentiellen Mehrschichtbetrieb als Basis einer anzustellenden Vergleichsrechnung noch einmal detailliert herauszuarbeiten. Weiterhin müssen die im Rahmen der Netzwerkproduktion zusätzlich zu berücksichtigenden Kosten- und Leistungsfaktoren qualitativ und quantitativ beurteilt und in die Kostenvergleichsrechnung einbezogen werden.

5.2.1. Anpassungsoptionen der Kostenrechnung

Die in Abschnitt 3.2. (Seite 94 ff) zunächst nur grob auf die angestrebte zeitliche Auslastungsmaximierung angepasste Kostenkalkulation wird nun noch einmal für den vorliegenden Anwendungsfall konkretisiert, da innerhalb der bereits erfolgten Simulation der Gesamtkostensituation bisher lediglich der zweite Fahrer und die dadurch veränderte Gesamtkilometerleistung eine kosten- und leistungsseitige Berücksichtigung erfuhr.

Die nachfolgend dargestellten Änderungen einzelner Kostenpositionen sind im Hinblick auf deren Notwendigkeit und Ausprägung jeweils das Ergebnis gemeinsamer Beratungen und Arbeitskreise mit frachtführenden Unternehmen im Rahmen der Projektpartnerschaft im Forschungsprojekt „iLAN“. Das Forschungsprojekt selbst wird in Abschnitt 6.1. (Seite 272) ausführlich vorgestellt.

Im Rahmen der angestrebten sequentiellen Mehrfachbesetzung und des dadurch erreichbaren erweiterten Einsatzes des Fahrzeuges sind folgende Veränderungen an Kosten- und Leistungskennzahlen zu erwarten. Die entsprechend zur Diskussion geladenen Projekt-Partnerunternehmen lieferten hilfreichen Input auf Basis bereits vorhandener Erfahrungen zur Kostenentwicklung und -veränderung bei entsprechenden Einsätzen eigener Fahrzeuge innerhalb anderer Transportsegmente (Stückgutverkehre) oder bereits erster erfolgreicher Implementierung von in Abschnitt 3.3.2. (Seite 117 ff) erläuterten Maßnahmen zur Maximierung der zeitlichen Auslastung der Betriebsmittel, vor allem

mittels der erläuterten Maßnahme „ca3 - Fahrerwechsel an fixierten Tauschpunkten“.

So sind im Bereich der **Fixkosten** Veränderungen im Bereich der

- Beschaffungskosten,
- Fahrpersonalkosten,
- Kapitalkosten und
- unternehmensbezogenen Gemeinkosten und Wagnisse

zu erwarten.

Im Bereich der **variablen Kosten** ändern sich durch die entsprechend veränderte Bezugsgröße der Jahresfahrleistung naturgemäß alle Einzelpositionen innerhalb der Jahresgesamtbetrachtung in absoluter Form, jedoch sind im Rahmen der angestrebten Produktionsform ebenso auch relative Veränderungen bei

- Beschaffungskosten und
- Energiekosten

zu erwarten. Folgend werden alle genannten Kostenbestandteile im Hinblick auf deren Änderung im Rahmen der sequentiellen Mehrfachbesatzung erläutert und erneut quantifiziert.

Zuerst werden die **Beschaffungskosten**, welche auf beide Hauptkostengruppen einen Einfluss ausüben, näher betrachtet. Dabei gilt es zuerst, den Abschreibewert des Fahrzeuges entsprechend der in Abschnitt 2.3.2. (Seite 61) erläuterten Vorgehensweise zu bestimmen. Grundlegend wird dabei an Stelle einer vollausgestatteten Fernverkehrs-Sattelzugmaschine, die ursprüngliche Kalkulation ging nach WITTENBRINK von einem „Mercedes Actros 1844 LS“ aus, ein Fahrzeug für den Tageseinsatz unterstellt. Beispielhaft wird dazu ein Fahrzeug „Mercedes Antos 1843 LS“ benutzt, welches über ein für den Tageseinsatz angemessenes kleineres Fahrerhaus bei sonst vergleichbaren technischen Merkmalen verfügt. Fahrzeuge dieser Bauart sind in der Beschaffung ca. 15 % günstiger, die Wiederverkaufserlöse sind jedoch ebenfalls vergleichsweise geringer. Die Anschaffungskosten für den jeweiligen Auflieger werden aus dem Kostenmodell i. H. v. 25.000,- € übernommen, da in Abhängigkeit der unterschiedlichen Einsatzverfahren keine Veränderung der Anschaffungskosten beobachtet werden kann. Ebenfalls werden die Kosten für einen Satz Reifen (RK), die zu erwartende Preissteigerung (p) und die Restwertprognose am Ende der Periode T (q) aus der Ursprungskalkulation übernommen. Somit

ergibt sich entsprechend Formel (1) (siehe Seite 65) ein Abschreibewert für einen, dem Tageseinsatz des Fahrers angemessen konfigurierten Sattelzuges von¹³⁸:

Abschreibewert

Formel (1)

$$\begin{aligned}
 &= \text{Wiederbeschaffungswert}_T - \text{Restwert}_T \\
 &= (\text{Anschaffungswert}_{t_0} - RK) * (1 + p) - ((\text{Anschaffungswert}_{t_0} - RK) * q) \\
 &= (93.850 \text{ €} - 4.800 \text{ €}) * 1,10 - ((93.850 \text{ €} - 4.800) * 0,15) \\
 &= 84.598 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Wie zudem bereits ausführlich dargelegt, wird die Höhe der Abschreibung neben dem Abschreibewert durch die Nutzungsdauer geprägt. Während der Nutzungsdauer findet der abnutzungsbedingte Verschleiß durch den Gebrauch des Fahrzeuges statt (km-abhängige Abschreibung) sowie der natürliche Verschleiß und die technische Überholung (zeitabhängige Abschreibung). Im vorliegenden Untersuchungsfall ändern sich im Vergleich zur klassischen Produktionsform die Bedingungen dahingehend, dass mit einer erhöhten (möglichst verdoppelten) Kilometerleistung des Fahrzeuges innerhalb des Nutzungszeitraumes gerechnet werden muss. Die Literatur schlägt an dieser Stelle vor, den Nutzungszeitraum des Fahrzeuges im Vergleich zur klassischen Einsatzmethode zu verringern und/oder den km-abhängigen Kosten einen höheren Abschreibungsanteil zuzuordnen. Geht man im vorliegenden Fall davon aus, dass ein Fahrzeug im Einschichtbetrieb mit einer Jahresfahrleistung von ca. 124 000 km (siehe Abschnitt 2.2.3.3., Seite 51 ff) nach sechs Jahren Einsatz und einer Gesamtkilometerleistung von entsprechend 745 000 km zum Austausch gelangt, so kann davon ausgegangen werden, dass bei verdoppelter Fahrleistung das Fahrzeug spätestens nach vier Jahren und 992 000 km Gesamtfahrleistung ausgetauscht wird. Der dabei erhöhte abnutzungsbedingte Verschleiß durch den Gebrauch des Fahrzeuges wird durch den im Vergleich geringeren natürlichen Verschleiß (zwei Jahre weniger) kompensiert, sodass die kalkulatorischen Annahmen bzgl. der Restwertprognose weiterhin als gültig betrachtet werden¹³⁹. Ebenfalls wird die Verteilung der anteiligen Abschreibewerte beibehalten.

¹³⁸ Dabei wird ein Anschaffungswert der Sattelzugmaschine i. H. v. 68.850,- € unterstellt. Alle weiteren Werte werden im Vergleich zur Ursprungskalkulation beibehalten.

¹³⁹ Die Annahme adaptiert WITTENBRINK's Abschreibemodell im Zweischichtbetrieb, bei dem aus einer Fahrleistungserhöhung von 110 000 km ein um ein Jahr verkürzter Abschreibezeitraum resultiert (vgl. Wittenbrink (2014), S. 123).

Es ergeben sich somit also folgende Beschaffungskosten eines Sattelzuges im sequentiellen Mehrschichtbetrieb:

Abschreibung_{var} *Formel (2)*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Abschreibewert} * \alpha_{var}}{\text{Gesamtfahrleistung}_{T-t_0}} \\ &= \frac{84.598 \text{ €} * 0,5}{992.000 \text{ km}} \\ &= \mathbf{0,0426 \text{ €/km}} \end{aligned}$$

Abschreibung_{fix} *Formel (3)*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Abschreibewert} * \alpha_{fix}}{\text{Nutzungsdauer}_{T-t_0}} \\ &= \frac{84.598 \text{ €} * 0,5}{4 \text{ Jahre}} \\ &= \mathbf{10.574,70 \text{ €/Jahr}} \end{aligned}$$

Innerhalb der Beschreibung des Kostenmodells in Abschnitt 2.3.1. wurde zur Ermittlung der **Fahrerkosten** ein Jahresbruttolohn i. H. v. 28.862,- € berücksichtigt. Dieser soll auch im angestrebten Einsatz weiter Bestand besitzen. Zum einen ist dies dem Umstand geschuldet, bestehende Arbeitsverträge mit vorhandenem Fahrpersonal nicht ändern zu müssen, was im Bereich der vereinbarten Lohnzahlungen ohnehin nicht ohne Weiteres möglich ist. Ferner soll die veränderte Produktionsform in erster Linie soziale Bedingungen im Bereich des betreffenden Berufsfeldes verbessern, insofern soll und kann auch der Lohnsektor nicht bereits im Untersuchungsstadium nachteilig ausgestattet werden. Zukünftig ist es zudem möglicherweise notwendig, Ersatzleistungen für den Wegfall von Spesenzahlungen zu überlegen, da diese von einer Vielzahl an Fahrern heute als fester Bestandteil der Vergütung angesehen werden, auch wenn sie eigentlich einen anderen Zweck erfüllen.

Da die angestrebte Produktionsform den sequentiellen Wechsel von zwei Fahrern vorsieht, muss zur Bemessung der gesamten Fahrerkosten der Personalfaktor entsprechend angepasst, d. h. verdoppelt werden. Entgegen den Ausführungen von WITTENBRINK, der einem Fahrzeug im Zweischichtbetrieb einen erhöhten Personalfaktor von nur 2,0 beimisst, wird im vorliegenden Fall der Personalfaktor verdoppelt. Zwar bezieht sich WITTENBRINK in seinen diesbezüglichen Ausführungen auf eine „nur“ 80-prozentige Tagesauslastung des

Fahrzeuges, unklar bleibt dabei jedoch, wer die bei einem Personalfaktor von „zwei“ übrigen Kosten des zweiten Fahrers übernimmt, der im Hinblick der zur Verfügung stehenden Arbeits- und Einsatzzeit letztendlich doch dem zu kalkulierenden Fahrzeug voll zugeordnet ist und die Tagesauslastung des Fahrzeuges selbst keine Rolle im Hinblick auf anfallende Fahrerkosten spielt (vgl. Wittenbrink (2014), S. 122). Fahrerspesen fallen innerhalb der angestrebten neuen Produktionsform maximal für eine tägliche Abwesenheit jedes Fahrers von zu Hause bzw. der Betriebsstätte von mehr als acht, jedoch weniger als 24 Stunden an. Dass bedeutet, der täglich maximale Spesensatz für zwei Fahrer liegt entsprechend bei 16,- € und ergibt einen Jahreskostenwert von 4.368,- €, da, wie bereits erläutert, die Fahrerspesen nicht der Sozialversicherungs- und Lohnsteuerpflicht unterliegen.

Bei gleichbleibendem Jahresbruttolohn von 28.862,- € je Fahrer, selbstverständlich gleichbleibendem Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung i. H. v. 21,075 %, einem Personalfaktor von nun 2,5 und jährlichen Spesenzahlungen i. H. v. insgesamt 4.368,- € resultieren für den Netzwerkeinsatz eines Fahrzeuges und die dadurch ermöglichte sequentielle Fahrerbesatzung jährliche **Gesamtkosten für das Fahrpersonal** i. H. v.

$$28.862,- € \cdot 1,21075 \cdot 2,5 + 4.368,- € = \mathbf{91.729,67 €}.$$

Die zu berücksichtigende **kalkulatorische Zinslast** unterliegt ebenfalls infolge der Anpassungen des durchschnittlich gebundenen Anlagevermögens und dem durch die veränderte Einsatzsituation erhöhten durchschnittlich gebundenen Umlaufvermögen Veränderungen. Entsprechend der bereits dargelegten Methode (Formel 4, Seite 71) ist zunächst ein durchschnittlich gebundenes Anlagevermögen von 53.963,75 €/Jahr zu konstatieren. Weiter muss bei entsprechender Steigerung der Leistung des Fahrzeuges durch einen zusätzlich (vor-)zu finanzierenden Fahrer das zu verzinsende Umlaufvermögen für die Gesamtkalkulation angepasst werden. WITTENBRINK empfiehlt dabei für ein im Zweischichtbetrieb eingesetztes Fahrzeug eine Anpassung des Umlaufvermögens von 14.000,- €, beim klassischen Einschichtbetrieb auf 18.000,- € (Wittenbrink (2014), S. 123).

Dies scheint jedoch vor dem Hintergrund der angestrebten Leistungs- und Umsatzverdopplung im Netzwerkeinsatz, die, wie die später zusammengeführte Gesamtkalkulation zeigen wird, zu einer absoluten Kostensteigerung um das ca. 1,7fache der Ursprungskalkulation führt, zu niedrig angesetzt. Aus diesem Grund wird die Höhe des durchschnittlich vorzufinanzierenden Umlaufvermögens, bei gleichbleibendem Zahlungsziel von 30 Tagen, ebenfalls um den

Faktor 1,7 angepasst und auf 23.800,- € erhöht. Bei einem ebenfalls unverändert unterstellten Zinssatz von 7,6 % (siehe Abschnitt 2.3.3.) ergeben sich somit unter Berücksichtigung eines durchschnittlich gebundenen betriebsnotwendigen Kapitals von 77.763,75 € **kalkulatorische Zinsen i. H. v. 5.910,05 €/Jahr**. Ferner werden bei der bereits ebenfalls erläuterten Methode zur Ermittlung der sog. „**unternehmensbezogenen Gemeinkosten**“, also allgemeinen Kosten für Verwaltung und den kalkulatorischen Unternehmerlohn sowie den Wagniszuschlägen, folgend, 10 % der bisherigen Fahrzeugeinsatzkosten insgesamt angesetzt.

Für ein im angedachten Netzwerkverkehr eingesetztes Fahrzeug ergeben sich somit unternehmensbezogene Gemeinkosten i. H. v. **25.895,24 €/Jahr**. Zusätzlich können sich bei den Energiekosten Einsparpotentiale durch den Netzwerkverkehr und die täglich garantierte Rückkehr der Fahrzeuge ergeben, da diese nun ausschließlich „zu Hause“ betankt werden können. Somit ergibt sich die Möglichkeit, einerseits an einer Betriebstankstelle, die im Rahmen von mengen-degressiver Preisgestaltung beim Einkauf Vorteile gegenüber der üblichen, mittels Tankkarte und Provider möglichen Rabattierungen entstehen lässt, auszuschöpfen, andererseits können mit Mineralölvertriebsgesellschaften vor Ort ebenfalls neue Mengenrabattierungen wirksam gemacht werden. Da diese Möglichkeiten insgesamt zwar unzweifelhaft bestehen, in ihrer Ausprägung jedoch in der Praxis äußerst individuell gehandhabt werden, ist eine seriöse Quantifizierung an dieser Stelle nicht möglich. Für die angedachte Kalkulation werden also weiter die ursprünglich getroffenen Annahmen bzgl. der Ermittlung der Energiekosten genutzt. Die erneut herausgearbeiteten Kostenkennzahlen erlauben nun, unter Verwendung der in Abschnitt 3.2. (Seite 94 ff) anzustrebenden Produktivitätskennzahlen, eine Gesamtkalkulation der Einsatzkosten eines sequentiell besetzten Fahrzeuges im Netzwerkverkehr. Die angepasste Gesamtkalkulation ist dabei in Tabelle 18 (Seite 240) noch einmal zusammengefasst dargestellt. Unter der Maßgabe, 248 000 km Jahresfahrleistung tatsächlich zu erreichen, ergeben sich für den Ressourceneinsatz im nationalen Ladungsverkehr demnach **Gesamtkosten i. H. v. 301.434,13 €** (Einschichtbetrieb 168.524,- €). Für den weiteren Verlauf der Arbeit und der folgend erarbeiteten monetären Bewertung des Netzwerkeinsatzes sind vor allem folgende, daraus ableitbare Kostenkennzahlen von hoher Bedeutung. Es bleibt festzuhalten, dass der Ressourceneinsatz insgesamt:

- **Fixkosten i. H. v. 532,04 € je Einsatztag** (Einschichtbetrieb 321,- €/d) zzgl.

- **variable Kosten i. H. v. 0,63 € je Einsatzkilometer** (Einschichtbetrieb 0,652 €/km)

verursacht. Schlägt man die Gesamtkosten noch einmal auf die maximal erreichbaren Fahrzeug-Gesamtkilometer (248 000) um, so sind weiterhin

- **Gesamtkosten i. H. v. 1,215 € je Einsatzkilometer** (Einschichtbetrieb 1,357 €/km)

als dritte wichtige Kennzahl des Ressourceneinsatzes im Netzwerkverkehr zu berücksichtigen. Auch an dieser Stelle muss erneut auf den zusammenfassenden Charakter der Kalkulation hingewiesen werden, im Rahmen dessen für die vorliegende Arbeit und deren Untersuchungsziel zwar hinreichend genaue Ergebnisse geliefert werden, jedes realexistierende Transportunternehmen die Wertdimensionen jeder aufgeführten Kostenposition jedoch selbst und individuell zu ermitteln hat, um wiederum exakte „eigene“ Ergebnisse zu produzieren. Wie bereits in Abschnitt 3.2. überblickshalber in Aussicht gestellt, verändert sich die Gesamtkostensituation auch bei genauer Betrachtung um etwa 15 Cent/km zugunsten des sequentiellen Mehrschichtbetriebes, d. h., ausgehend von 1,357 €/km im Einschichtbetrieb birgt die angestrebte Umstellung des Produktionsverfahrens im dargestellten Kostenszenario ein absolutes Kostensenkungspotential von ca. 11 %¹⁴⁰.

Nicht berücksichtigt und monetär bislang nicht bewertet ist dabei die nach WITTENBRINK beschriebene Vorteilhaftigkeit des Zweischichtbetriebes im Sinne einer insgesamt geringeren Kapitalbindung durch Fahrzeuge, da zur Bewältigung der bisherigen Aufgaben insgesamt weniger Fahrzeuge benötigt werden (vgl. Wittenbrink (2014), S. 123). Ferner wird sich im Rahmen der folgenden Analyse zeigen, ob der ermittelte theoretische Kostenvorteil auch innerhalb der praktischen Umsetzung des Konzeptes und auftragsbezogenen kostenseitigen Bewertung aufrechterhalten bzw. gehoben werden kann oder ob dieser im Rahmen von negativen Effekten der Netzwerkproduktion, wie bspw. die Überwindung notwendiger Umwege innerhalb der Netzstruktur oder bedingt durch zusätzliche Zeitbedarfe für Vorgänge des Einheitentauschs, vernichtet wird.

¹⁴⁰ Herauszustellen ist an dieser Stelle, dass die ermittelte Höhe des „Einsparpotentials von 11 %“ natürlich eine relative Größe darstellt. Wird bspw. ein niedriger Energiekostensatz und/oder ein günstiger Verbrauchswert der Kalkulation zugrunde gelegt, sinken die Gesamtkosten des Ressourceneinsatzes bei gleichbleibendem absolutem Kostenvorteil der Netzwerk-Produktionsform, woraus sich wiederum ein entsprechend höherer, relativer Wert des Kostensenkungspotentials ableiten lässt.



Tabelle 18: Vollkostenkalkulation für den Ressourceneinsatz im Netzwerkverkehr (sequentieller Mehrschichtbetrieb)

Kostenkalkulation Ressourceneinsatz im Netzwerkverkehr								
1	I. Kostenarten/Annahmen	Basisdaten	Textbezug	Kosten / Jahr	Kosten / Tag	Kosten / km	(Benennung)	Anteil an den Gesamtkosten
2	Einsatztage/Jahr	273	S. 54					
3	Basisdaten Personal							
4	Fahrerlohn/Jahr	28.862,00	S. 73				€/Jahr	
5	Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung	21,075	S. 73				%	
6	Personalfaktor	2,5	S. 236					
7	Fahrerspesen/Einsatztag	16,00	S. 237				€/Einsatztag	
8	Basisdaten Fahrzeugbetrieb							
9	Anschaffungspreis Fahrzeug	93.850,00	S. 234				€	
10	Nutzungsdauer in Jahren	4	S. 235					
11	Restwert am Ende der Nutzung	15%	S. 65				% von Anschaffung	
12	Wiederbeschaffungswert	110%	S. 65				% von Anschaffung	
13	Laufleistung	248.000,00	S. 235				km/Jahr	
14	Kraftstoffverbrauch	33	S. 61				Liter/100km	
15	Kraftstoffpreis	1,27	S. 61				€/Liter (brutto)	
16	Verbrauch zus. Betriebsmittel	5%	S. 62				% vom Kraftstoffverbrauch	
17	Preis zus. Betriebsmittel	0,32	S. 62				€/Liter (brutto)	
18	Schmierstoffanteil	3%	S. 67				% der Kraftstoffkosten	
19	Reifenkosten (1. Satz)	4.800,00	S. 67				€	
20	Reifenlaufleistung	200.000,00	S. 67				km	
21	Reparatur und Wartung	0,0702	S. 68				€/km	
22	Abschreibungsanteil zeitabhängig	50%	S. 66					
23	Abschreibungsanteil nutzungsabhängig	50%	S. 66					
24	Umlaufvermögen	23.800,00	S. 237				€	
25	Zinssatz kalkulatorischer Zinsen	7,6%	S. 72				%	
26	Kfz-Steuer/Jahr	929,24	S. 73				€/Jahr	
27	Kfz-Haftpflichtversicherung + Kasko	5.600,00	S. 73				€/Jahr	
28	Transportversicherung	900,00	S. 73				€/Jahr	
29	Maut in Deutschland je km	0,156	S. 62				€/km	
30	Anteil mautpflichtiger Strecke	80%	S. 62				% an Gesamtstrecke	
31	Basisdaten Verwaltung/Disposition							
32	Dispositionsstellen	42.000,00	S. 75				€/Jahr	
33	Fahrzeuge/Disponent	35	S. 75				Fahrzeuge	
34	Sonstige allgemeine Verwaltungskosten	10%	S. 75				% der Fzg.-einsatzkosten	
35	II. Personalkostenkalkulation							
36	Fahrerlohn/Jahr		S. 73	28.862,00 €				
37	Arbeitgeberanteil an der Sozialversicherung		S. 73	6.082,667 €				
38	Fahrerlohn und Nebenkosten je Fahrer		S. 73	34.944,67 €				
39	Personalkosten nach Personalfaktor		S. 237	87.361,67 €				
40	Fahrerspesen		S. 237	4.368,00 €				
41	Summe Personalkosten			91.729,67 €	336,01 €	0,370 €		30,4%
42	III. Fixe-Fahrzeugkostenkalkulation							
43	Abschreibungskosten (fix)		S. 236	10.574,69 €	38,74 €			3,5%
44	Kalkulatorische Zinsen		S. 238	5.910,05 €	21,65 €			2,0%
45	Kfz-Steuer und -versicherung		S. 73	7.429,24 €	27,21 €			2,5%
46	Sonstige fixe Einsatzkosten		S. 75	1.000,00 €	3,66 €			0,3%
47	Summe der fixen Fahrzeugkosten			24.913,97 €	91,26 €	0,10 €		8,3%
48	IV. Variable-Fahrzeugkostenkalkulation							
49	Kraftstoffkosten		S. 61	87.568,800 €	320,76 €	0,353 €		29,1%
50	Kosten zus. Betriebsmittel		S. 62	1.104,840 €	4,05 €	0,0045 €		0,4%
51	Mautkosten		S. 62	30.950,400 €	113,37 €	0,125 €		10,3%
52	Reifenkosten		S. 67	5.952,000 €	21,80 €	0,024 €		2,0%
53	Schmierstoffkosten		S. 67	2.627,064 €	9,62 €	0,0106 €		0,9%
54	Reparatur- und Wartungskosten		S. 68	17.409,600 €	63,77 €	0,0702 €		5,8%
55	Abschreibungskosten (var.)		S. 236	10.574,69 €	38,74 €	0,0426 €		3,5%
56	Summe der variablen Einsatzkosten		S. 68	156.187,392 €	572,11 €	0,630 €		51,8%
57	V. Verwaltungs- und Dispositionsstellen							
58	Dispositionsstellen		S. 75	1.200,00 €	4,40 €			0,4%
59	Sonstige allgemeine Verwaltungskosten		S. 238	27.403,10 €	100,38 €			9,1%
60	Summe der Verwaltungs- und Dispositionsstellen			28.603,10 €	104,77 €	0,1153 €		9,5%
61	VI. Ergebnis Fahrzeugkalkulation							
62	Summe Personalkosten			91.729,67 €	336,01 €			30,4%
63	Summe der fixen Fahrzeugkosten			24.913,97 €	91,26 €			8,3%
64	Summe der variablen Einsatzkosten		S. 163	156.187,392 €		0,630 €		51,8%
65	Summe der Verwaltungs- und Dispositionsstellen			28.603,10 €	104,77 €			9,5%
66	Gesamtkosten Fahrzeugeinsatz			301.434,13 €	1.104,15 €	1,215 €		100,0%
67	Fixkosten je Einsatztag				532,04 €			
68	Variable Kosten je Einsatzkilometer					0,630 €		

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.2. Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung

Die für beide Produktionsverfahren vorliegenden Kostenkennzahlen werden folgend für eine monetäre Bewertung der im Datenpool vorhandenen Sendungsdaten (Einzelaufträge) verwendet. Die kostenseitige Bewertung der Transportaufträge erfolgt dabei, wie exemplarisch durch WITTENBRINK empfohlen, auf Basis der entsprechenden Verwendung von Tages- und Kilometersätzen, nicht aber dem durchschnittlichen Gesamtkilometersatz (für eine ausführliche Diskussion zur Kalkulation von Straßentransporten vgl. Wittenbrink (2014), S. 135).

Die vergleichende Kostenbewertung basiert dabei auf folgend dargelegter grundlegender Methodik. Tabelle 19 zeigt alle in die Berechnung einfließenden Faktoren und stellt deren quantitative Ausprägung innerhalb beider Produktionsverfahren dar. Diese erfahren im Anschluss an die Darstellung eine kurze Erläuterung.

Tabelle 19: Übersicht Kosten- und Leistungsfaktoren

Index	Bezeichnung	Direkt- verkehr	Netzwerk- verkehr	Einheit
C_f	= Fixkosten	320,81	532,04	€/d
C_v	= Variable Kosten	0,652	0,63	€/km
v	= Ø Geschwindigkeit	65	68	km/h
t_A	= Arbeitszeit je Periode	9,6	19,2	h/d
t_B	= Beladedauer	1	1	h
t_E	= Entladedauer	1	1	h
t_D	= Depotzeit	0	0,25	h
t_W	= Zeitverbrauch Einheitentausch	0	0,35	h
d_T	= Transportdistanz (Quelle – Senke)	x	x	km
d_L	= Leerfahrtdistanz	$d_T \cdot 0,104$	30	km
d_U	= Umwegdistanz	0	40*	km

**innerhalb des theoretischen Modells angenommene Größe*

Quelle: Eigenen Darstellung

Bereits hinreichende Erläuterung erfuhren die verwendeten Kostenwerte c_f und c_v (siehe dazu Abschnitt 2.3., Seite 59 ff und Abschnitt 5.2., Seite 233 ff) sowie die Leistungswerte v , t_A , t_B und t_E (siehe dazu Abschnitt 2.2.3.3., Seite 51 ff).

Ferner wurde der statistische Leerfahrtanteil im Straßengüterverkehr ebenfalls in Abschnitt 2.2.3.3. diskutiert und wird für das Szenario Direktverkehr an dieser Stelle i. H. v. 10,4 % im „Fernverkehr“ nach BGL übernommen (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 60). Der für den Netzwerkverkehr als statistischer Leerfahrtanteil anzunehmende Wert von absolut 30 km (unabhängig von der eigentlichen Auftragsentfernung) basiert auf der in Abschnitt 4.3.1. (Seite 151 ff) angenommenen Ausdehnung von max. 60 km um das Empfangsdepot, eines im Nachlauf zu bedienenden Gebietes und einer entsprechend angenommenen Gleichverteilung von Leerfahrtaufwendungen von 0 km bis max. 60 km (größtmögliche Leerfahrt, im Anschluss an eine Zustellung fährt das Fahrzeug zurück zum Depot). Die Umwegdistanz im Netzwerkverkehr wird bei anzustellenden Vergleichsberechnungen als Realwert im Rahmen des Routings ermittelt. Für erste Vergleichsszenarien (theoretische Betrachtung) wird auch hier eine Gleichverteilung von Umwegaufwendungen unterstellt, die im Rahmen von 0 km bis max. 80 km im derzeitigen Modell zugelassen sind (siehe Abschnitt 4.3.3.3., Seite 162) und somit im Mittel 40 km betragen. In die Betrachtung mit einzubeziehen sind darüber hinaus zusätzliche Aufwendungen im Netzwerkverkehr. Geht man davon aus, dass eine nach Vor-, Haupt- und Nachlauf differenzierte Bearbeitung des Transportauftrages im Netzwerk stattfindet, so fallen im Vergleich zum Direktverkehr Aufwendungen am Aus- und Eingangsdepot an, deren Zeitverbrauch kostenseitig bewertet werden muss. Vorgeladene Trailer werden vom Nahverkehr abgestellt, Transportpapiere bearbeitet usw. Dieser Aufwand wird als „Depotzeit“ t_D bezeichnet und mit je 15 min innerhalb der Bewertung berücksichtigt. Abschließend werden zusätzliche Zeitbedarfe zum Einheitentausch am Begegnungspunkt oder dem Begegnungsdepot verursacht. Diese werden erfahrungsgemäß mit ca. 20 min, also 0,35 h innerhalb der Bewertung angesetzt. Zusätzlich wird dem Netzwerkverkehr eine minimal erhöhte Durchschnittsgeschwindigkeit attestiert, da die Durchführung des Hauptlaufes vorranglich nachts stattfinden wird, wenn mit entsprechend günstigeren Verkehrsbedingungen zu rechnen ist.

Insgesamt muss in Bezug auf das vorliegende Modell zum kostenseitigen Vergleich beider Produktionsverfahren ausdrücklich darauf verwiesen werden, dass mögliche Fixkosten der Netzwerkproduktion bspw. durch Softwarevorhaltung und -wartung, zusätzliche administrative Prozesse wie die notwendige Leistungsverrechnung der Partner untereinander, das sog. Clearing von Leerpalletten usw. bisher nicht in die Bewertung einfließen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit besteht keine Möglichkeit, die Administration der Netzwerk-

prozesse seriös zu schätzen. Deshalb wird der folgenden Kostenvergleichsrechnung unterstellt, dass mögliche Kostensteigerungen durch zusätzliche administrative Prozesse innerhalb der Netzwerkproduktion durch gleichzeitig zu erwartende Kostensenkungspotentiale durch freiwerdende Ressourcen in der klassischen Disposition (Rückladungsakquisition entfällt), die ebenfalls derzeit keine Berücksichtigung im Modell erfahren, ausgeglichen werden können.

Anhand aller verfügbaren Kosten- und Leistungswerte ist die anzuwendende Gleichung unter der Maßgabe einer linearen Fixkostenanlastung wie folgt zu bestimmen:

Formel (5)

$$C(d_T) = (d_T + d_L + d_U) * c_v + \left(\frac{\frac{d_T + d_L + d_U}{v} + t_B + t_E + 2t_D + t_W}{t_A} \right) * c_f$$

Für eine vollständige kostenseitige Bewertung von Transportaufträgen im Direktverkehr ergibt sich in Abhängigkeit der Transportentfernung somit folgende Funktion:

$$C_{Dir}(d_T) = 1,104d_T * 0,652 + \left(\frac{\frac{1,104d_T}{65} + 2}{9,6} \right) * 320,81$$

Für die theoretisch vollständige kostenseitige Bewertung von Transportaufträgen im Netzwerkverkehr lautet die Gleichung unter Einsatz und Annahme der o. g. Kosten- und Leistungswerte:

$$C_{Netz}(d_T) = (d_T + 30 + 40) * 0,63 + \left(\frac{\frac{d_T + 30 + 40}{68} + 2,85}{19,2} \right) * 532,04$$

Setzt man beide Gleichungen gleich (mit $C_{Dir}(d_T) = C_{Netz}(d_T)$) und löst diese nach d_T auf, so stellt sich bei einer Transportentfernung (Quelle – Senke) von $d_T = 339,3$ km Kostengleichheit für beide Verkehrsverfahren ein.

Das bedeutet, bei gleichmäßiger Anlastung von mittleren Leerfahrt- und Umwegaufwendungen im Netzwerkverkehr **können Transporte ab einer Transportdistanz von 340 km kostengünstiger produziert werden**. Ab dieser Distanz wird der Kostenvorteil des sequentiellen Mehrschichtbetriebes der eingesetzten Ressource dahingehend wirksam, als dass zusätzliche, netzwerkbedingte Zeit- und Distanzaufwendungen kostenseitig amortisiert werden können.

Abbildung 62 zeigt die Kostenverläufe beider Verkehrsverfahren unter verschiedenen Annahmen. So werden die Produktionskosten im Direktverkehr jeweils exklusive und inklusive der Berücksichtigung des relativen Leerfahranteils dargestellt. Die unterschiedlichen Steigungen beider Kurven spiegeln den prozentualen Anteil der Leerfahrtaufwendungen wider.

Zudem zeigt Abbildung 62 die entfernungsbezogenen Produktionskosten im Netzwerkbetrieb, ohne zusätzliche Anlastung von Leerfahrt und Umwegaufwand, unter Berücksichtigung von absoluter Leerfahrt und unter Berücksichtigung von Leerfahrt- und Umwegaufwand. Aufgrund der jeweils absoluten Größen für Leerfahrt- und Umwegaufwand verlaufen die Kurven parallel. Der zuvor mathematisch ermittelte Break-even-Point der Kostengleichheit ist entsprechend im Schnittpunkt der jeweiligen Kurven abzulesen.

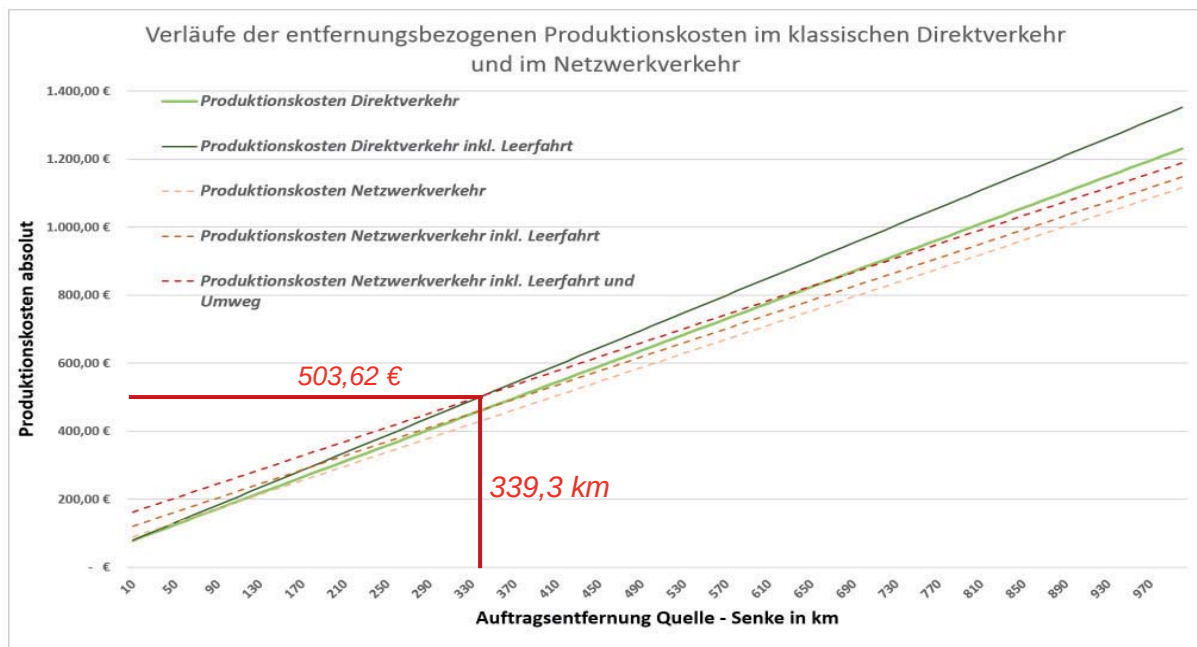


Abbildung 62: Verläufe der entfernungsbezogenen Produktionskosten

Quelle: Eigene Darstellung

Bereits an dieser Stelle wird deutlich, welchen Einfluss die im Netzwerk tatsächlich verursachten Umwegkilometer auf das Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung ausüben. Werden die im Modell bisher gemittelt angerechneten Umwegaufwendungen aus der Untersuchung ausgeschlossen, so stellt sich eine theoretische Kostengleichheit bereits ab einer Auftragsentfernung von ca. 175 km ein. **Entscheidend für einen entsprechend hohen Kostenvorteil der angestrebten Netzwerkproduktion insgesamt wird also eine angemessene Depotdichte sein, die Umwegaufwendungen im Vergleich zum Direktverkehr zu minimieren vermag.**

Abbildung 63 zeigt abschließend die Differenz der Produktionskosten beider Verfahren in den Szenarien

- ohne Berücksichtigung von Leerfahrt und Umweg,
- unter Berücksichtigung von Leerfahrtanteilen und
- unter Berücksichtigung von Leerfahrt und Umweg.

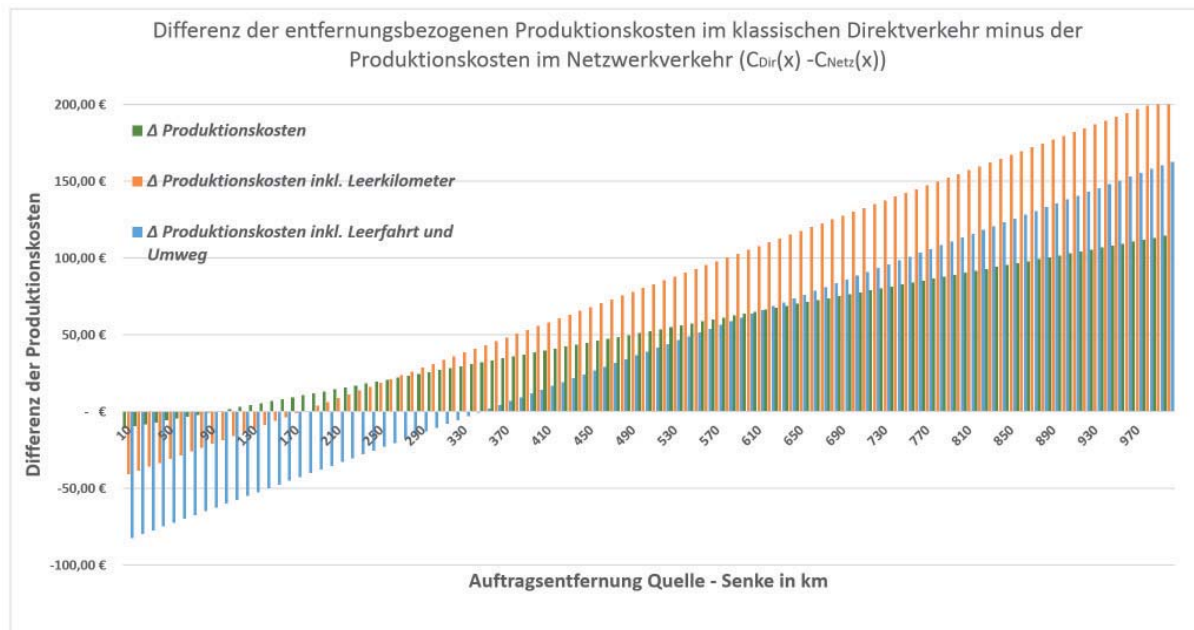


Abbildung 63: Differenz der entfernungsbezogenen Produktionskosten

Quelle: Eigene Darstellung

Nach einer theoretischen Betrachtung des kostenseitigen Potentials der Netzwerkproduktion unter Einbezug aller kostenrelevanten Mehraufwendungen im Netzwerk werden folgend nun die im Rahmen der theoretischen Potentialanalyse untersuchten Sendungsdaten dem zuvor erarbeiteten Kostenvergleich unterzogen. Dabei soll der tatsächliche Kostenvorteil der Netzwerkproduktion innerhalb des Prüfzenarios MD01b (290, 80) mit insgesamt 444 168 netzwerkfähigen Sendungen quantifiziert werden. Die Kostenvergleichsanalyse basiert dabei, wie auch innerhalb der theoretischen Analyse des Kostenverhaltens, auf einem Vergleich auf Einzelauftragsebene. Da einerseits die verfügbaren Sendungsdaten keinen hinreichend verlässlichen Schluss auf Fahrzeugumläufe zulassen und auch anhand der in die Netzwerkproduktion überführbaren Sendungen kein Rückschluss auf den letztendlichen Fahrzeugeinsatz möglich ist, besteht an dieser Stelle ausschließlich die Möglichkeit, einzelne Sendungen im Rahmen der Kostenstruktur des Direktverkehrs $C_{Dir}(d_T)$ und der Kostenstruktur der Netzwerkverkehrs $C_{Netz}(d_T)$, jeweils in Abhängigkeit der bereits bewerte-

ten Transportdistanzen und unter Berücksichtigung zusätzlicher (Zeit-)Aufwendungen im Netzwerkverkehr monetär zu bewerten und einander gegenüberzustellen. Den messbaren Kosten- und Leistungswerten werden dabei erneut pauschalisierte absolute oder relative Zugaben, im Hinblick auf Leerfahrtaufwendungen und zusätzliche Zeitbedarfe zugeordnet, um eine umfassende Bewertung zu ermöglichen. Wie bereits anhand der theoretischen Betrachtung erarbeitet, wird der tatsächlich verursachte Mehraufwand im Netzwerk (Umweg und zeitlicher Mehraufwand) darüber entscheiden, ob die insgesamt günstigere Kostenkennzahlensituation des sequentiellen Mehrschichtbetriebes letztendlich ein positives Gesamtergebnis erzeugt.

Auswertung Leistungswerte

Zur Auswertung gelangen insgesamt 1 706 731 untersuchungsrelevante Sendungen mit einer Teilmenge von 444 168 netzwerkfähigen Sendungen im Prüfszenario MD01b (290, 80). Zur jeweiligen Bewertung werden erneut die in Tabelle 17 (Seite 232) dargestellten Kosten- und Leistungsfaktoren genutzt. Lediglich die Umwegdistanz d_U , im theoretischen Modell mit 40 km im Mittel standardisiert, wird im Rahmen der folgenden Untersuchung durch den jeweiligen Realwert d_N (Netzwerkdistance = $d_U + d_T$) beschrieben.

Ferner wird im ersten Untersuchungsschritt allen netzwerkfähigen Sendungen erneut ein pauschalierter Leerfahrtanteil (d_L) von 30 km kostenseitig angelastet. Zunächst ergeben sich anhand der Einzelanalyse der Sendungsdaten die in Tabelle 20 (Seite 247) dargestellten kostenrelevanten Kennzahlen.

Tabelle 20: Kennzahlen Kostenvergleichsanalyse I

Name	Wert	Anteil
(1) Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen	444 168	
(2) Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	628 996 626 km	
(3) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	139 427 414 km	
(4) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	154 470 830 km	
(5) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ohne Leerfahrt	15 043 417 km	(5)/(3) = 10,8 % (5)/(2) = 2,4 %
(6) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, je netzwerkfähiger Sdg. ohne Leerfahrt	33,87 km	(5)/(1) = 10,8 %
(7) Mittlere Direktentfernung aller untersuchungsrelev. Sdg. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	368,54 km	
(8) Mittlere Direktentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. (n = 444 168) ohne Leerfahrt	313,91 km	
(9) Mittlere Netzwerkentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. (n = 444 168) ohne Leerfahrt	347,77 km	
(10) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand im Direktverkehr ($d_r \cdot 0,104$) (n = 1 706 731)	65 415 649 km (38,33 km / Sdg.)	(9)/(1) = 10,4 %
(11) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand Netzwerkverkehr (30 km) (n = 444 168)	13 325 040 km (30 km / Sdg.)	(10)/(2) = 9,6 %
(12) Leerfahrtaufwand aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168)	14 500 592 km	
(13) Gesamtaufwand im Direktverkehr	694 412 275 km	(2)+(10)
(14) Gesamtaufwand im Netzwerkverkehr	708 280 140 km	(2)+(10)- (12)+(5)+(11)
(15) Mehraufwand im Netzwerkverkehr inkl. Leerfahrt	13 867 865 km	(14)-(13)

Quelle: Eigene Darstellung

Der systembedingte streckenbezogene Mehraufwand, den die jeweiligen netzwerkfähigen Sendungen durch Umwege im Netz verursachen, beträgt absolut 15 043 417 km. Da der Leerfahrtaufwand aller netzwerkfähigen Sendungen im Netzwerkbetrieb geringer ausfällt als der verursachte Leerfahrtaufwand dieser Sendungen im Direktverkehr, wird der Gesamtmehraufwand der Netzwerkproduktion auf 13 867 865 km reduziert. Der mittlere Umweg je netzwerkfähiger Sendung ist demnach mit 33,87 km zu beschreiben. Ersetzt man im zuvor erstellten Kostenmodell den seinerzeit noch mit 40 km pauschaliert einbezogenen Wert (d_U) durch die tatsächlich im Mittel entstandenen Mehrkilometer i. H. v. 33,79 km, so ist eine Kostengleichheit beider Verfahren bereits bei einer Auftragsentfernung von ca. 320 km messbar. Das bedeutet, alle netzwerkfähigen Sendungen mit mind. 320 km Auftragsentfernung erwirtschaften trotz eines Umweges von max. 33 km einen Kostenvorteil innerhalb der Netzwerkproduktion. Mit ca. 314 km mittlerer Auftragsentfernung liegen die netzwerkfähigen Sendungen im Untersuchungsszenario jedoch knapp unterhalb dieser Schwelle.

Auswertung Kostenwerte

Nachdem jedes einzelne untersuchungsrelevante Sendungsdatum ($n = 1\,706\,371$) auf Basis seiner Auftragsentfernung (Direktentfernung) unter Anwendung von Formel (5) (Seite 243) sowie unter der Verwendung der in Abschnitt 2.3. (Seite 59 ff) ermittelten Kostenkennzahlen des klassischen Einschichtbetriebes und mit Zugabe des in Abschnitt 2.2.3.3. (Seite 51) beschriebenen Leerfahrtfaktors i. H. v. 10,4 % der Direktentfernung bewertet wurde, werden alle netzwerkfähigen Sendungen ($n = 444\,168$), auf Basis deren ermittelter Netzwerkdistanz unter Verwendung von Formel (5) und unter dem Einsatz der in Abschnitt 5.2.1. (Seite 233 ff) ermittelten Kostenkennzahlen des sequentiellen Mehrschichtbetriebes sowie einer pauschalierten Zugabe eines Leerfahrtaufwandes von zunächst 30 km, ebenfalls kostenseitig bewertet. Die Ergebnisse der kostenseitigen Bewertung sind Tabelle 21 zu entnehmen.

Tabelle 21: Kennzahlen Kostenvergleichsanalyse II

Name	Wert	Anteil
(16) Gesamtkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr ($n = 1\,706\,731$)	923.847.967,97 €	
(17) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr ($n = 444\,168$)	209.184.297,68 €	
(18) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr ($n = 444\,168$)	206.090.252,71 €	
(19) Kostenergebnis innerhalb der Netzwerkproduktion gesamt ($C_{Dir} - C_{Netz}$)	3.094.044,97 €	(18)/(16) = 1,48 % (18)/(15) = 0,33 %
(20) Mittlerer Kostenvorteil je netzwerkfähiger Sdg. ($n = 444\,168$)	6,97 €	(18)/(1) = 1,48 %
(21) Mittlere Direktkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. ($n = 1\,706\,731$)	541,41 €	
(22) Mittlere Direktkosten aller netzwerkfähigen Sdg. ($n = 444\,168$)	470,96 €	
(23) Mittlere Netzwerkkosten aller netzwerkfähigen Sdg. ($n = 444\,168$)	463,99 €	

Quelle: Eigene Darstellung

Trotz eines streckenbezogenen Mehraufwandes von ca. 15 Mio. Kilometern innerhalb des Untersuchungsszenarios, der durch einen Vorteil der netzwerkfähigen Sendungen bei der Leerfahrt auf insgesamt ca. 13,9 Mio. (Mehr-)Kilometer reduziert wird, erwirtschaften die netzwerkfähigen Sendungen im Rahmen der angepassten Kalkulationsgrundlage noch immer einen Kostenvorteil von ca. 3,1 Mio. €. Dies bedeutet jedoch letztendlich eine Kostenreduktion von lediglich 1,48 %, bezogen auf alle im Netzwerk produzierten Sendungen.

Im an dieser Stelle unterstellten Szenario mit pauschalierten 30 km Leerfahrtaufschlag und mittleren Umwegaufwendungen durch das Netzwerk i. H. v. 34 km, ist der Anteil an Sendungen, die jenseits des theoretischen Break-even-

Point einen entsprechenden Kostenvorteil erwirtschaften, gering. Abbildung 64 zeigt die empirische Verteilfunktion der ermittelten kostenseitigen Differenzbeträge aller netzwerkfähigen Sendungen im vorliegenden Untersuchungsszenario. Es ist festzustellen, dass 44 % der netzwerkfähigen Sendungen keinen Kostenvorteil, 35 % der Sendungen gar einen entsprechenden Kostennachteil im Netzwerkverfahren erwirtschaften.

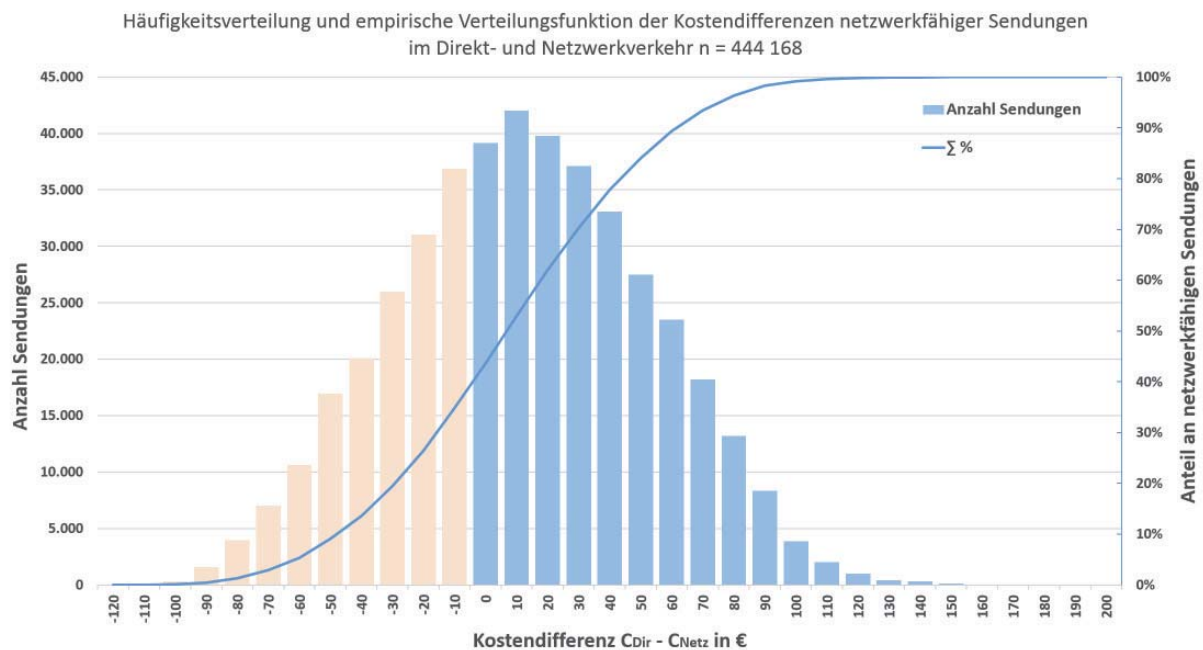


Abbildung 64: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion der Kostendifferenzen netzwerkfähiger Sendungen im Direkt- und Netzwerkverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Der leichte Überhang (56 %) an Sendungen, die entsprechend der These einen Kostenvorteil innerhalb der Netzwerkproduktion besitzen, gleichen den summierten Kostennachteil der restlichen netzwerkfähigen Sendungen nur in o. g. Maße aus, sodass im beschriebenen Untersuchungsszenario letztendlich 1,48 % der Gesamtkosten netzwerkfähiger Sendungen im Direktverkehr durch eine Überführung dieser Sendungen in den beschriebenen Netzwerkverkehr reduziert werden.

Aufgrund der Vielzahl einflussreicher Parameter und Annahmen im vorliegenden Modell, soll folgend eine Sensitivitätsanalyse zeigen, inwieweit sich das Gesamtergebnis durch einzelne Faktorveränderungen beeinflussbar zeigt.

5.2.3. Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse untersucht sowohl den Einfluss einer möglichen Veränderung bzw. Anpassung des Gesamtportfolios verfügbarer Sendungen als auch den Einfluss einzelner Faktoren und deren Veränderungen im Kosten- und Leistungsmodell auf das Gesamtergebnis.

Auswirkungen eines angepassten Sendungsportfolios auf die Kosten- und Leistungsanalyse

Entsprechend der in Abschnitt 5.2.2. herausgearbeiteten theoretischen Kennzahl von 339 km Auftragsentfernung, ab der im vorliegenden Modell ein entsprechender Kostenvorteil innerhalb der Netzwerkproduktion unter Berücksichtigung von Leerfahrt- und Umwegaufwendungen zu erzielen ist, soll im ersten Sensitivitätsszenario das Gesamtportfolio untersuchungsrelevanter Sendungsdaten auf die Sendungen reduziert werden, die eine Auftragsentfernung von $d_T \geq 339$ km besitzen.

Im Ergebnis dessen stehen für eine Analyse auf Netzwerkfähigkeit mit **904 606 untersuchungsrelevanten Sendungen** ca. 802 000 Sendungen weniger zur Verfügung als im Ausgangsszenario. Tabelle 22 (Seite 251) zeigt im Vergleich zu den Ergebnissen der ursprünglichen Untersuchung (siehe Tabelle 15, Seite 221) die im vorliegenden Szenario erzielten Ergebnisse. Dabei bleibt die jeweilige Anzahl an netzwerkfähig identifizierten Sendungen in den einzelnen Untersuchungsszenarien hinter den Ergebnissen der ursprünglichen Untersuchung zurück.

Eine Beschränkung der auf Netzwerkfähigkeit zu untersuchenden Gesamtdatenmenge auf Sendungen mit entsprechend hoher Mindest-Transportdistanz verhilft der funktionalen Untersuchung demnach weder absolut noch relativ zu besseren Ergebnissen. Zudem kann der Vorteil der Depotverkehrsverfahren nicht nachgewiesen werden. Dies offenbart vor allem in den Depotverkehrsszenarien die Notwendigkeit, Sendungen mit kürzeren Transportdistanzen als (anteilige) Matchingpartner zur Verfügung zu stellen, auch wenn diese ggf. singulär, bedingt durch kurze Transportdistanzen negative Kostenvergleichsergebnisse erzielen.

Im Rahmen der ökonomischen Bewertung muss im Referenzszenario MD01b (290, 80) jedoch konstatiert werden, dass der Ausschluss von Sendungen kurzer Transportdistanzen zu verbesserten Ergebnissen der Kosten-

vergleichsbewertung führt. Die **161 114** netzwerkfähigen Sendungen erwirtschaften einen ökonomischen Vorteil von **6.423.537,52 €**, was einer Verdoppelung des Kostenvergleichsergebnisses der Ursprungsuntersuchung entspricht.

Tabelle 22: Ergebnisse der Untersuchung zur Netzwerkfähigkeit von Sendungen mit $d_T \geq 340$ km, $n = 904\ 606$

Matchingverfahren, $d_{\max}, u_{\max}$	Netzwerkrelevante Sendungen	Netzwerkfähige Sendungen (Matchings)	Anteil Matchings an relevanten Sdg.
MB01a, 500, 80	423 875	133 376	14,74 %
MB01a, 580, 80	541 955	165 914	18,34 %
MB01b, 500, 80	423 875	133 486	14,76 %
MB01b, 580, 80	541 955	168 410	18,62 %
MB02a, 250, 80	324 517	99 764	11,03 %
MB02a, 290, 80	462 035	142 810	15,79 %
MB02b, 250, 80	324 517	99 874	11,04 %
MB02b, 290, 80	462 035	145 306	16,06 %
MD01a, 250, 80	324 517	108 339	11,98 %
MD01a, 290, 80	462 035	157 606	17,42 %
MD01b, 250, 80	324 517	108 514	12,00 %
MD01b, 290, 80	462 035	161 114	17,81 %
MD02a, 250, 80	324 517	112 689	12,46 %
MD02a, 290, 80	462 035	163 998	18,13 %
MD02b, 250, 80	324 517	112 892	12,48 %
MD02b, 290, 80	462 035	167 623	18,53 %

Quelle: Eigene Darstellung

In einem weiteren Szenario der Sensitivitätsanalyse soll folgend untersucht werden, ob der ausschließliche Einbezug von Sendungen, die innerhalb der Netzwerkproduktion einen Kostenvorteil gegenüber der konventionellen Produktionsform erwirtschaften würden, vor allem das ökonomische Gesamtergebnis positiv beeinflusst. Dazu werden alle netzwerkrelevanten Sendungen hinsichtlich ihrer jeweiligen Produktionskosten bewertet und nur die Sendungen im Anschluss auf Netzwerkfähigkeit (Matching) geprüft, deren Produktion im Netzwerk zu geringeren Kosten dargestellt werden kann als deren konventionelle Produktion. Dabei verringert sich zunächst das der Auswertung zur Verfügung stehende Gesamtportfolio erneut auf **603 091 untersuchungsrelevante Sendungen**.

Zwar liegen die Ergebnisse der Depotverkehrsverfahren nach dieser Untersuchung geringfügig oberhalb der Ergebnisse des Begegnungsverkehrs, insgesamt bleiben diese jedoch im Vergleich zur Ausgangsanalyse sowohl absolut als auch relativ gesehen noch immer weit hinter den Ursprungsergebnissen zurück, wenngleich ein Anstieg netzwerkfähiger Sendungen trotz geringerem

Gesamtportfolio zu erkennen ist. Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsverfahren sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Ergebnisse der Untersuchung zur Netzwerkfähigkeit von Sendungen mit Kostenvorteil innerhalb der Netzwerkproduktion, n = 603 091

Matchingverfahren, d _{max} , U _{max}	Netzwerkrelevante Sendungen	Netzwerkfähige Sendungen (Matchings)	Anteil Matchings an relevanten Sdg.
MB01a, 500, 80	540 116	134 910	22,37 %
MB01a, 580, 80	597 468	135 374	22,45 %
MB01b, 500, 80	540 116	166 162	27,55 %
MB01b, 580, 80	597 468	185 020	30,68 %
MB02a, 250, 80	467 753	111 922	18,56 %
MB02a, 290, 80	597 221	135 176	22,41 %
MB02b, 250, 80	467 753	143 174	23,74 %
MB02b, 290, 80	597 221	184 822	30,65 %
MD01a, 250, 80	467 753	121 994	20,23 %
MD01a, 290, 80	597 221	149 769	24,83 %
MD01b, 250, 80	467 753	170 057	28,20 %
MD01b, 290, 80	597 221	220 382	36,54 %
MD02a, 250, 80	467 753	127 081	21,07 %
MD02a, 290, 80	597 221	155 703	25,82 %
MD02b, 250, 80	467 753	177 692	29,46 %
MD02b, 290, 80	597 221	230 279	38,18 %

Quelle: Eigene Darstellung

Im Zuge der monetären Bewertung des Referenzergebnisses (**220 382 netzwerkfähige Sendungen im Verfahren MD01b (290, 80)**) ist durch den frühzeitigen Ausschluss von innerhalb des Netzwerkverkehrs kostennachteiliger Sendungen eine massive Steigerung des **Kostenvorteils** von ursprünglich ca. 3,1 Mio. € auf **8,3 Mio. €** zu konstatieren. In etwa die Hälfte der ursprünglichen Anzahl netzwerkfähiger Sendungen bewirkt nach deren monetärer Bewertung eine Verbesserung des ökonomischen Ergebnisses um etwas weniger als den Faktor drei.

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse scheint für die praktische Umsetzung des Netzbetriebes eine grundlegend festzulegende Strategie notwendig, die ihrerseits im Hinblick auf

- Maximierung von netzwerkfähigen Sendungen oder aber
- Maximierung des Gesamt-Ökonomischen Ergebnisses

formuliert sein kann. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch eine Maximierungsstrategie des ökonomischen Ergebnisses aufgrund der im Untersuchungsbeispiel in wesentlich geringerem Maße verfügbaren netzwerkfähigen

Sendungen insgesamt, die Grundlast des Gesamtsystems negativ beeinflusst wird, wie Tabelle 24 auszugsweise zeigt.

Tabelle 24: Grundlastbestimmung inkl. netzwerkfähiger Sendungen für Szenario 1+2

Anzahl Auswertungstage	Relationen mit mind. einer Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MB01a (580, 80)	Anzahl netzwerkfähiger Sendungen	Relationen mit mind. einer Netzwerksendung je Anzahl Auswertungstage MD01b (290, 80)	Anzahl netzwerkfähiger Sendungen
68 (100 %)	0	0	0	0
62 (90 %)	9	2 591	11	3 213
54 (80 %)	103	24 013	114	26 671

Quelle: Eigene Darstellung

Im Vergleich mit den Ergebnissen der Belegungsstabilität des Ursprungsszenarios (siehe dazu Tabelle 17, Seite 232) können nur sehr viel weniger netzwerkfähige Sendungen mit entsprechender Aufkommensstabilität relationsbezogen identifiziert werden. Von ursprünglich 44 488 Sendungen, die zu 90 %, also an mindestens 62 Auswertungstagen wiederkehrend identifiziert werden konnten, verbleiben in Szenario 2 nur 3 213 Sendungen, in Szenario 1 lediglich 2 591 Sendungen. Tabelle 25 (Seite 254) stellt die einzelnen Analyseergebnisse noch einmal im Detail einander gegenüber.

Tabelle 25: Einfluss eines angepassten Sendungsportfolios auf die Kosten- und Leistungsanalyse

Name	Ursprungsszenario Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 30 \text{ km}$	Szenario 1 Sdg. $d_T \geq 339 \text{ km}$, $d_{L(Netz)} = 30 \text{ km}$	Szenario 2 Sdg. $C_{dir} > C_{netz}$, $d_{L(Netz)} = 30 \text{ km}$
(1) Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen	444 168	161 114	220 382
(2) Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverk. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	628 996 626 km	628 996 626 km	628 996 626 km
(3) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	139 427 414 km	71 942 015 km	87 433 431 km
(4) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	154 470 830 km	77 435 564 km	92 792 017 km
(5) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ohne Leerfahrt	15 043 417 km	5 493 549 km	5 358 587 km
(6) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, je netzwerkfähiger Sdg. ohne Leerfahrt	33,87 km	34,10 km	24,31 km
(7) Mittlere Direktentfernung aller untersuchungsrelevanten. Sdg. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	368,54 km	368,54 km	368,54 km
(8) Mittlere Direktentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	313,91 km	446,53 km	396,74 km
(9) Mittlere Netzwerkentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	347,77 km	480,63 km	421,05 km
(10) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand im Direktverkehr ($d_T \cdot 0,104$) (n = 1 706 731)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)
(11) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand Netzwerkverkehr (30 km) (n = 444 168)	13 325 040 km (30 km/Sdg.)	4 833 420 km (30 km/Sdg.)	6 611 460 km (30 km/Sdg.)
(12) Leerfahrtaufwand aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr	14 500 592 km	7 481 970 km	9 093 076 km
(13) Gesamtaufwand im Direktverkehr	694 412 275 km	694 412 275 km	694 412 275 km
(14) Gesamtaufwand im Netzwerkverkehr	708 280 140 km	697 257 274 km	697 289 246 km
(15) Mehraufwand im Netzwerkverkehr inkl. Leerfahrt	13 867 865 km	2 844 999 km	2 876 971 km
(16) Gesamtkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731)	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €
(17) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168)	209.184.297,68 €	103.385.906 €	127.290.677 €
(18) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168)	206.090.252,71 €	96.962.387 €	119.009.597 €
(19) Kostenergebnis innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ($C_{Dir} - C_{Netz}$)	3.094.044,97 €	6.423.537 €	8.281.081 €
(20) Mittlerer Kostenvorteil je netzwerkfähiger Sdg. (n = 444 168)	6,97 €	39,87 €	37,58 €
(21) Mittlere Direktkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. (n = 1 706 731)	541,41 €	541,41 €	541,41 €
(22) Mittlere Direktkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	470,96 €	641,69 €	577,59 €
(23) Mittlere Netzwerkkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	463,99 €	601,82 €	540,02 €

Quelle: Eigene Darstellung

Auswirkungen angepasster Faktoren der Kosten- und Leistungsanalyse

An dieser Stelle soll einführend kurz analysiert werden, welche der in Tabelle 19 (Seite 241) dargestellten Kosten- und Leistungswerte innerhalb des folgenden Abschnitts der Sensitivitätsanalyse behandelt werden. Dabei gelten t_A t_B t_E t_D t_W als konstante Faktoren, da diese einerseits anhand des gültigen Rechtsrahmens (t_A) ermittelt wurden bzw. auf Basis praktischer Erfahrungen als Mindestanforderung gelten müssen. Ebenso basieren die im Modell für v angenommenen Werte auf Analyseergebnissen von Praxispartnern. Die Transportdistanz d_T ist vorgegeben und kann ebenso wenig verändert werden, wie die innerhalb der Netzwerkkonfiguration entstandenen Umwegdistanzen d_U .

Somit bleibt zu untersuchen, welchen Einfluss

- die Leerfahrtdistanz d_L und die
- Fahrzeugkosten C_f bzw. C_v

auf die Kostenvergleichsanalyse ausüben. Die Analyse ist dreistufig aufgebaut. An erster Stelle soll der Einfluss der bisher pauschaliert im Modell berücksichtigten Leerkilometer innerhalb der Netzwerkproduktion untersucht werden. Geht man, wie in Tabelle 20 (Seite 247) dargestellt, von einer mittleren Direktentfernung der netzwerkfähigen Sendungen von ca. 314 km aus, so entsprechen 30 km Leerfahrtaufschlag im Modell ungefähr dem vom BGL ermittelten Leerfahrtanteil i. H. v. 10,4 % im heutigen Fernverkehr (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014), S. 60).

Nimmt man nun perspektivisch an, dass die Bediengebiete der jeweiligen Depotstandorte insgesamt kleiner ausfallen als bisher im Modell akzeptiert und zudem durch entsprechende Kompetenzen der Nahverkehrsdisposition (siehe Abschnitt 4.4., Seite 178) die Organisation der Flächenverkehre (wesentlich) geringere Leerfahrtaufwendungen im Vor- und Nachlauf erzeugen, so sind im vorliegenden Untersuchungsszenario folgende Kosten- und Leistungswerte in Abhängigkeit von $d_L = 20$ km und $d_L = 15$ km zu erwarten (siehe dazu Tabelle 26, Seite 256).

Tabelle 26: Einfluss veränderter Leerfahrtaufwendungen im Netzwerkverkehr auf die Kosten- und Leistungsanalyse

Name	Ursprungsszenario Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 30 \text{ km}$	Szenario 3 Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 20 \text{ km}$	Szenario 4 Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 15 \text{ km}$
(1) Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen	444 168	444 168	444 168
(2) Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	628 996 626 km	628 996 626 km	628 996 626 km
(3) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	139 427 414 km	139 427 414 km	139 427 414 km
(4) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	154 470 830 km	154 470 830 km	154 470 830 km
(5) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion gesamt ohne Leerfahrt	15 043 417 km	15 043 417 km	15 043 417 km
(6) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, je netzwerkfähiger Sdg. ohne Leerfahrt	33,87 km	33,87 km	33,87 km
(7) Mittlere Direktentfernung aller untersuchungsrelevanten Sdg. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	368,54 km	368,54 km	368,54 km
(8) Mittlere Direktentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	313,91 km	313,91 km	313,91 km
(9) Mittlere Netzwerkentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	347,77 km	347,77 km	347,77 km
(10) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand im Direktverkehr ($d_L^*0,104$) (n = 1 706 731)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)
(11) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand im Netzwerkverkehr (entspr. Szenario) (n = 444 168)	13 325 040 km (30 km/Sdg.)	8 883 360 km (20 km/Sdg.)	6 662 520 km (15 km/Sdg.)
(12) Leerfahrtaufwand aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr	14 500 592 km	14 500 592 km	14 500 592 km
(13) Gesamtaufwand im Direktverkehr	694 412 275 km	694 412 275 km	694 412 275 km
(14) Gesamtaufwand im Netzwerkverkehr	708 280 140 km	703 838 460 km	701 617 620 km
(15) Mehraufwand im Netzwerkverkehr inkl. Leerfahrt	13 867 865 km	9 426 185 km	7 205 345 km
(16) Gesamtkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731)	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €
(17) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168)	209.184.297,68 €	209.184.297,68 €	209.184.297,68 €
(18) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168)	206.090.252,71 €	201.481.982,49 €	199.177.847,39 €
(19) Kostenergebnis innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ($C_{Dir} - C_{Netz}$)	3.094.044,97 € (1,48 % von (17))	7.702.315,19 € (3,68 % von (17))	10.006.450,30 € (4,78 % von (17))
(20) Mittlerer Kostenvorteil je netzwerkfähiger Sdg. (n = 444 168)	6,97 €	17,34 €	22,53 €
(21) Mittlere Direktkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg.	541,41 €	541,41 €	541,41 €
(22) Mittlere Direktkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	470,96 €	470,96 €	470,96 €
(23) Mittlere Netzwerkkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	463,99 €	453,62 €	448,43 €

Quelle: Eigene Darstellung

Bereits bei einer Reduktion des zu erwartenden Leerfahrtaufwandes um 10 km je Sendung reduzieren sich die Gesamtkosten der netzwerkrelevanten Sendungen innerhalb der Netzwerkproduktion im ansonsten unberührten Untersuchungsszenario um 4,6 Mio. €. Der Kostenvorteil der Netzwerkproduktion steigt damit um 2,2 % auf insgesamt 7,7 Mio. € gegenüber dem klassischen Produktionsverfahren und ist unter der angenommenen Reduktion der Leerfahrtaufwendungen im Netzwerk auf 15 km/je Sendung auf abschließende 10 Mio. € (4,78 % gegenüber dem herkömmlichen Verfahren) zu erhöhen.

In Bezug auf das in Abbildung 25 (Seite 155) dargestellte, anzustrebende Fahrtenmuster im Rahmen der Flächenverkehrsorganisation zur optimierten Verbindung von Nach- und Vorlaufaufträgen, sind Anschlussfahrten von 15 km im Mittel innerhalb zielführend dimensionierter Bediengebiete durchaus erreichbar bzw. notwendig, um entsprechende Kostenvorteile insgesamt nutzbar zu machen. Ferner reduzieren sich die Gesamtmehraufwendungen im Netzwerkbetrieb gegenüber den Direktfahrten, bedingt durch den zunehmenden Vorteil im Vergleich der Leerfahrtanteile um nahezu 50 % gegenüber dem Ausgangsszenario.

Die im Netzwerk zwangsweise entstehenden Umweg-Mehraufwendungen können also bei einer entsprechend zielführenden Flächenverkehrsdisposition mit niedrigen Leerfahrtaufwendungen zum Teil kompensiert werden.

Insgesamt entstehen im Best-Case-Szenario (Szenario 4) Mehraufwendungen i. H. v. 7,2 Mio. km, denen jedoch trotz dessen ein Produktionskostenvorteil von gut 10 Mio. € gegenübersteht.

Im dritten Schritt der Einflussanalyse wird, basierend auf dem hohen Einfluss der variablen Kosten auf die Gesamtkostenkalkulation (siehe dazu Tabelle 7, Seite 78 und Tabelle 18, Seite 240) zudem der Einfluss der wiederum mächtigsten variablen Kostengröße, der Energiekosten, auf die Kostenvergleichsrechnung untersucht. Hierzu werden, ausgehend vom bisher verwendeten Kraftstoffpreis i. H. v. 1,27 € brutto, weitere Kostenvergleichsszenarien für entsprechend veränderte variable Kostenkennzahlen basierend auf Kraftstoffpreisen i. H. v. 1,15 € und 1,05 € (jeweils brutto) erstellt.

Abschließend wird zudem kurz auf den Einfluss eines Worst-Case-Szenarios, basierend auf einem Brutto-Kraftstoffpreis von 1,45 € eingegangen. Übernimmt man für Schritt drei der Untersuchung das Best-Case-Szenario des ersten Untersuchungsschrittes ($d_L = 15$ km), so kann ein nur unwesentlicher Einfluss der

durch den Kraftstoffpreis veränderten variablen Kostenhöhe auf das Gesamtergebnis festgestellt werden. Letztendlich führen in einer Spannweite von 0,40 € brutto veränderte Kraftstoffpreise zu einer Veränderung des Gesamtergebnisses i. H. v. 0,92 %¹⁴¹ (siehe Tabelle 27, Seite 259).

¹⁴¹ Kraftstoffpreis

1,05 € = C_v (0,588 €/0,566 €); C_f (317,9 €/526,25 €)

1,15 € = C_v (0,616 €/0,595 €); C_f (319,2 €/528,84 €)

1,45 € = C_v (0,702 €/0,680 €); C_f (323,1 €/536,62 €) (Direktverkehr/Netzwerkverkehr)

Tabelle 27: Einfluss veränderter Leerfahrtaufwendungen und Änderungen der variablen Kosten auf die Kosten- und Leistungsanalyse

Name	Szenario 5 Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 15 \text{ km}$ Kraftstoff: 1,15 €/L	Szenario 6 Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 15 \text{ km}$ Kraftstoff: 1,05 €/L	Szenario 7 Alle Sdg. $d_{L(Netz)} = 15 \text{ km}$ Kraftstoff: 1,45 €/L
(1) Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen	444 168	444 168	444 168
(2) Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	628 996 626 km	628 996 626 km	628 996 626 km
(3) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	139 427 414 km	139 427 414 km	139 427 414 km
(4) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	154 470 830 km	154 470 830 km	154 470 830 km
(5) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion gesamt ohne Leerfahrt	15 043 417 km	15 043 417 km	15 043 417 km
(6) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, je netzwerkfähiger Sdg. ohne Leerfahrt	33,87 km	33,87 km	33,87 km
(7) Mittlere Direktentfernung aller untersuchungsrelevanten Sdg. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	368,54 km	368,54 km	368,54 km
(8) Mittlere Direktentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	313,91 km	313,91 km	313,91 km
(9) Mittlere Netzwerkentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	347,77 km	347,77 km	347,77 km
(10) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand im Direktverkehr ($d_L^*0,104$) (n = 1 706 731)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)
(11) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrtaufwand Netzwerkverkehr (entspr. Szenario 4) (n = 444 168)	6 662 520 km (15 km/Sdg.)	6 662 520 km (15 km/Sdg.)	6 662 520 km (15 km/Sdg.)
(12) Leerfahrtaufwand aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr	14 500 592 km	14 500 592 km	14 500 592 km
(13) Gesamtaufwand im Direktverkehr	694 412 275 km	694 412 275 km	694 412 275 km
(14) Gesamtaufwand im Netzwerkverkehr	701 617 620 km	701 617 620 km	701 617 620 km
(15) Mehraufwand im Netzwerkverkehr inkl. Leerfahrt	7 205 345 km	7 205 345 km	7 205 345 km
(16) Gesamtkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731)	896.484.933,00 €	875.132.413,54 €	961.931.315,96 €
(17) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168)	203.096.759,58 €	198.345.800,83 €	217.657.491,59 €
(18) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168)	192.950.772,64 €	187.802.472,54 €	208.075.241,87 €
(19) Kostenergebnis innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ($C_{Dir} - C_{Netz}$)	10.145.986,95 €	10.543.328,29 €	9.582.249,72 €
(20) Mittlerer Kostenvorteil je netzwerkfähiger Sdg. (n = 444 168)	22,84 €	23,74 €	21,57 €
(21) Mittlere Direktkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg.	525,38 €	512,86 €	563,73 €
(22) Mittlere Direktkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	457,25 €	446,56 €	490,03 €
(23) Mittlere Netzwerkkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	434,41 €	422,82 €	468,46 €

Quelle: Eigene Darstellung

In einem weiteren Untersuchungsschritt wurde daraufhin geprüft, welchen Einfluss das Beschaffungsmodell der eingesetzten Ressourcen auf das Gesamtergebnis dahingehend auszuüben vermag, indem an Stelle der bisher kalkulierten Fahrzeugkosten die Kostensätze eines Leasingmodells in die Sensitivitätsanalyse einbezogen werden. Im Leasingbereich wird der Anteil sonst „variabler Abschreibungen“ innerhalb der festgelegten monatlichen Leasingrate „fixiert“. Das bedeutet, die tatsächlichen variablen Kostensätze sind vergleichsweise gering, die Fixkostensätze entsprechend höher als beim herkömmlichen Kauf.

Da sich am Markt die Leasingraten für unterschiedliche Jahresfahrleistungen jedoch kaum noch unterscheiden, ist innerhalb der Kostenvergleichsanalyse ein weiterer Vorteil zu erwarten. Mit unterstellter Leasingrate i. H. v. 1.650,- € für ein Fahrzeug im klassischen Einschichtbetrieb und 1.950,- € für das Netzwerkfahrzeug, ergeben sich bei ansonsten gleichbleibenden Kostenwerten Fixkosten i. H. v. $C_{f(Dir)} = 365,37 \text{ €}$, $C_{f(Netz)} = 579,84 \text{ €}$ sowie variable Kostensätze i. H. v. $C_{v(Dir)} / C_{v(Netz)} = 0,587 \text{ €}$. Im Analysemodell verwendet, erzeugen die angepassten Kostensätze einen Zuwachs des Kostenvorteils der Netzwerkproduktion von 3,3 Mio. €, basierend auf dem Best-Case-Szenario des zweiten Untersuchungsschrittes. Ein relativer Zuwachs von 1,41 % ergibt dabei eine Kostenersparnis von 6,19 % aller netzwerkfähigen Sendungen innerhalb der Netzwerkproduktion gegenüber deren klassischer Produktionskosten.

Die Sensitivitätsanalyse der Kosten- und Leistungsfaktoren hat gezeigt, dass den erwartungsgemäß größten Einfluss auf die Kostenvergleichsanalyse die Komponenten des Modells ausüben, die eine im Netzwerk zu erbringende Entfernungsleistung quantifizieren. Da der notwendige Umweg im Netzwerk in Abhängigkeit der Netzwerkkonfiguration und der jeweils angewandten Verkehrsverfahren entsteht und im Nachhinein nicht zu beeinflussen ist, konzentrierte sich die Untersuchung an dieser Stelle auf die Beschränkung der vermeintlichen Leerfahrt im Bediengebiet.

Ausgehend von im Modell berücksichtigten 30 km Leerfahrtaufwand je netzwerkfähiger Sendung konnte festgestellt werden, dass bei einer Halbierung der pauschalierten Größe, der Kostenvorteil der Netzwerkproduktion mehr als verdreifacht werden kann. Einen nur sehr geringen Einfluss auf die Kostenvergleichsrechnung üben dagegen variable Kostensätze selbst aus. Der Einfluss des Kraftstoffpreises ist dabei noch wesentlich geringer nachzuweisen, als eine Veränderung der Beschaffungsform des Fahrzeuges.

Die angepassten Kostensätze, in beiden Szenarien per Leasing beschaffte Fahrzeuge, erhöhen den Gesamtkostenvorteil der Netzwerkproduktion um

weitere 1,41 %, da der Mehraufwand an Streckenleistung im Netzwerkverkehr durch die verringerten variablen Kostensätze einen geringeren Anteil an den Gesamtkosten erfährt. Abbildung 65 zeigt die empirische Verteilfunktion der ermittelten kostenseitigen Differenzbeträge aller netzwerkfähigen Sendungen des Best-Case-Ergebnisses der Sensitivitätsanalyse im ersten Schritt, also inkl. einer Leerfahrtdistanz $d_{L(Netz)} = 15$ km und ansonsten der Kostenrechnung in Abschnitt 2.3. und Abschnitt 5.2.1. entsprechende Kostenwerte. Dabei ist festzustellen, dass im Vergleich zur Ursprungsanalyse nur noch 25 % der netzwerkfähigen Sendungen keinen Kostenvorteil, lediglich 18 % der Sendungen gar einen entsprechenden Kostennachteil im Netzwerkverfahren erwirtschaften.

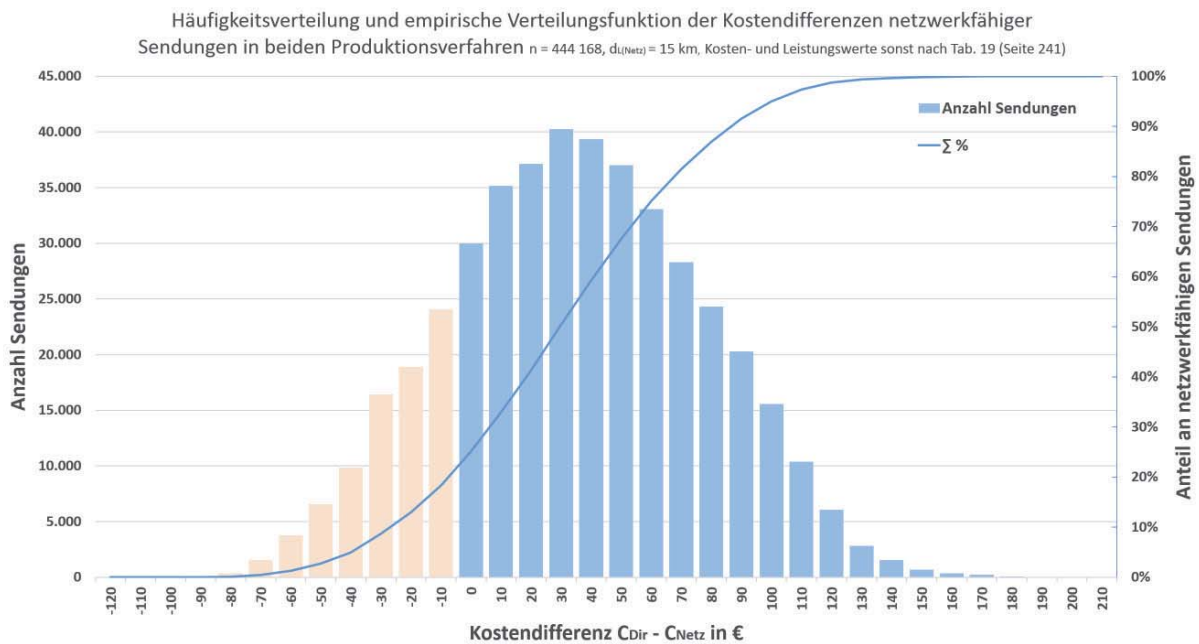


Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion der Kostendifferenzen netzwerkfähiger Sendungen im Direkt- und Netzwerkverkehr bei $d_{U(Netz)} = 15$ km

Quelle: Eigene Darstellung

Auswirkung eines angepassten Sendungsportfolios und angepasster Faktoren

Zu prüfen ist somit abschließend ein Szenario 8, welches die besten Lösungen beider zuvor verfolgten Ansätze der Sensitivitätsanalyse vereint. Dabei wird aus dem ersten Teil der Untersuchung der ausschließliche Einbezug von Sendungen, die innerhalb der Netzwerkproduktion einen Kostenvorteil gegenüber der konventionellen Produktionsform erwirtschaften würden (**603 091 untersuchungsrelevante Sendungen**, Szenario 2) als Datenbasis übernommen und zusätzlich der Faktor $d_{L(Netz)}$ auf **15 km** herabgesetzt (Szenario 4).

Im Ergebnis beider Ansätze bleiben die Anzahl netzwerkfähiger Sendungen in den jeweiligen Verkehrsverfahren unverändert (siehe Tabelle 23, Seite 252), jedoch steigt der Kostenvorteil, den **220 382 netzwerkfähige Sendungen** im Verfahren MD01b (290, 80) generieren, noch einmal vergleichsweise geringfügig auf **11.710.795,70 €** an, was einem Gesamtvorteil von 5,59 % gegenüber den Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sendungen im Direktverkehr entspricht.

Da jedoch die Steigerung des Gesamtkostenvorteils i. H. v. 0,81 % gegenüber dem Best-Case-Szenario der Faktoranalyse der Kosten- und Leistungsbewertung (Szenario 4) wiederum nur unter massiven Lasten der Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen erreicht wird und dadurch ein Rückgang der Grundlast des Netzbetriebes entsprechend Tabelle 24 (Seite 253) zu erwarten ist, wird von einer Weiterverfolgung dieses Szenarios ebenfalls abgesehen.

Die Ergebnisse aus Analyseszenario 8 im Vergleich mit den Einzelergebnissen aus Szenario 2 und Szenario 4 werden in Tabelle 28 (Seite 263) noch einmal ausführlich aufgeführt. Darüber hinaus stellt Abbildung 66 (Seite 264) die wichtigsten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse einander noch einmal grafisch gegenüber.

Tabelle 28: Auswirkung eines angepassten Sendungsportfolios und angepasster Faktoren auf die Kosten- und Leistungsanalyse

Name	Szenario 2 Sdg. $C_{dir} > C_{netz}$, $d_L(Netz) = 30 \text{ km}$	Szenario 4 Alle Sdg. $d_L(Netz) = 15 \text{ km}$	Szenario 8 Sdg. $C_{dir} > C_{netz}$ $d_L(Netz) = 15 \text{ km}$
(1) Gesamtanzahl netzwerkfähiger Sendungen	220 382	444 168	220 382
(2) Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	628 996 626 km	628 996 626 km	628 996 626 km
(3) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	87 433 431 km	139 427 414 km	87 433 431 km
(4) Gesamtdistanz aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168) ohne Leerfahrt	92 792 017 km	154 470 830 km	92 792 017 km
(5) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ohne Leerfahrt	5 358 587 km	15 043 417 km	5 358 587 km
(6) Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, je netzwerkfähiger Sdg. ohne Leerfahrt	24,31 km	33,87 km	24,31 km
(7) Mittlere Direktentfernung aller untersuchungsrelevanten Sdg. (n = 1 706 731) ohne Leerfahrt	368,54 km	368,54 km	368,54 km
(8) Mittlere Direktentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	396,74 km	313,91 km	396,74 km
(9) Mittlere Netzwerkentfernung aller netzwerkfähigen Sdg. ohne Leerfahrt	421,05 km	347,77 km	421,05 km
(10) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrttaufwand im Direktverkehr ($d_L \cdot 0,104$) (n = 1 706 731)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)	65 415 649 km (38,33 km/Sdg.)
(11) Kostenseitig zus. bewerteter Leerfahrttaufwand Netzwerkverkehr (entspr. Szenario 4) (n = 444 168)	6 611 460 km (30 km/Sdg.)	6 662 520 km (15 km/Sdg.)	3 305 730 km (15 km/Sdg.)
(12) Leerfahrttaufwand aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr	9.093 076 km	14.500.592 km	9.093.076 km
(13) Gesamtaufwand im Direktverkehr	694 412 275 km	694 412 275 km	694 412 275 km
(14) Gesamtaufwand im Netzwerkverkehr	697 289 246 km	701 617 620 km	693 983 516 km
(15) Mehraufwand im Netzwerkverkehr inkl. Leerfahrt	2 876 971 km	7 205 345 km	-428 759 km
(16) Gesamtkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg. im Direktverkehr (n = 1 706 731)	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €	923.847.967,97 €
(17) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Direktverkehr (n = 444 168)	127.290.677 €	209.184.297,68 €	127.290.678 €
(18) Gesamtkosten aller netzwerkfähigen Sdg. im Netzwerkverkehr (n = 444 168)	119.009.597 €	199.177.847,39 €	115.579.882 €
(19) Kostenergebnis innerhalb der Netzwerkproduktion, gesamt ($C_{Dir} - C_{Netz}$)	8.281.081 €	10.006.450,30 €	11.710.796 €
(20) Mittlerer Kostenvorteil je netzwerkfähiger Sdg. (n = 444 168)	37,58 €	22,53 €	53,14 €
(21) Mittlere Direktkosten aller untersuchungsrelevanten Sdg.	541,41 €	541,41 €	541,41 €
(22) Mittlere Direktkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	577,59 €	470,96 €	577,59 €
(23) Mittlere Netzwerkkosten aller netzwerkfähigen Sdg.	540,02 €	448,43 €	524,45 €

Quelle: Eigene Darstellung

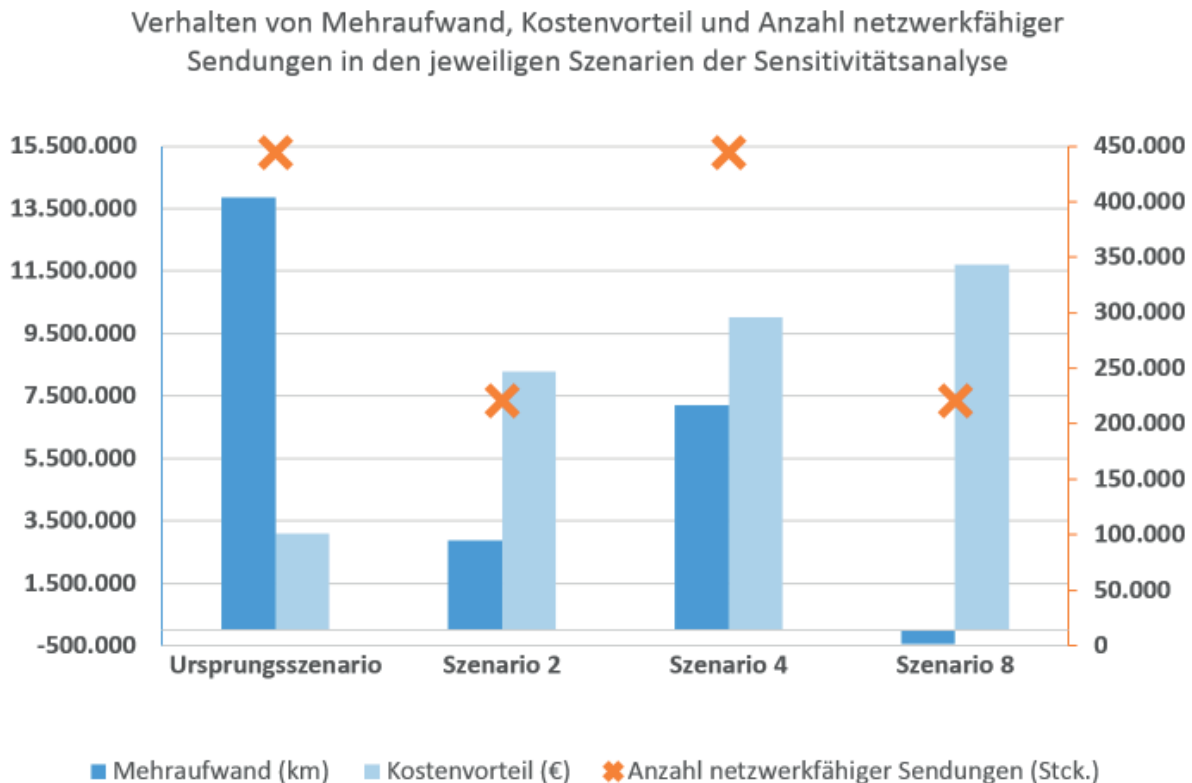


Abbildung 66: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich

Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unter Betrachtung aller technischen und wirtschaftlichen Einflussgrößen und Rahmenbedingungen der an dieser Stelle **nachweisbare ökonomische Vorteil** der Netzwerkproduktion bei entsprechender **Einhaltung zielführender Randbedingungen ca. 5 % der Produktionskosten** aller netzwerkfähigen Sendungen im Vergleich zu deren Produktionskosten im klassischen Verfahren beträgt.

Innerhalb der Modellrechnung konnten dabei voraussichtlich zu erwartende Fixkosten für Infrastruktur und Netzwerkadministration nicht berücksichtigt werden. Da keinerlei Rückschluss auf Fahrzeugumläufe o. Ä. innerhalb des Direktverkehrs möglich war, konnten ebenfalls keine, die Kostensituation des Direktverkehrs negativ beeinflussenden Merkmale wie Standzeiten, Schwierigkeiten bei Zeitfenstereinhaltung usw. berücksichtigt werden, sodass an dieser Stelle bis auf den in der Literatur quantifizierten Leerfahrtanteil von einer optimalen Auslastung der eingesetzten Ressourcen ausgegangen werden musste. Insofern ist der an dieser Stelle überblicksweise quantifizierte ökonomische Vorteil als grundsätzlicher Nachweis der Wirksamkeit der Netzwerkidee zu verstehen, in seiner konkreten Ausprägung jedoch ausdrücklich als erste „Indikation“ zu betrachten.

Die Potentiale der Netzwerkproduktion aus ökonomischer Sicht konnten durch die theoretische Kostenvergleichsanalyse nachgewiesen werden. Aus diesem Grund gilt es, bei der Entwicklung und Implementierung von Netzwerkverkehren stets die Netzwerkkonfiguration und die praktizierten Verkehrsverfahren danach auszurichten, einerseits eine möglichst hohe Anzahl netzwerkfähiger Sendungen zu generieren und dazu den Mehraufwand für Umwege und Leerfahrten zu minimieren, da diese in höchstem Maße die Produktionskosten im Netzwerk im Vergleich zur klassischen Produktion beeinflussen.

5.3. Exkurs zur ökologischen Bewertung

Im Rahmen der folgenden Betrachtung werden die ökologischen Auswirkungen der Netzwerkproduktion anhand der Ergebnisse der theoretischen Potentialanalyse, insbesondere anhand deren bereits quantifizierter Leistungsmerkmale kurz beleuchtet. Herausgearbeitet werden soll dabei vordergründig, inwieweit die Produktion von Komplettladungsverkehren in Netzwerken die allgemeine Produktion von klimarelevantem Kohlendioxid (CO_2) und anderer Treibhausgase (THG), insbesondere Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O), im Vergleich zum klassischen Produktionsverfahren beeinflusst. Zur Ermittlung der jeweiligen Mengen der genannten klimarelevanten Gase werden die von KRANKE, SCHMIED und SCHÖN ausführlich vorgestellten Berechnungswege verwendet, welche folgend kurz zur Einführung dargestellt werden (vgl. Kranke et al. (2011), S. 62-69).

Grundformel zur Berechnung der CO_2 – Emissionen:

EM_{CO_2}	= Kohlenstoffdioxid-Emissionen in kg
EM_{CO_2}	= $F_{\text{CO}_2} * EV$
F_{CO_2}	= CO_2 -Umrechnungsfaktor in kg CO_2 je Liter Diesel
EV	= Energieverbrauch in Liter Diesel

KRANKE, SCHMIED und SCHÖN unterscheiden dabei zwischen der Betrachtung der reinen CO_2 -Emission bei der Verbrennung von Diesel (sog. Tank-to-Wheel) und der zusätzlichen Berücksichtigung der Emissionen während der Energieproduktion (sog. Well-to-Wheel). Der Aufschlag für die gesamte Kraftstoffproduktion von Kfz-Diesel beträgt demnach in Deutschland und Europa ca. 11 %. Aus diesem Grund können folgende Umrechnungsfaktoren differenziert werden:

$F_{\text{CO}_2(\text{TTW})}$	= CO_2 -Umrechnungsfaktor in kg CO_2 je Liter Diesel, Tank-to-Wheel = 2,65
$F_{\text{CO}_2(\text{WTW})}$	= CO_2 -Umrechnungsfaktor in kg CO_2 je Liter Diesel, Well-to-Wheel = 2,95

Berücksichtigt man nun zusätzlich die o. g. Treibhausgase Methan und Distickstoffoxid, so ergeben sich nach KRANKE, SCHMIED und SCHÖN, entsprechend der erneuten Differenzierung nach „Tank-to-Wheel“ – und „Well-to-Wheel“ – Betrachtung, folgende Umrechnungsfaktoren:

$F_{\text{THG(TTW)}}$ = THG-Umr.faktor in kg CO₂e (CO₂-Äquivalent) je Liter Diesel,
Tank-to-Wheel
= 2,68

$F_{\text{THG(WTW)}}$ = THG-Umr.faktor in kg CO₂e (CO₂-Äquivalent) je Liter Diesel,
Well-to-Wheel
= 3,01

Den Energieverbrauch des Transportes ermitteln und standardisieren die Autoren anhand des sog. unteren Heizwertes des Energieträgers in der Einheit Megajoule (MJ), deren Umrechnungsfaktoren abermals in den „Tank-to-Wheel“ – Energieverbrauch und den „Well-to-Wheel“ – Energieverbrauch differenziert werden. Somit sind für die Umrechnung des Energieverbrauches folgende Faktoren verfügbar:

$F_{\text{MJ(TTW)}}$ = Umrechnungsfaktor Dieserverbrauch in Megajoule,
Tank-to-Wheel
= 35,9 MJ/l

$F_{\text{MJ(WTW)}}$ = Umrechnungsfaktor Dieserverbrauch in Megajoule,
Well-to-Wheel
= 41,1 MJ/l

Anhand der Energieverbräuche können nun alle klimarelevanten Kennzahlen ermittelt werden. Zur Ermittlung der Energieverbräuche in beiden Untersuchungsszenarien (Direktverkehr und Netzwerkverkehr, MD01b 290, 80) werden folgende Leistungsdaten herangezogen:

Kraftstoffverbrauch = 0,33 l/km (siehe Abschnitt 2.3.2., Seite 61)

Gesamtdistanz
im Direktverkehr = 628 996 626 km (n = 1 706 731)

Zus. Leerfahrt gesamt
im Direktverkehr = 65 415 649 km (n = 1 706 731)

Gesamtdistanz Umweg
im Netzwerk = 15 043 417 km (n = 444 168)

Leerfahrt gesamt
im Netzwerk = 6 662 520 km (n = 444 168)

Das bedeutet, die Gesamtdistanz aller untersuchungsrelevanten Datensätze beträgt inkl. Leerfahrtanteil innerhalb der klassischen Produktionsform, dem Direktverkehr, im zugrundeliegenden Untersuchungsszenario **694 412 275 km**.

Bei der Überführung der 444 168 netzwerkfähigen Sendungen in die Netzwerkproduktion fallen netzwerkbedingt Umwegaufwendungen i. H. v. 15 043 417 km an. Dafür reduzieren sich im Rahmen der Netzwerkproduktion die 14 500 592 im Direktverkehr anfallenden Leerkilometer auf 6 662 520 angenommene Leerkilometer im Best-Case-Szenario der vorangegangenen Sensitivitätsanalyse. Das bedeutet, insgesamt ist unter Berücksichtigung der Überführung aller netzwerkfähigen Sendungen in die Netzwerkproduktion dem Gesamtdatensatz ein Streckenaufwand von insgesamt **701 617 620 km** zu konstatieren. Somit verursachen 444 168 netzwerkfähige Sendungen bei deren Produktion im Netzwerk insgesamt 7 205 345 km Mehraufwand, im Mittel 16,2 km je Sendung. Dem Vorschlag von KRANKE, SCHMIED und SCHÖN zur Darstellung von Emissionen und Verbräuchen folgend, können somit nun die klimarelevanten Emissionen und Energieverbräuche beider Produktionsformen gegenübergestellt werden (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Klimarelevante Emissionen in beiden Untersuchungsszenarien bei n = 1 706 731

	Energie (TTW) in MJ	Energie (WTW) in MJ	CO ₂ (TTW) in t CO ₂	CO ₂ (WTW) in t CO ₂	THG (TTW) in t CO _{2e}	THG (WTW) in t CO _{2e}
Direktverkehr	8,227 Mrd.	9,418 Mrd.	607 264	676 010	614 138	689 760
Netzwerkverkehr	8,312 Mrd.	9,516 Mrd.	613 565	683 025	620 511	696 917
Differenz	0,085 Mrd.	0,098 Mrd.	6 307 (+1,04 %)	7 014 (+1,04 %)	6 372 (+1,04 %)	7 157 (+1,04 %)

Quelle: Eigene Darstellung

Der resultierende Mehrverbrauch von 2,38 Mio. Liter Diesel, bedingt durch den streckenbezogenen Mehraufwand innerhalb der Netzwerkproduktion, erhöht die Emissionen der klimarelevanten Treibhausgase um 1,04 % im Vergleich zur THG-Produktion im Direktverkehrsszenario, basierend auf der Betrachtung aller untersuchungsrelevanten Sendungen. Vergleicht man die THG-Produktion der netzwerkfähigen Sendungen isoliert, so ist ein Anstieg um 4,68 % zu konstatieren (siehe Tabelle 30)

Tabelle 30: Klimarelevante Emissionen in beiden Untersuchungsszenarien bei n = 444 168

	Energie (TTW) in MJ	Energie (WTW) in MJ	CO ₂ (TTW) in t CO ₂	CO ₂ (WTW) in t CO ₂	THG (TTW) in t CO _{2e}	THG (WTW) in t CO _{2e}
Direktverkehr	1,824 Mrd.	2,088 Mrd.	134 611	149 850	136 135	152 898
Netzwerkverkehr	1,909 Mrd.	2,185 Mrd.	140 908	156 860	142 504	160 051
Differenz	0,085 Mrd.	0,098 Mrd.	6 298 (+4,68 %)	7 011 (+4,68 %)	6 369 (+4,68 %)	7 153 (+4,68 %)

Quelle: Eigene Darstellung

Dem während der Produktion der Ladungsverkehre im Netzwerk zu verzeichnenden Anstieg an klimarelevanten Treibhausgasen ist letztendlich gegenüberzustellen, dass mit Hilfe der Netzwerkproduktion und der damit möglichen Verdopplung der Produktivität der einzelnen Fahrzeugressourcen eine signifikante Verkleinerung des Gesamtfuhrparks erreicht werden kann. Die sich hieraus ergebenden Potentiale zur Reduktion von THG-Emissionen im Bereich der Nutzfahrzeugindustrie können jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

5.4. Zusammenfassung der Potentialanalyse

Anhand eines umfangreichen Testdatensatzes und einer experimentellen Netzwerkkonfiguration konnte im zurückliegenden Kapitel das Potential des entwickelten Lösungsansatzes untersucht werden. 1 706 371 Sendungsdaten, die an insgesamt 68 Untersuchungstagen in höchst volatiler Anzahl zur Verfügung standen und damit das Verhalten des realen Frachtaufkommens sehr gut, wenn auch in entsprechendem Maßstab, abzubilden vermochten, wurden dabei zunächst auf die Eigenschaft der „Netzwerkfähigkeit“ in den unterschiedlichen Prüf Szenarien unter Anwendung der unterschiedlichen Matching-Verfahren untersucht.

Im Ergebnis konnte einerseits nachgewiesen werden, dass mit Hilfe der Verknüpfungsverfahren von nicht direkt paarigen Überhängen, unter Inanspruchnahme entsprechend limitierter Umwege, die Anzahl an netzwerkfähigen Sendungen gegenüber bisher ansatzweise praktizierten Verfahren im direkt paarigen Begegnungsverkehr zu steigern ist. Je nach Perspektive ergaben die Best-Case-Szenarien MD01b und MD02b Ergebnissteigerungen von 124 % bzw. 133 % (verglichen mit MB01a – „klassischer Begegnungsverkehr mit Mindestdepotabstand“) und 10 % bzw. 14 % (verglichen mit MB01b – „klassischer Begegnungsverkehr inkl. paarigen Depotverkehren“).

Ferner konnte den Prüf Szenarien MD01b und MD02b eine entsprechend höhere Grundlast des Netzwerkes an allen Untersuchungstagen attestiert werden, die wiederum für die Anwendung in der Praxis eine unvermeidliche Notwendigkeit darstellt.

Da im Hinblick auf die spätere Praxisrelevanz das Prüf Szenario MD01b als vermeintlich robuster und einfacher zu implementieren gilt, wurden die Ergebnisse dieses Szenarios einer ökonomischen Potentialanalyse unterzogen. Dafür wurde zunächst die Kostenrechnung der Ressourcen entsprechend des veränderten Einsatzkonzeptes angepasst und die Kostenkennzahlen erneut quantifiziert.

Im Rahmen des auf Einzelsendungsebene durchgeführten Kostenvergleichs wurde deutlich, dass einerseits die Mehraufwendungen zur Überwindung von Umwegdistanzen im Netzwerk, aber auch die Aufwendungen für Leerfahrtdistanzen im Vor- und Nachlauf, den Kostenvergleich teils massiv beeinflussen. Innerhalb der angewandten Netzwerkkonfiguration verursachten die netzwerkfähigen Sendungen im Netzwerkverkehr knapp 11 % streckenbezogenen Mehraufwand. Trotz dessen konnte letztendlich unter der Annahme eines auf

15 km/Sendung reduzierten Leerfahrtaufwands ein ökonomischer Vorteil von 4,78 % bzw. 10 Mio. € gegenüber der klassischen Produktionsform und deren Kostenmodell ermittelt werden.

Eine abschließende Analyse der ökologischen Netzwerkeffekte in Form der Quantifizierung der in den jeweiligen Produktionsszenarien emittierten Mengen an Treibhausgasen ergab um 4,7 % erhöhte Emissionsmengen. Die für eine aussagekräftige Bilanz notwendige Quantifizierung der Vorteile der Netzwerkproduktion im Hinblick auf klimarelevante Emissionen, wie bspw. die mögliche Verringerung des Gesamtfuhrparks, konnte jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht abschließend geklärt werden.

6. Erste praktische Implementierungsversuche

Auf Basis der bisher vorgestellten Forschungsarbeit, die weitestgehend darin bestand, den theoretischen Nachweis der Wirksamkeit des Ansatzes zu erbringen und den entsprechenden Vorteil bei Anwendung des neuen Produktionsverfahrens zu quantifizieren, gilt es folgend, erste Untersuchungen zur praktischen Anwendbarkeit und zur Übertragung des Ansatzes in die tägliche expeditionelle Praxis anzustellen.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Forschungsergebnisse basieren auf den zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit bisher unveröffentlichten Ergebnissen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms „Qualifizierung von Ingenieurnachwuchs an Fachhochschulen, IngenieurNachwuchs – Kooperative Promotionen im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen“ mit 430.000,- € geförderten Forschungsprojektes „iLAN - Intelligentes Ladungsnetzwerk/ Entwicklung und Erprobung produktivitäts- und effizienzsteigernder Lösungen zur intelligenten Vernetzung nationaler Ladungsverkehre“ mit dem Förderkennzeichen 03FH013I3. Das Forschungsprojekt wurde für den Zeitraum vom 01.07.2013 – 30.06.2017 bewilligt.

6.1. Einführung

Neben der Weiterentwicklung des „klassischen Begegnungsverkehrs“ als Lösungsansatz cb2 (siehe Tabelle 8, Seite 135) der Untersuchungen zu Handlungsoptionen zur Maximierung der Auslastung des Ressourceneinsatzes im Komplettladungsverkehr im Abschnitt 3.3. der vorliegenden Arbeit, konnte ebenfalls die Option der „unternehmensübergreifenden horizontalen Kooperation“ der frachtführenden Unternehmen als Lösungsansatz ab2 (siehe ebenda) und als zielführende Handlungsoption empfohlen werden.

Um nun die entwickelten Produktionsverfahren zur Steigerung der Produktivität im Komplettladungsverkehr auf deren Praxisrelevanz und Implementierfähigkeit testen zu können, werden folgend beide Handlungsoptionen zielführend miteinander verknüpft. Das Forschungsprojekt iLAN wurde deshalb gemeinsam mit der E.L.V.I.S. AG, Alzenau, der derzeit größten horizontalen Unternehmenskooperation im Ladungsverkehr in Deutschland (vgl. Abschnitt 3.3.1.) gestartet.

Die E.L.V.I.S. AG empfahl sich an dieser Stelle vor allem vor dem Hintergrund als idealer Partner im Forschungsprojekt, da die Mitgliedsbetriebe der

Gründungssparte „Full Load Network“ vordergründig im entsprechenden Untersuchungsraum (Komplettladungssegment) operativ tätig sind und als Voraussetzung zur Mitgliedschaft im Verbund ein eigener Fuhrpark von mindestens 40 Fahrzeugen zum Einsatz gebracht werden muss. Weiter sind bei einer Anzahl von ca. 35 Mitgliedsbetrieben mit ca. 6 000 Fahrzeugen innerhalb der benannten Sparte (vgl. E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft (2016c)) die Voraussetzungen für die zu entwickelnde Netzwerkkonfiguration vergleichsweise komfortabel. Die durch die Kooperationsebene bereits vorhandene zentrale Kommunikation in den Mitgliedsunternehmen vereinfacht zudem das Projektmanagement, vergleicht man dies mit dem Versuch, einzelne, übergeordnet nicht miteinander kooperierende Unternehmen in entsprechend hoher Anzahl in ein solches Projekt zu integrieren. Die während der Startphase der Projektarbeit installierte konsortiale Partnerstruktur ist Tabelle 31 zu entnehmen. Insgesamt beteiligten sich am Forschungsprojekt und den folgend vorgestellten Untersuchungen 17 frachtführende Unternehmen.

Tabelle 31: Projektkonsortium „iLAN“

Name Unternehmen/Institution	Funktion im Projekt	Rolle im Konsortium
Fachhochschule Erfurt	Forschungseinrichtung	Projektleitung, Lenkungsreis
E.L.V.I.S. AG, Alzenau	Kooperationsleitung	Projektkoordination, Lenkungsreis
Schwarz Gruppe, Herbrechtingen	Frachtführer	Lenkungsreis
L.I.T. AG, Brake	Frachtführer	Lenkungsreis
Eikona AG, Volkach	IT-Entwickler	Lenkungsreis
Alfred Schuon GmbH, Haiterbach	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Bermel Spedition & Logistik GmbH, Ebernahn	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
BTK Befrachtungs- und Transportkontor GmbH, Rosenheim	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Edgar Rothermel Internationale Spedition GmbH, Östringen	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
ELSEN Holding GmbH, Wittlich	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Fritz Gruppe, Heilbronn	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Gödecke Eurotrans GmbH, Lübeck	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Gübau Logistics GmbH, Wolfsburg	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Güttler Logistik GmbH, Hof	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Karl Schnug Kraftwagenspedition GmbH, Solingen	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Maintrans Internationale Spedition GmbH, Alzenau / Erfurt	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Martin Berghegger GmbH & Co. KG, Bramsche	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Spedition Wüst GmbH & Co. KG, Weißenburg	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
Walter Massong KG Spedition und Güterfernverkehr, Paderborn	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner
ZT Transportlogistik- u. Speditionsgesellschaft mbH, Gornau	Frachtführer	Assoziierter Projektpartner

Quelle: Eigene Darstellung

Die räumliche Verortung der Betriebs- und Niederlassungsstandorte der (fracht-führenden) Projektteilnehmer sowie der bereits in anderen Ladungssegmenten als HUB fungierende Depotstandort der E.L.V.I.S. Teilladungs GmbH in Homberg (Efze), charakterisieren die der Untersuchung zugrundeliegende Netzwerkkonfiguration. Unter Einbezug zusätzlicher Niederlassungsstandorte der Unternehmen BTK, Gübau und ELSEN ergeben sich formal 22 Netzknoten, wobei zwei Projektpartner an nahezu identischen Koordinaten jeweils eine Niederlassung betreiben, die wiederum zu einem Netzknoten zusammengefasst werden.

Die folgende Auswertung basiert also auf einer Netzwerkkonfiguration aus 22 real existierenden Depotstandorten. Diese sind in Abbildung 67 noch einmal grafisch dargestellt.

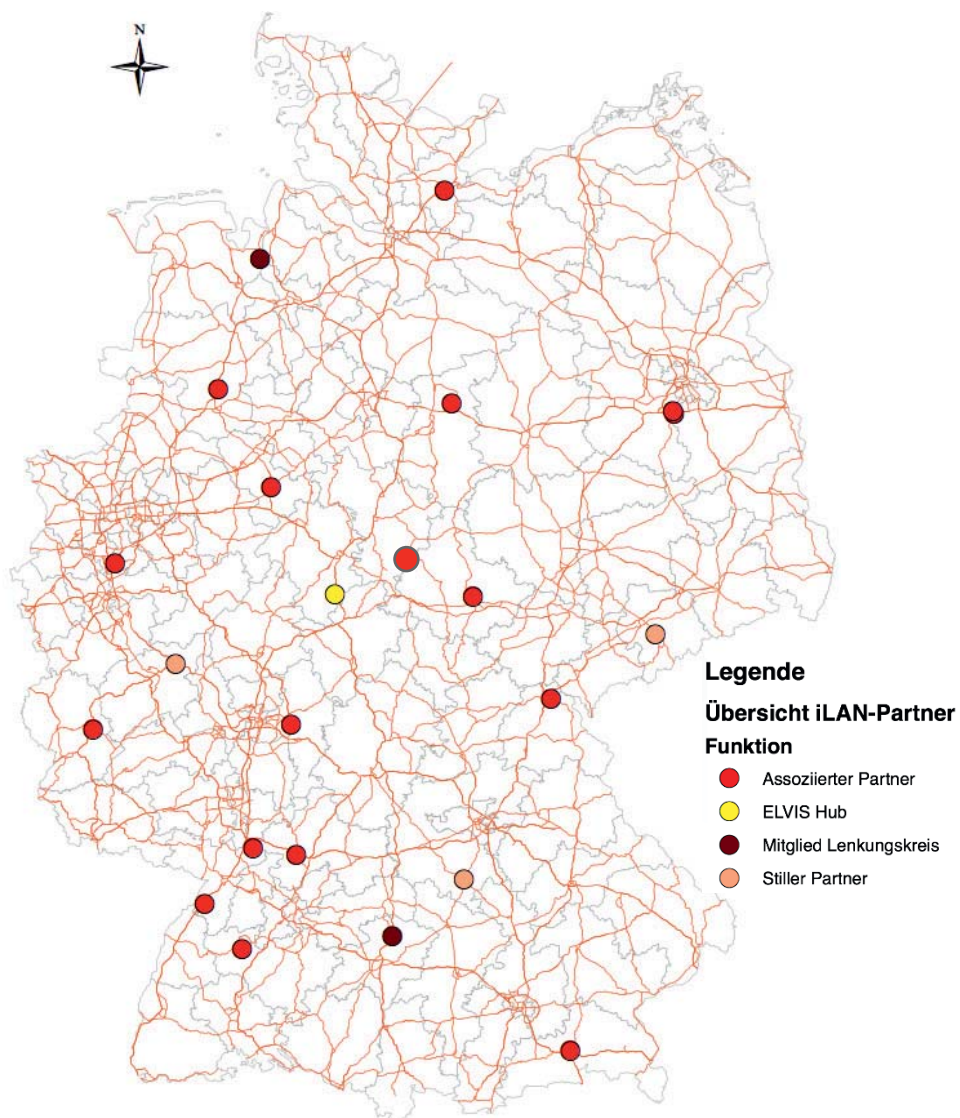


Abbildung 67: Übersicht der Depotstandorte im Projekt „iLAN“

Quelle: Eigene Darstellung

Innerhalb der entstandenen Netzwerkkonfiguration können im Depotverkehr mit maximal zugelassenem Depotabstand von 250 km mit insgesamt 52 Verbindungen der Depots 120 Beziehungen hergestellt werden. Bei einem maximal zugelassenen Depotabstand von 290 km stellen 76 Verbindungen insgesamt 171 Beziehungen her. Im depotungebundenen Begegnungsverkehrsszenario ist eine Differenzierung zwischen Verbindungen und Beziehungen nicht gegeben. Hier werden insgesamt 178 ($d_{\max} = 500$ km) und 204 ($d_{\max} = 580$ km) Beziehungen im Netzwerk hergestellt. Geht man von 462 gerichteten Depotverbindungen aus, die zwischen den 22 vorhandenen Depots ohne Distanzeinschränkungen möglich sind, so sind aufgrund der räumlichen Verteilung der Depots nur 26 %-44 % der möglichen Relationen bedienbar. Im Rahmen der Projektarbeit waren alle frachtführenden Projektpartner aufgerufen, ALLE Sendungsdaten, die an den jeweiligen Standorten im Zeitraum vom 01.06.2013 – 30.11.2013 bearbeitet wurden, dem Projekt zur Verfügung zu stellen. Diese wurden dann dem in Abschnitt 4.4. eingehend erläuterten Auswertungsprozess erneut unterzogen. Insgesamt stehen der Untersuchung **166 019** untersuchungsrelevante¹⁴² Datensätze zur Verfügung, die sich relativ gleichmäßig auf insgesamt 121 Auswertungstage verteilen. Vernachlässigt man die beiden in den Untersuchungszeitraum fallenden (regionalen) Feiertage, so stehen täglich zwischen 1 100 und 1 500 Sendungen zur Untersuchung auf Netzwerkfähigkeit zur Verfügung. Im Vergleich zur vorangegangenen theoretischen Potentialanalyse ist das Gesamtaufkommen verfügbarer Sendungen nur minimalen Schwankungen unterworfen, was eine entsprechend gleichmäßige Auslastung des Fuhrparks im Zeitverlauf in allen teilnehmenden Unternehmen vermuten lässt.

¹⁴² Auf eine detaillierte Darstellung des ersten Untersuchungsschrittes, der Prüfung der Datensätze auf Untersuchungsrelevanz, wird an dieser Stelle verzichtet. Alle Sendungen, die mindestens eine der folgenden Eigenschaften besaßen oder über eine Tour-Nummer o. Ä. zu einer „Ladung“ kombiniert werden konnten, wurden vereinfacht als untersuchungsrelevant identifiziert. Notwendige Eigenschaften der Sendung waren dabei:

- ≥ 10 000kg und
- ≥ 10,4 Ldm oder
- ≥ 26 EUR oder
- ≥ 26 Stellplätze.

Da zum Zeitpunkt der Analyse noch kein standardmäßiges Netzwerk-Equipment seitens der Projektpartner benannt war, wurden im Hinblick auf das substituierbare Equipment alle Sendungen für weitere Untersuchungsschritte zugelassen, die kein Sonderequipment wie Mitnahmestapler, offene Fahrzeuge und Krane oder aber bspw. eine Temperaturführung während des Transports benötigten.

6.2. Auswertungsergebnisse

Nachdem der Testdatensatz und die Netzwerkkonfiguration bereits einleitend beschrieben sind und darauf aufbauend die untersuchungsrelevante Teilmenge des Gesamtdatensatzes bereits ermittelt wurde, folgt an dieser Stelle nun die Darstellung der Prüfungsergebnisse im Hinblick auf die **Netzwerkrelevanz** (unabhängige restriktive Faktoren). Entsprechend der Prüfprozedur (siehe Abschnitt 4.4.) müssen netzwerkrelevante Sendungen jeweils von einem Aus- und einem Eingangsdepot bearbeitbar sein, wobei beide Depots nicht identisch sein dürfen. Weiter muss ein, dem Verkehrsverfahren entsprechender Netzwerkpfad innerhalb der Netzwerkkonfiguration existieren. Abbildung 68 zeigt die räumliche Verortung und Verteilung der Quellen und Senken der untersuchungsrelevanten Datensätze des praktischen Versuchs.

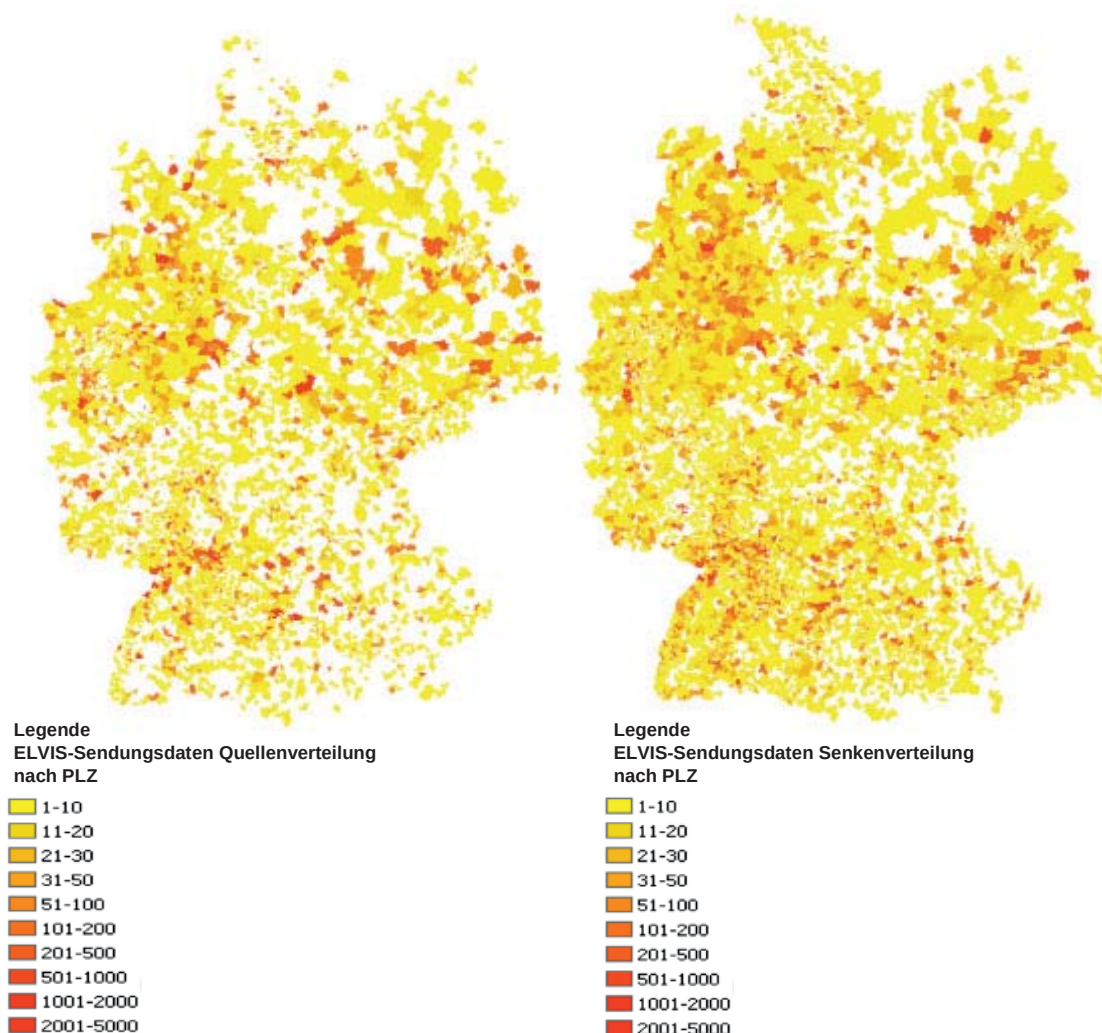


Abbildung 68: Räumliche Verteilung der Quell-Postleitzahlen (links) und Ziel-Postleitzahlen (rechts) des untersuchungsrelevanten Datensatzes ($n = 166\,019$)

Quelle: Eigene Darstellung

Dabei wird deutlich, dass trotz der konkreten räumlichen Zuordnung der einzelnen Projektteilnehmer eine kaum deutliche räumliche Konzentration von Abhol- bzw. Zustellvorgängen zu identifizieren ist. Ohne an dieser Stelle einzelne Sendungen den bearbeitenden Unternehmen zuzuordnen wird deutlich, dass offenbar alle frachtführenden Projektteilnehmer deutschlandweit aktiv sind. Im Hinblick auf die angestrebte Netzwerkproduktion und die im Rahmen der Projektarbeit bisher realisierte Netzwerkkonfiguration ergeben sich aus diesem Umstand folgende Schwierigkeiten.

Im Gegensatz zur theoretischen Potentialanalyse, der eine flächendeckende Bedienggebiete-Konfiguration unterstellt werden konnte, existieren im sog. Real-Netz dieses Versuches bisher 22 Depotstandorte. Zwar ist, wie bereits in Abschnitt 4.2. erläutert, die Netzwerkproduktion von Komplettladungsverkehren aus technischer Sicht nicht dem Zwang eines flächendeckenden Angebots unterworfen, bzgl. der 166 019 der Auswertung zur Verfügung stehenden Datensätze ergeben sich daraus jedoch Konsequenzen. Abbildung 69 (Seite 278) zeigt den Flächendeckungsgrad der 22 Bedienggebiete mit einem seitens der Projektpartner akzeptierten Radius (r) von 60 km um den Depotstandort¹⁴³.

¹⁴³ Alle fünfstelligen PLZ-Gebiete, deren Referenzmittelpunkt über eine Straßenentfernung von max. 60 km ab der Depotadresse erreichbar sind, bilden insgesamt das Bedienggebiet.

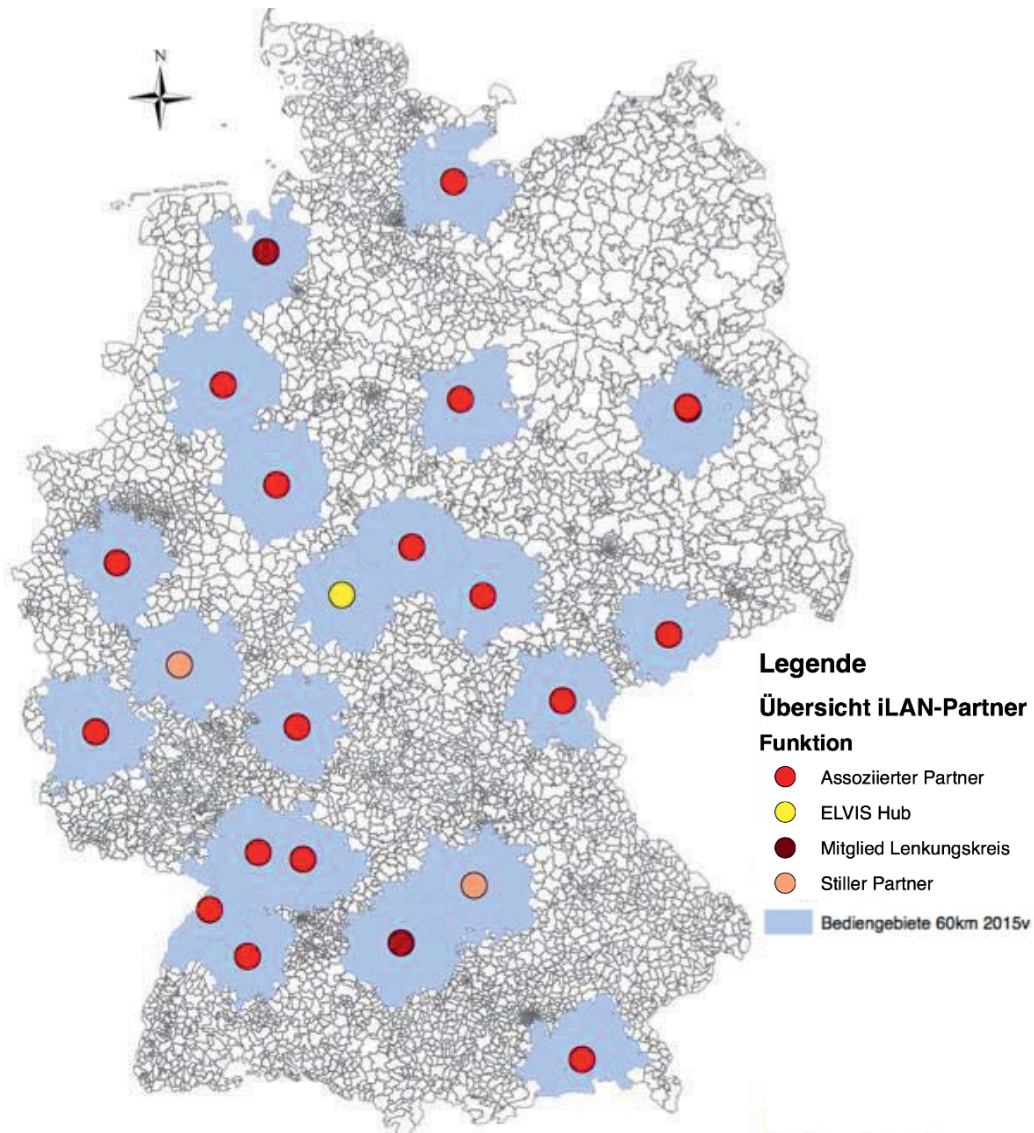


Abbildung 69: Bediengebiete der Projektpartner mit $r = 60$ km

Quelle: Eigene Darstellung

Somit müssen alle Sendungen, deren Quelle und/oder Ziel nicht in einem der dargestellten Bediengebiete verortet sind, von weiteren Untersuchungsschritten ausgeschlossen werden, was zu folgenden, in Tabelle 32 dargestellten Ergebnissen führt.

Tabelle 32: Übersicht der innerhalb verfügbarer Bediengebiete bearbeitbarer Sendungen

Anzahl Sendungen mit...	Anzahl absolut	% von $n = 166\,019$
...erreichbarem Ausg.-Depot	93 075	56,1 %
...erreichbarem Eing.-Depot	82 099	49,5 %
...erreichbarem Ausg.- und Eing.- Depot	49 483	29,8 %
Nahverkehr (Ausg.Depot = Eing.-Depot)	16 072	9,6 %

Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der durch die Netzwerkkonfiguration bestimmten Bediengebiete können bereits 116 536 Sendungen des Testdatensatzes nicht in eine Netzwerkproduktion überführt werden, da Quelle und/oder Senke außerhalb der zur Abholung und Zustellung durch die Netzwerkpartner erschlossenen Gebiete liegen bzw. mit 9,6 % als Nahverkehr von der Untersuchung ausgeschlossen sind. Entsprechend verbleiben für weitere Untersuchungsschritte mit insgesamt 33 411 Sendungen nur 20,1 % des untersuchungsrelevanten Gesamtdatensatzes.

Betrachtet man nun die Möglichkeiten, die Sendungen innerhalb der Netzwerkkonfiguration entsprechend der Verkehrsverfahren und den damit einhergehenden Restriktionen ($d_{\max}$ und $u_{\max}$) bearbeiten zu können, so ergeben sich für die entsprechenden Klassen der zugelassenen Depotentfernungen die in Tabelle 33 dargestellte Anzahl der Datensätze, für die unter der Prämisse von erneut maximal einem zugelassenen Wechsel eine Route im Netzwerk gefunden wird.

Tabelle 33: Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und eingehaltenem Maximalumweg

Maximale Depotentfernung $d_{\max}$	Anzahl Sendungen mit Netzwerkpfad und $u_{\max} = 80$ km (% von $n = 166\,019$)
Begegnungsverkehr ohne Depotzwang 500 km	17 419 (10,5 %)
Begegnungsverkehr ohne Depotzwang 580 km	19 364 (11,7 %)
Depotverkehr 250 km	11 119 (6,7 %)
Depotverkehr 290 km	14 571 (8,8 %)

Quelle: Eigene Darstellung

Aufbauend auf nur 20,1 % der untersuchungsrelevanten Sendungen, die innerhalb der Bediengebietsstruktur abgeholt und zugestellt werden können, besitzen letztendlich nur 11,7 % der untersuchungsrelevanten Sendungen zudem einen zugelassenen Netzwerkpfad im Begegnungsverkehrsszenario mit max. 580 km Depotabstand und nur 8,8 % im Depotverkehrsszenario mit max. 290 km Depotabstand.

Die im Vergleich zur theoretischen Potentialanalyse hier bereits deutlich hinter den Ergebnissen der Begegnungsverkehrsszenarien zurückbleibenden Ergebnisse der Depotverkehrsszenarien liefern an dieser Stelle bereits den ersten Hinweis darauf, dass die Netzwerkkonfiguration eine in nicht hinreichender

Dichte verortete Anzahl an Netzknoten besitzt, um die Vorteile des Depotverkehrsverfahrens entsprechend wirksam werden zu lassen.

Dazu zeigt die in Abbildung 70 dargestellte Häufigkeitsverteilung der Auftragsentfernungen aller Sendungen eine ebenfalls bzgl. der angestrebten Netzwerkproduktion ungünstige Beschaffenheit des Gesamtdatensatzes. Im Vergleich zu den im Rahmen der theoretischen Potentialanalyse verfügbaren Sendungsdaten besitzen im hier verfügbaren Gesamtdatensatz bereits knapp 40 % aller Sendungen eine Direktentfernung von nicht mehr als nur 200 km. Nur gut 37 % aller Sendungen hingegen weisen eine Direktstanz von mehr als 350 km auf.

Auffällig ist zudem die hohe Anzahl an Sendungen, die aufgrund identischer Quell- und Zielpostleitzahlen eine Direktstanz von 0 km erzeugen. In der Praxis sind diese Datensätze meist Platzhalter der Disponenten für betriebsinterne Umfuhren o. Ä.

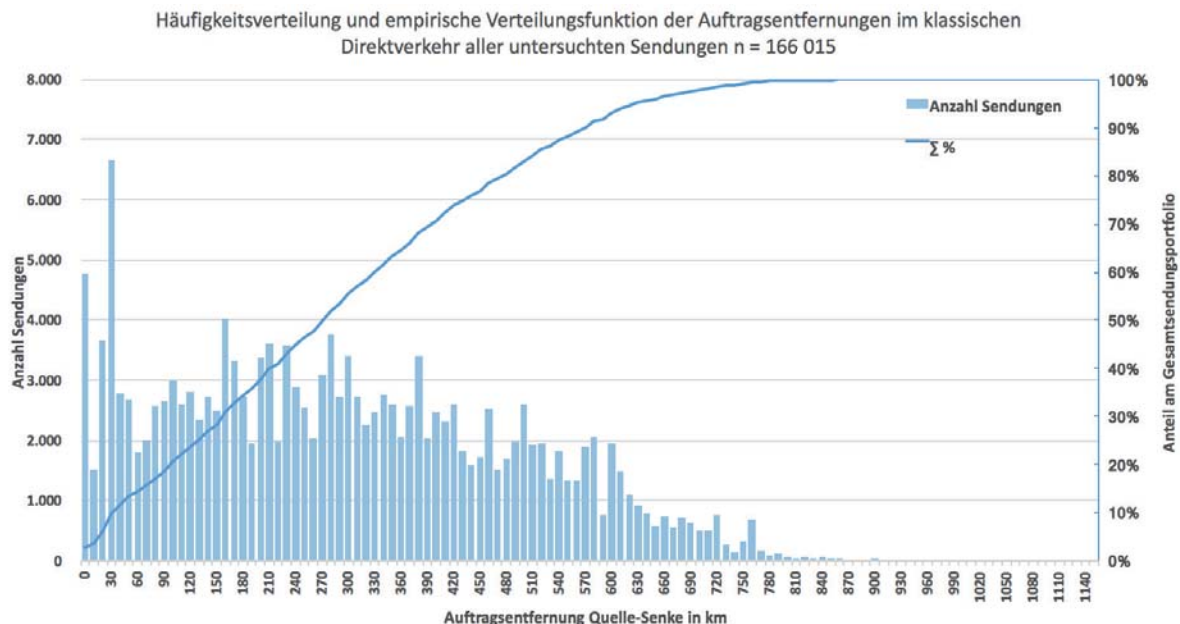


Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Auftragsentfernungen

Quelle: Eigene Darstellung

Infolgedessen liegt die Vermutung nahe, dass die Überführung dieser Sendungen in die angedachte Netzwerkproduktion entsprechend hohe Umwegaufwendungen impliziert. Abbildung 71 (Seite 281) stellt die Häufigkeitsverteilungen der erzeugten Umwege im jeweiligen Verkehrsverfahren in der jeweils höheren Depotentfernungsklasse dar.

6.2. Auswertungsergebnisse

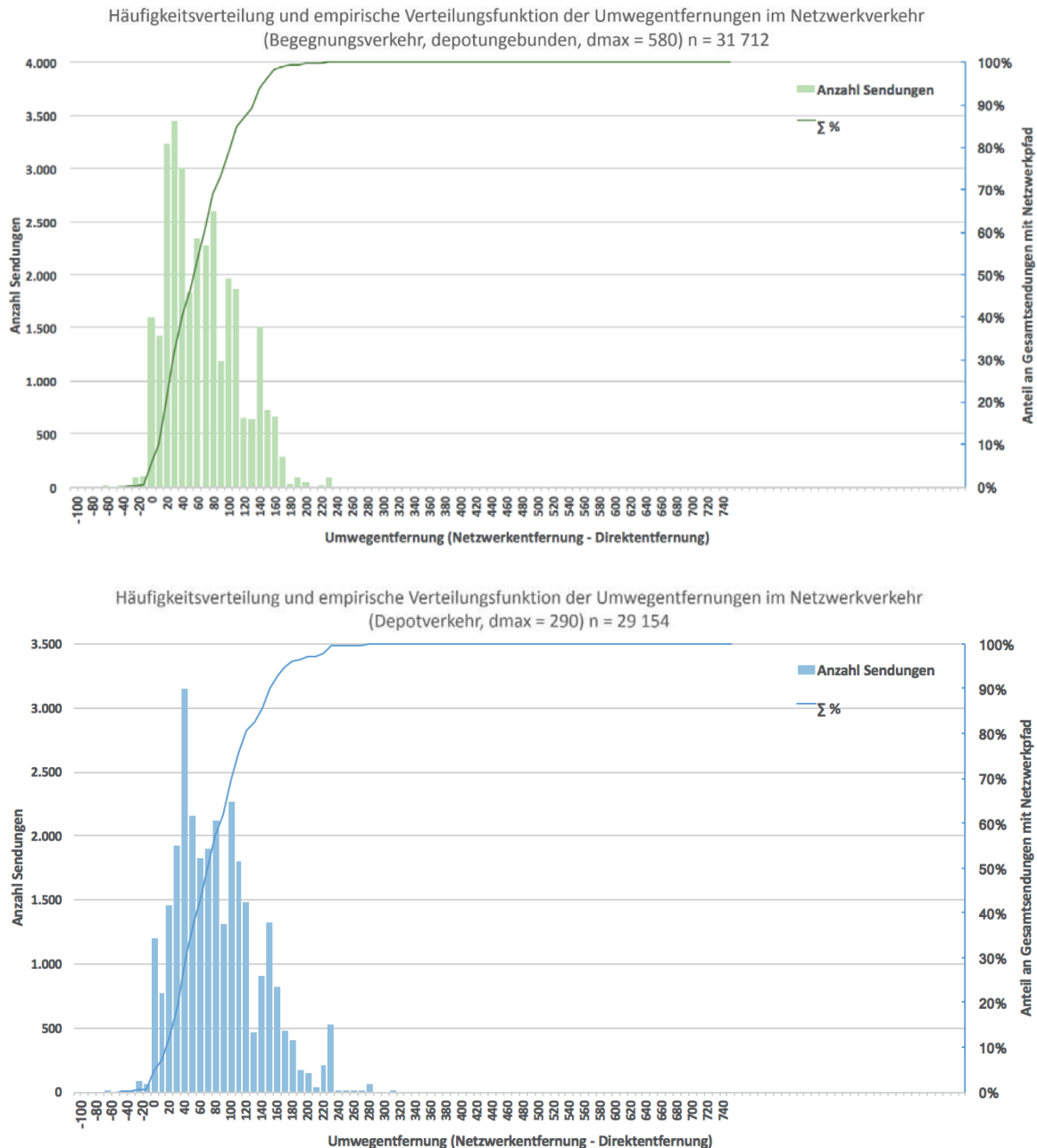


Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion der Umwegentfernungen im Begegnungsverkehrsszenario (oben) und im Depotverkehrsszenario (unten)

Quelle: Eigene Darstellung

Sehr deutlich erkennbar ist dabei, dass der überwiegende Anteil der erzeugten Umwege (ausgehend von 31 712 bzw. 29 154 Sendungen, für die im Begegnungsverkehr bzw. im Depotverkehr mit $d_{\max} = 580$ km bzw. 290 km ein Depotpfad erzeugt werden konnte) in beiden Szenarien mit weniger als 70 km im Begegnungsverkehrsszenario und gar 80 km im Depotverkehrsszenario weit höher ausfällt, als innerhalb der theoretischen Potentialanalyse und deren

Depotstruktur. Betrachtet man hier nur die Menge an Sendungen mit weniger als 80 km Umweg, so ist zu konstatieren, dass nur 60 % der insgesamt auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau liegenden „netzwerkrelevanten“ Sendungen im Depotverkehr und 67 % dieser Sendungsmenge im Begegnungsverkehr weniger als 40 km Umweg verursachen.

Der verbleibenden Untersuchung stehen nun in den jeweiligen Prüfszenarien **11 119 – 19 364** als **netzwerkrelevant identifizierte Sendungen zur Verfügung** (siehe Tabelle 33, Seite 279).

Abschließend werden dem bereits ausführlich beschriebenen Prozess zur Identifikation netzwerkfähiger Sendungen alle netzwerkrelevanten Sendungen zu Hauptlaufverkehren zwischen den jeweiligen Aus- und Eingangsdepots verdichtet und diese dann innerhalb der unterschiedlichen Verfahren auf Netzwerkfähigkeit hin geprüft. Die insgesamt 16 entwickelten Prüfszenarien wurden auf den Seiten 217-220 zusammenfassend erläutert und kommen auch innerhalb des praktischen Versuches zur Anwendung.

Folgend ist auch an dieser Stelle noch einmal darauf hinzuweisen, dass sich der Autor der vorliegenden Arbeit auch an dieser Stelle der Forschungsarbeit von Dipl.-Math. Bernd Nieberding bedient, der die entsprechenden Auswertungsverfahren und Algorithmen im Rahmen der gemeinsamen Projektarbeit umsetzte. Für eingehende Informationen zur Entwicklung der Matching-Algorithmen mit Hilfe der Graphentheorie sei erneut auf den wissenschaftlichen Beitrag Apfelstädt et al. (2016) hingewiesen.

Tabelle 34 (Seite 283) zeigt die Ergebnisse der Analyse in allen Prüfszenarien, erneut zunächst subsummiert für den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei werden auch an dieser Stelle sowohl die Anzahl der netzwerkrelevanten als auch die Anzahl der netzwerkfähigen Sendungen gezeigt und abschließend der Anteil netzwerkfähiger Sendungen an der Gesamtheit der netzwerkrelevanten Sendungen dargestellt.

Tabelle 34: Ergebnisse der Teiluntersuchung „Netzwerkfähigkeit“

Matchingverfahren, $d_{\max}, u_{\max}$	Netzwerkrelevante Sendungen	Netzwerkfähige Sendungen (Matchings)	Anteil Matchings
MB01a, 500, 80	17 419	1 962	11,26 %
MB01a, 580, 80	19 364	1 742	9,00 %
MB01b, 500, 80	17 419	4 896	28,11 %
MB01b, 580, 80	19 364	5 208	26,90 %
MB02a, 250, 80	11 199	588	5,25 %
MB02a, 290, 80	14 574	954	6,55 %
MB02b, 250, 80	11 199	3 522	31,45 %
MB02b, 290, 80	14 574	4 440	30,47 %
MD01a, 250, 80	11 199	588	5,25 %
MD01a, 290, 80	14 574	954	6,55 %
MD01b, 250, 80	11 199	4 152	37,07 %
MD01b, 290, 80	14 574	5 081	34,86 %
MD02a, 250, 80	11 199	588	5,25 %
MD02a, 290, 80	14 574	954	6,55 %
MD02b, 250, 80	11 199	4 206	37,56 %
MD02b, 290, 80	14 574	5 158	35,39 %

Quelle: Eigene Darstellung

Letztendlich bestätigen die Analyseergebnisse die sich bereits anhand der Datensatzstruktur und der Netzwerkkonfiguration angedeutete Situation. Im quantitativen Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Prüf Szenarien erzeugen die Verfahren MB01b in ihren jeweiligen Entfernungsklassen die besten Ergebnisse. Zwar lässt der innerhalb der theoretischen Potentialanalyse angestellte Vergleich der Verfahren MB01a (als Referenz der heute bereits praktizierten Verfahren) mit dem im Vergleich zu MD02b weniger komplexen Depotverkehrsverfahren MD01b ebenfalls eine absolute Steigerung matchbarer Sendungen erkennen, jedoch fallen diese schlechter aus, als im Best-Case der Untersuchung (MD01b).

Somit kann im vorliegenden Untersuchungsfall die These der „Maximierung netzwerkfähiger Sendungen durch Auflösung des Zwangs direkter Paarigkeiten durch dynamische (Überhang-)Verknüpfung nicht bestätigt werden. Insgesamt konnten aufgrund der mangelnden Abhol- und Zustellmöglichkeiten für einen überwiegenden Teil des Gesamtportfolios an Sendungen und des nicht hinreichend engmaschig geknüpften Netzwerkes lediglich 3,14 % der verfügbaren Sendungen als „netzwerkfähig“ identifiziert werden. Im Vergleich dazu konnte im Rahmen der theoretischen Potentialanalyse im Best-Case bis zu 27,1 % aller untersuchungsrelevanten Sendungen die Netzwerkfähigkeit beschieden werden.

Im relativen Vergleich der Ergebnisse beider Untersuchungen trägt die mangelnde Flächendeckung der Bedienggebiete im Zusammenhang mit dennoch äußerst „flächig“ verteilten Quellen und Senken des Testdatensatzes einen großen Anteil am negativen Ergebnis. Jedoch ist anhand des relativen Vergleichs der jeweils netzwerkfähigen Sendungen zu den jeweils netzwerkrelevanten Sendungen ebenfalls erkennbar, dass sich die Netzwerkstruktur, also die Anzahl und räumliche Verortung der Depots im Hinblick auf mögliche Netzwerkpfade und deren Umwege im Vergleich zum Netzwerk der theoretischen Potentialanalyse nicht optimal verhält. Abbildung 72 fasst die relevanten Ergebnisse noch einmal zusammen.

Verfahren	d_{max}	u_{max}	Matchings
Begegnungsverkehr (MB01a)	500 km	80 km	1 962
	580 km	80 km	1 742
Begegnungsverkehr (MB01b)	500 km	80 km	4 896
	580 km	80 km	5 208
			
Depotverkehr (MD01b)	250 km	80 km	4 152
	290 km	80 km	5 081

Abbildung 72: Vergleich relevanter Ergebnisse

Quelle: Eigene Darstellung

Wiederum der niedrigen Anzahl an insgesamt netzwerkfähigen Sendungen folgend ist eine Grundlast des Netzwerkes im vorliegenden Untersuchungsfall kaum messbar. So konnte im Prüfszenario MD01a bei 580 km maximaler Depotentfernung lediglich *eine* Relation identifiziert werden, bei der an wenigstens 80 % der Auswertungstage Sendungsmatchings existieren. Dabei können insgesamt 508 Sendungen als netzwerkfähig identifiziert werden. Alle weiteren Relationen, über die ebenfalls netzwerkfähige Sendungen abgewickelt werden könnten, verhalten sich im Zeitverlauf wesentlich weniger „stabil“.

Selbst innerhalb des Best-Case-Prüfszenarios MB01b existieren lediglich drei Relationen, an denen an mindestens 80 % der Untersuchungstage insgesamt 1 500 netzwerkfähige Sendungen zu identifizieren sind (siehe dazu auch Abbildung 73, Seite 285).

6.2. Auswertungsergebnisse



Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilfunktion von Depotbeziehungen mit netzwerkfähigen Sendungen an allen Untersuchungstagen, MB01b (580, 80)

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Anzahl an netzwerkfähigen Sendungen und der hohen Instabilität wiederkehrender Abwicklungsmöglichkeiten wird auf eine ökonomische Analyse der Ergebnisse verzichtet.

6.3. Zusammenfassung der Projektergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes iLAN wurde untersucht, inwieweit die entwickelten Ansätze zur strukturierten Produktion von Ladungsverkehren innerhalb einer bestehenden horizontalen Unternehmenskooperation ohne strukturelle Veränderung implementierbar sind. Dabei wurde auf bestehende Strukturen bei der Gestaltung eines Depotnetzwerkes gesetzt und ein bereits vorhandenes Sendungsportfolio ohne Einschränkungen auf dessen Überführbarkeit in eine aus den Kooperationsgegebenheiten abgeleitete Netzwerkproduktion geprüft. Somit wurden erstmals die in Abschnitt 3 herausgearbeiteten Handlungsalternativen ab2 und cb2 (siehe Seite 135) zielführend miteinander verknüpft.

Die Ergebnisse der Untersuchung blieben dabei jedoch hinter den Erwartungen und den Erkenntnissen aus der theoretischen Potentialanalyse zurück. Es konnte auf Basis der Netzwerkstruktur ein nur sehr geringer Teil des Gesamt-sendungsportfolios, aufgrund mangelnder Flächendeckung der zur Verfügung stehenden Bediengebiete, als netzwerkfähig identifiziert werden. 80 % des Gesamtdatensatzes stehen aufgrund deren Lage von Quelle und/oder Senke außerhalb der 22 Bediengebiete der weiteren Auswertung nicht mehr zur Verfügung. Ferner entfallen weitere gut 10 % des Gesamtdatensatzes aufgrund eines nicht verfügbaren Depotpfades innerhalb der Netzwerkstruktur.

Somit verbleiben je nach Verkehrsverfahren und gewählter Parameter lediglich 6,7 % - 11,7 % (11 119 – 19 364) des Gesamtdatensatzes zur Untersuchung auf Netzwerkfähigkeit. Bei insgesamt 130 Auswertungstagen und 22 Depots ist die Anzahl wiederkehrend identifizierter Matchings ebenfalls sehr gering. Zudem muss konstatiert werden, dass aufgrund der Netzwerkstruktur und der lediglich 171 von 462 herstellbaren Depotbeziehungen (bei $d_{\max} = 290$ km) die Vorteile des Depotverkehrs und dessen Möglichkeiten zur Überhangverknüpfung im vorliegenden Prüfzenario nicht nachgewiesen werden konnten.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der theoretischen Potentialanalyse muss empfohlen werden, das Netzwerk auszubauen. 17 Partnerbetriebe mit 22 Depots sind den Ergebnissen zufolge nicht in der Lage, den Mehrwert der Netzwerkproduktion im Ladungsverkehr in hinreichendem Maße zu generieren. Zudem muss empfohlen werden, die räumliche Verortung von Depotstandorten zu optimieren. Abbildung 67 (Seite 274) zeigt einen deutlichen Mangel an Depotstandorten im Osten des Untersuchungsraumes bei gleichzeitiger Häufung von Depotstandorten im Süd-Westen. Dies führt einerseits dazu, dass die wenigen im Osten verorteten Depotstandorte entsprechend schlecht an das

Netz angebunden sind, also nur mit wenigen anderen Depots Beziehungen eingehen können. Zum anderen entfallen bei „gleichmäßiger“ Verteilung der Quellen und Senken auf den gesamten Untersuchungsraum die bereits besprochene hohe Anzahl nicht abhol- bzw. zustellbarer Sendungen.

In einem weiterführenden Versuch mit demselben Sendungsportfolio, jedoch einer aus einem anderen Ladungssegment adaptierten Netzwerkstruktur mit insgesamt 71 real existierenden Depotstandorten der Kooperation konnte eine Verdopplung der netzwerkfähigen Sendungen in den einzelnen Prüfszenarien ebenso nachgewiesen werden, wie ein Vorteil der Depotverkehrsverfahren und deren Methode zur Überhangverknüpfung.

Aus diesem Grund ist zu empfehlen, in weiterführenden Forschungsarbeiten die optimale Anzahl und Lage von Depotstandorten in Abhängigkeit der erzeugten Umwege in einem festgelegten Untersuchungsraum zu bestimmen.

Im Rahmen der Projektarbeit konnte mit Hilfe der Partnerunternehmen zudem innerhalb eines Feldversuches die Wirksamkeit des Systems insgesamt und die notwendige Reaktionsgeschwindigkeit, selbst bei Umsetzung innerhalb der Laborumgebung, nachgewiesen werden.

Alle sich am Feldversuch beteiligenden Unternehmen übermittelten während der Durchführung des Feldversuches täglich bis max. 12 Uhr alle relevanten Sendungen, die bis zu diesem Zeitpunkt bekannt waren und noch am gleichen Tag zur Verladung kommen sollten. Das Projektteam der Forschungseinrichtung verarbeitete diese Daten unmittelbar im Nachgang und gab die Ergebnisse spätestens 1,5 Stunden nach Eingang des letzten Datensatzes an die Teilnehmer zurück, sodass als netzwerkfähig identifizierte Sendungen seitens der Disposition noch rechtzeitig hätten verarbeitet werden können.

Die während des Feldversuchs erzeugten Matching-Ergebnisse sind in Anhang 2 grafisch aufbereitet einzusehen.

7. Fazit und Ausblick

7.1. Fazit

Die vorliegende Arbeit erbringt einen quantifizierten Beleg der ursprünglichen These, dass durch eine sequentielle Mehrfachbesatzung eine signifikante Steigerung der zeitlichen Auslastung von im Lkw-Ladungsverkehr eingesetzten Fahrzeugen erreicht werden kann.

Aufbauend auf den erarbeiteten Erkenntnissen einer umfangreichen Problemanalyse und der Entwicklung und Bewertung verschiedener Handlungsstrategien zur Maximierung der Auslastung von im Ladungsverkehr eingesetzten Ressourcen, konnte zunächst grundsätzlich nachgewiesen werden, dass die Produktion von Ladungsverkehren innerhalb unternehmensübergreifender Kooperation in einem entsprechend gesteuerten Transportnetzwerk die Möglichkeit bietet, vor allem die zeitliche Auslastung der Produktionsmittel signifikant zu verbessern - unter günstigen Umständen gar zu verdoppeln.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit ermöglichen es dabei erstmals auch kleinen und mittelständischen Ladungsverkehrsanbietern, die bisher unüberwindbar scheinende Fahrer-Fahrzeug-Bindung zu lösen und somit die Einsatzzeit des Fahrzeuges von der möglichen Arbeitszeit eines Fahrers zu entkoppeln, unabhängig von den räumlichen Merkmalen des einzelnen Transportauftrages. Ausgehend von bereits bekannten Planungsproblemen in Stückgutnetzwerken konnte ein Güterverkehrsnetz für Komplettladungsverkehre konzeptioniert und entsprechend notwendige taktische und operative Planungsgegenstände beschrieben werden. Zur Steuerung eben dieses Komplettladungsnetzwerkes wurden zudem verschiedene Verkehrsverfahren konzeptioniert und deren Funktionsfähigkeit und ökonomischer Einfluss anhand verschiedener Testszenarien untersucht.

Die der Arbeit weiter zugrundeliegende Hypothese, die Anzahl netzwerkfähiger Sendungen durch eine neu konzipierte Produktionsform für den Ladungsverkehr in Form variabler Begegnungs- oder Depotverkehre, die eine bisher praktizierte „direkte Paarigkeit“ im klassischen Begegnungsverkehr auflöst, signifikant zu erhöhen, konnte dabei ebenfalls bewiesen werden. Die mit der verbesserten zeitlichen Auslastung der Ressourcen einhergehenden ökonomischen Vorteile konnten ferner erstmals quantifiziert und weitere Netzwerkeffekte beginnend beleuchtet werden. Das Ziel der Arbeit, eine unternehmensübergreifende Produktionsform für den mittelständisch geprägten Ladungsverkehrs-

anbieter zu entwickeln und deren Vorteile anhand quantitativer Analysen theoretisch nachzuweisen, wurde somit erreicht und speziell die Forschungsfragen 1 und 2 hinreichend beantwortet.

Ferner konnten durch eine ausgedehnte Sensitivitätsanalyse bereits erste Optimierungsstrategien differenziert und deren Einfluss auf das Gesamtsystem quantifiziert werden. So wirkt sich zwar die Einflussnahme auf das zur Verfügung stehende Sendungsportfolio im Sinne einer gezielten Auswahl an Sendungen, die entsprechend beschriebenen Merkmale bzgl. der Transportdistanz oder/und eines bereits quantifizierten monetären Produktionsvorteils besitzen, massiv auf das Kostenvergleichsergebnis beider Produktionsformen und den jeweiligen Mehraufwand im Netzwerkverkehr (Umwege) aus. Jedoch verringert eine solche Einflussnahme die absolute Anzahl als netzwerkfähig identifizierter Sendungen, sodass sich die Stabilität des Gesamtnetzwerkes verringert. Somit muss in der Praxis Konsens zwischen dem Ziel der Maximierung netzwerkfähiger Sendungen und der Maximierung des (monetären) Netzwerkergebnisses erzeugt werden.

Im Hinblick auf die Prüfung der Praktikabilität und Übertragbarkeit des konzeptionellen Ansatzes in der Praxis (Forschungsfrage 3) konnte im Rahmen der Arbeit zwar zunächst kein positiver Nachweis zur Wirksamkeit der zuvor auf theoretischer Ebene gewonnenen Erkenntnisse erbracht werden, jedoch konnten notwendige Faktoren zur erfolgreichen Implementierung der Ansätze erarbeitet werden, auch wenn diese im verfügbaren Untersuchungsszenario nicht erfüllt waren. Dabei konnte u. a. aufgrund der zu niedrigen Anzahl an Praxispartnern, die sich am Forschungsprojekt beteiligten, nur eine Netzwerkkonfiguration installiert werden, die vor allem für die angestrebten Depotverkehrsverfahren keine hinreichend gute Lösung darstellte. Letztendlich hängt der Erfolg einer Übertragung der entwickelten Ansätze in die Praxis von der Kooperationsbereitschaft der adressierten Unternehmen untereinander und der Bereitschaft zur Anwendung neuer Strategien zur Bearbeitung etablierter Marktsegmente jedes einzelnen Unternehmens ab.

Aus den Erkenntnissen der Bearbeitung der dritten Forschungsfrage ergeben sich weitere, über die vorliegende Arbeit und deren eigene Zielstellung hinausgehende Forschungsbedarfe, die folgend dargestellt werden.

7.2. Weitere Forschungsbedarfe

7.2.1. Forschungsbedarfe zur Verbesserung der vorliegenden Ergebnisse

Optimale Netzwerkkonfiguration

Weiterführende Forschungsarbeiten sollten sich zunächst darauf konzentrieren, optimale Netzwerkkonfigurationen für bestimmte Untersuchungsräume und/oder Sendungsportfolios zu beschreiben. Dabei muss, basierend auf den bisherigen Erkenntnissen der Potentialanalyse, eine optimale Anzahl an Depotstandorten identifiziert werden, die wiederum für die Struktur eines abzubildenden Sendungsportfolios den Umwegaufwand innerhalb der Depotverkehrsverfahren minimiert. Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich darauf, die grundlegenden Verfahren zu entwickeln und einer ersten Bewertung zuzuführen.

Dafür wurden einerseits plausible, sich an anderen Bereichen der operativen Logistik orientierende Netzwerkkonfigurationen konzipiert oder aber vorgegebene Szenarien beteiligter Institutionen genutzt. Dabei konnten einzelne Anforderungen an die Netzwerkstruktur, abgeleitet aus charakteristischen Merkmalen des Sendungsportfolios nur rudimentär berücksichtigt werden. An dieser Stelle ergibt sich vor allem im Hinblick auf die Netzwerkökonomie ein entsprechendes Potential, durch minimierte Umwege einerseits die Anzahl netzwerkfähiger Sendungen zu maximieren und zudem deren Kostenvorteile entsprechend positiv zu beeinflussen.

Dynamische Bewirtschaftung von Bedienegebieten

Ein weiterer Forschungsbedarf ergibt sich ebenfalls im Themenfeld der Umwegeminimierung innerhalb der Netzwerkproduktion. Die bisherigen Untersuchungen ergaben, dass im Vergleich zum klassischen Direktverkehr innerhalb der Netzwerkproduktion Umwegaufwendungen einerseits innerhalb der Hauptlaufverkehre zwischen den Depots anfallen (Optimierungsbedarf bereits beschrieben), andererseits und zu noch größeren Anteilen im Rahmen der Vor- und Nachläufe. Hierbei ergeben sich nicht selten Situationen, bei denen Sendungen von der Quelle zunächst im schlimmsten Falle „gegen die Fracht“ zum Ausgangsdepot verbracht werden. Entsprechend umgekehrt existieren gleichermaßen negative Szenarien für die Verbringung der am Eingangsdepot angekommenen Trailer hin zur Senke.

Durch starr festgelegte Bedienegebiete kann es dabei zu Situationen kommen, bei denen die Netzwerkdistanz einer Sendung geringer ausfallen könnte, würde

diese Sendung vom benachbarten, aber bereits in Richtung des Transportverlaufes verorteten Depots abgeholt werden. Aus diesem Grund kann eine dynamische Zuordnung von Abhol- oder auch Zustellaufträgen auf Basis minimaler Netzwerkdistanzen zu einer Gesamtminimierung der streckenbezogenen Netzwerkaufwendungen führen und die ökonomischen und ökologischen Netzwerkeffekte wiederum positiv beeinflussen.

Mehrfachwechsel

Während im zurückliegend dargelegten Prüfprozess der Sendungsdaten auf Netzwerkfähigkeit stets maximal ein Wechsel, also maximal ein Einheitentausch erlaubt waren, müssen weitere Untersuchungen zeigen, ob und inwieweit ein erlaubter Mehrfachwechsel zwischen Ausgangs- und Eingangsdepot das Gesamtergebnis positiv beeinflussen kann. Dabei steht weniger die dadurch ermöglichte Abwicklung von Transporten über wesentlich weitere Distanzen im Vordergrund (Staffellaufprinzip), als vielmehr das Potential an neuen Verknüpfungsmöglichkeiten bei entsprechend geringerem Depotabstand (d_{max}) und dabei zusätzlich verfügbaren Wechseldepots, bei im Hinblick auf die Transportdistanz vergleichbaren Sendungen der aktuellen Untersuchung.

Entscheidend wird dabei sein, welchen Einfluss der erhöhte Zeitaufwand für den Einheitentausch (t_w) und am Depot (t_D) auf die Wirtschaftlichkeit der Abwicklungsmodelle ausübt. Ferner wird zu untersuchen sein, inwieweit der erhöhte administrative Aufwand zur Abstimmung bspw. der Abfahrzeiten die Praktikabilität infrage stellt bzw. der Mehrfachwechsel auf „kurzen“ Distanzen die Robustheit und Stabilität des Gesamtsystems bei Störungen beeinträchtigt. Ferner wird es im Rahmen von erlaubten Mehrfachwechseln mitunter notwendig sein, die exklusive Betrachtung des Sendungsportfolios einer Tagesscheibe dahingehend aufzulösen, als dass verfügbare Sendungen an benachbarten Tagen ebenfalls in die Auswertung einbezogen werden müssen, was wiederum den Rechenaufwand und die Komplexität des Auswerteverfahrens beeinflussen wird.

Kooperation von Kooperationen

Eine Möglichkeit, die Anzahl kooperierender Netzwerkpartner zu erhöhen, könnte eine „kooperationsübergreifende“ Kooperation verschiedener, am Markt etablierter, horizontal kooperierender Netzwerke sein. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung musste festgestellt werden, dass selbst die Zusammenarbeit mit der derzeit mitgliederstärksten Kooperation im Zielsegment der Ladungsverkehre keine hinreichende Unternehmensbeteiligung erreicht werden

konnte, um positive Netzwerkeffekte zu generieren. Aus diesem Grund muss an dieser Stelle die Zusammenarbeit der Kooperationen untereinander empfohlen werden, um abseits der heute die Kooperationsarbeit bestimmenden Themen wie dem „gemeinsamen Einkauf“ und dem „internen Ladungstausch“ (siehe Abschnitt 3.3.1.), einzelnen Mitgliedsunternehmen nachhaltige Kooperationsvorteile für deren Produktionsverfahren anzubieten. Möglichkeiten, Potentiale und Bereitschaft verschiedener etablierter Kooperationen zur Zusammenarbeit gilt es zukünftig zu untersuchen.

7.2.2. Abgeleitete Forschungsbedarfe

Business Cases

In Anlehnung an die Arbeit von FRIEDRICHSMEIER gilt es ferner, eine für den konzeptionierten Ansatz entsprechende Business-Architektur zu entwickeln und dabei innerhalb der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit involvierte Rollen einzelner Aufgabenträger, Schnittstellen sowie die jeweiligen Use-Cases zu erarbeiten. Darauf aufbauend müssen ebenfalls die hier stattfindenden Geschäftsprozesse bzw. die gesamte Prozesskette modelliert werden. Dabei kann auf eine Vielzahl an Ergebnissen o. g. Arbeit zurückgegriffen werden, die im Detail jedoch an die Bedarfe der Komplettladungsproduktion angepasst werden müssen (vgl. Friedrichsmeier (2013)). In weiterer Anlehnung an die Arbeit von TUMMEL muss für die hier konzeptionierte netzwerkbasierte Produktion von Komplettladungsverkehren auf Basis der zu entwickelnden Business-Architektur eine IT-Plattform erarbeitet werden, die den angestrebten Prozess entsprechend abbilden und unterstützen kann. Auch an dieser Stelle kann auf eine Vielzahl an Ergebnissen von TUMMEL zurückgegriffen werden, die im Detail jedoch ebenfalls an die Bedarfe der Komplettladungsproduktion anzupassen sind (vgl. Tummel (2015)).

Fahrzeugeinsatzplanung

In der vorliegenden Arbeit bisher unberücksichtigt blieb die Frage nach jeweils an den Depotstandorten verfügbaren Fahrzeugressourcen und deren optimale Einsatzplanung. Durch die Einführung der dynamischen Überhangverknüpfung, vor allem innerhalb der Depotverkehrsszenarien, ergeben sich notwendigerweise zu beantwortende Fragestellungen, die bisher nicht beleuchtet werden konnten. Kann eine netzwerkfähige Sendung im Rahmen des „einfachen Depotverkehrs-Verfahrens“ bearbeitet werden, stellt sich in Abhängigkeit aller verfügbaren netzwerkfähigen Sendungen die Frage, ob eine Ressource des

Depots A oder eine Ressource des Depots B letztendlich zum Transport eingesetzt werden soll. Hierbei kann der Ressourceneinsatz insgesamt im Hinblick auf den Gesamteinsatz des Netzwerkes oder aber im Hinblick auf die einzelnen Depots (Unternehmen) optimiert werden, wobei zusätzlich auf eine hinreichende Auslastung zu achten ist. Auch wenn die Forschungsfrage selbst an dieser Stelle abweichend zu formulieren ist, eignen sich u. a. die Forschungsarbeiten von WIEBERNEIT und BEDNARCZYK dazu, deren Modelle auf Anpassungs- bzw. Erweiterungsfähigkeit in Bezug auf die innerhalb dynamischer Komplettladungsverkehre auftreten Problemstellungen zu überprüfen.

7.3. Ausblick

Auch wenn die vorliegenden Forschungsergebnisse vor allem im Hinblick auf die Übertragung der theoretischen Ergebnisse in die Praxis bisweilen hinter den Erwartungen zurückbleiben, so wird nach Meinung des Verfassers mittel- bis langfristig auch im Komplettladungsverkehr eine systematisierte, netzwerk-basierte Abwicklung die heute höchst individuell praktizierten Verfahren ablösen. Einerseits ergibt sich die Notwendigkeit, heutige Prozesse abzulösen, allein vor dem Hintergrund des ausführlich diskutierten, zunehmenden Fahrer-mangels, der mit der Ablehnung langer Abwesenheitszeiten von zu Hause und Übernachtungen auf überfüllten Rastplätzen derer einhergeht, die überhaupt noch für diesen Beruf zu begeistern sind. Vor allem im innerdeutschen Verkehr, der nicht selten bis auf minimale Zeitfenster für Abholungen und Zustellungen innerhalb streng terminierter Supply-Chains geplanter Transporte beruht, können systematisierte Verkehre zudem zur Qualitätssicherung der gesamten Kette beitragen.

Der nachgewiesene monetäre Vorteil solcher Netzwerkverkehre kann darüber hinaus an dieser Stelle allenfalls als Indikator dienen, da innerhalb optimal konzeptionierter Netzwerke die Potentiale zur Reduktion der Transportkosten in höherem Maße zu erwarten sind.

Wie bereits erwähnt hängt der Erfolg solcher, die alteingeschwungenen Verfahren grundlegend verändernde Systeme jedoch in hohem Maße davon ab, inwieweit adressierte Unternehmen bereit sind, sich eben diesen Ideen anzuschließen und die Risiken, welche sich in der Startphase aller neuen Systeme ergeben, zu Gunsten des zu erwartenden Erfolges auch zu tragen. Besonders abhängig davon sind stets solche Systeme, die eine entsprechende Grundkonfiguration (ob nun wie im vorliegenden Fall eine Netzwerkkonfiguration mit hinreichender Anzahl an Depots oder aber wie aus Stückgutssystemen bekannt, eine kritische Sendungsmenge) benötigen, um die prognostizierten und theoretisch quantifizierten Ziele in der praktischen Umsetzung auch erreichen zu können.

Ferner unterstützt die systemgeführte Abwicklung von Ladungsverkehren auch mittel- bis langfristig die notwendige **Verlagerung von Straßengüterverkehren auf umweltfreundlichere Verkehrsträger wie den Schienengüterverkehr**. So werden im Rahmen der Netzwerkproduktion erstmals Sendungsaufkommen verschiedener Unternehmen in vorher definierten Gebieten gebündelt sichtbar.

Derartige Sendungsvolumen bzw. deren Anzahl und räumliche Verortung auf Einzelauftragsebene sind heute in keiner Statistik derart erfasst. Die innerhalb der Netzwerkproduktion bedienten Relationen werden im Laufe der Zeit entsprechende Kennzahlen und Wochen- bzw. Monatsganglinien über Mindestmengen im täglichen Gesamtaufkommen erkennen lassen, die sich dann wiederum mit entsprechend hoher Wahrscheinlichkeit auch für die Zukunft prognostizieren lassen. Daraus ergeben sich wiederum günstige Voraussetzungen zur Anmeldung und Kapazitätsbuchung und -planung bei KLV-Operateuren, selbst bei einem heute üblich teils hohem zeitlichen Anmeldevorlauf.

So kann der in Abschnitt 5 auf Netzwerkfähigkeit untersuchte Datensatz mit ca. 1,7 Mio. Einzelsendungen abschließend noch einmal auf die Mindestanzahl stets, also an allen Auswertungstagen verfügbarer Sendungen einzelner Depotrelationen überprüft werden. Die in die Auswertung einbezogenen Depotrelationen (-beziehungen) müssen dabei eine Mindestentfernung zwischen den jeweiligen Depots von $d_{min} = 300$ km besitzen, um kürzere, für den Schienengüter- bzw. den kombinierten Ladungsverkehr auf der Schiene unattraktive Verkehre unberücksichtigt zu lassen. Im Ergebnis stellt sich dar, dass zunächst von insgesamt 7 310 gerichteten Depotrelationen 4 848 Relationen die Anforderungen an den Mindestabstand erfüllen. Die dabei identifizierte Anzahl, über den gesamten Auswertungszeitraum hinweg, stets verfügbarer Sendungen ist in Tabelle 35 dargestellt.

Tabelle 35: Mindestanzahl wiederkehrender relationsbezogener Sendungen

Anzahl besetzter Relationen bei 100 % Stabilität (68 Auswertungstage)	Anzahl mindestens verfügbarer Sendungen	Anzahl besetzter Relationen bei 90 % Stabilität (62 Auswertungstage)	Anzahl mindestens verfügbarer Sendungen
22	1	570	1
1	2	13	2
		1	3

Quelle: Eigene Darstellung

Die Untersuchung identifizierte für die Relation Bremen – Nürnberg ein tägliches Aufkommen von mindestens drei Sendungen, deren dauerhafte Verlagerung auf die Schiene nun konkret vorangetrieben werden kann. Ferner ergaben sich eine Vielzahl weiterer Relationen (Nord-Süd-Verbindungen) mit täglich mindestens zwei verfügbaren Sendungen, die ebenfalls dauerhaft verlagerbar erscheinen. Abbildung 74 (Seite 296) stellt die räumliche Verortung der Ergebnisse bei 90 % Stabilität noch einmal grafisch dar.

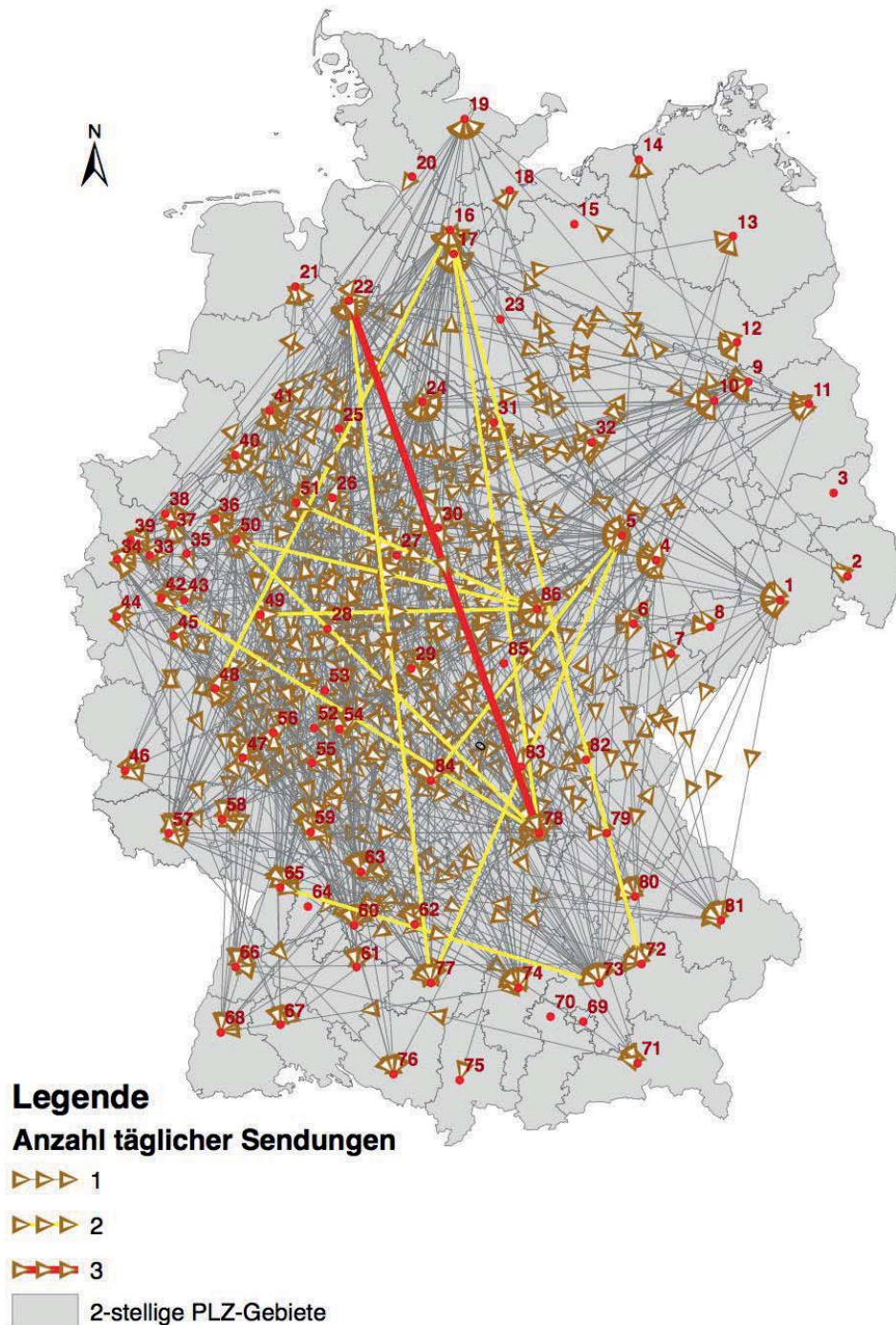


Abbildung 74: Räumliche Verortung des wiederkehrenden Sendungsaufkommens an 90 % der Auswertungstage

Quelle: Eigene Darstellung

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Neuorganisation des Lkw-Ladungsverkehrs in Netzwerken, im Vergleich zur aktuellen bedarfsorientierten Form der Produktion, aus einer Vielzahl an Perspektiven zur Umsetzung kurz bis mittelfristig empfohlen werden muss. Auch oder vor allem vor dem Hintergrund der aktuell geführten Diskussionen um die „Logistik 4.0“, im Rahmen dessen einige

Autoren im Zuge der erhofften Digitalisierung bereits heute das „Ende der Speditionen“ prognostizieren und gänzlich auf Digitalplattformen setzen (vgl. Maruhn (2016)). Ob bzw. wann sich die in Abschnitt 3.3. als Maßnahme *ab3* erläuterten übergeordneten zentralen Plattformen den dezentralen Disponenten eines Tages ersetzen und Systeme wie „UBER for Trucking“, „FR8 GURU“ oder „FLUTARO“ tatsächlich erfolgreich am Markt etablieren, bleibt vor allem vor dem Hintergrund der bislang fehlenden Erfahrungen mit solchen Systemen abzuwarten.

Bis dahin stellt der vorgestellte Ansatz eine wirksame Alternative dar, die Zusammenarbeit mittelständischer Unternehmen im Segment des Ladungsverkehrs voranzutreiben und dabei die durch die Neuorganisation der Verkehre entstandenen Synergien des Produktionssystems zu nutzen.



Literaturverzeichnis

- AB Volvo. (2016a). Fuelwatch - Kraftstoff sparen. Retrieved from http://www.volvotrucks.com/trucks/germany-market/de-de/Online_services/fuelwatch/Pages/Kraftstoff-sparen.aspx
- AB Volvo. (2016b). Ihr maßgeschneiderter Volvo FH. Retrieved from http://www.volvotrucks.com/trucks/germany-market/de-de/Documents/Trucks/broschueren/Volvo_Trucks_FH_Technische_Details_2014-08.pdf
- Aberle, G. (2009). *Transportwirtschaft einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen* (5., überarb. und erg. Aufl. ed.). München: Oldenbourg.
- ADAC e.V. (2016). Tanken im Ausland. Retrieved from <https://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/tanken-im-ausland/>
- Apfelstädt, A., Dashkovskiy, S., & Nieberding, B. (2016). Modeling, Optimization and Solving Strategies for Matching Problems in Cooperative Full Truckload Networks. *IFAC-PapersOnLine*(49.2), P. 18-23.
- Apfelstädt, A., & Gather, M. (2016). New Design of a Truck Load Network. In H. Kotzab, J. Pannek, & K.-D. Thoben (Eds.), *Dynamics in Logistics Proceedings of the 4th International Conference LDIC, 2014 Bremen, Germany* (1st ed.). Cham: Imprint: Springer.
- Bahrami, K. (2003). *Horizontale Transportlogistik-Kooperationen Synergiepotenzial für Hersteller kurzlebiger Konsumgüter* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Barwig, U., & Hartmann, H. (2013). *Kosten- und Leistungsrechnung in der Spedition, Grundlagen und praktische Anwendungen*. München: Oldenbourg.
- Bäumer, M., & Hautzinger, H. (2010). *Ermittlung von Standards für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Baumgärtel, H., Kunze, O., Rosemeier, S., & Neitmann, A. (2012). *Dynamic Truck Meeting (DTM): Ein Prozess- & Schnittstellenstandard zur Realisierung von dynamischen Begegnungsverkehren mit Hilfe von Dispositions- und Telematik-Systemen; Band 2: Schnittstellenstandard*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Becker, W., & Ulrich, P. (2013). *Geschäftsmodelle im Mittelstand*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Bednarczyk, T. (2012). *Linienverkehrsplanung für KEP-Dienste* (pp. Online-Ressource). Retrieved from <http://opus.unibw-hamburg.de/volltexte/2012/2989/>
- Berger Fahrzeugtechnik Ges.m.b.H. (2016). LTn – der Standard und leichteste Planensattelaufleger von BERGERecotrail. Retrieved from <http://www.berger-ecotrail.com/produkte/typen-und-daten.html>
- Bezold, J. (2014). Die Stückgutkooperationen, Ihre Sendungsbilanzen, Erwartungen und Ansätze in Richtung Nachhaltigkeit. Retrieved from http://download.eurotransport.de/downloads/Die_Stueckgutkooperationen.pdf

- BlauTanken.de. (2015). Onlineshop AdBlue für alle Hersteller.
Retrieved from www.blautanken.de
- Bock, S. (2004). *Echtzeitfähige Steuerung von Speditionsnetzwerken Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur effizienten Durchführung von Transporten*. (Zugl Paderborn, Univ , Habil -Schr , 2004), Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden.
- Bollig, S. (2013). Kaum Spielraum zum Überleben. *DVZ* (Nr. 31), S. 3.
- Bollig, S. (2014). Gemeinsam Großes Bewegen DVZ Marktübersicht Ladungsverkehrs-Kooperationen. *DVZ* (Nr. 78), S.12-13.
- Bollig, S. (2016a). Sozialdumping ist ein europäisches Thema. *DVZ* (Nr. 13), S. 2.
- Bollig, S. (2016b). Trübe Aussichten. *DVZ* (Nr. 19), S. 3.
- Bottler, S. (2015a). Per Klick zum Lkw. *Verkehrs Rundschau, Heft 41/2015*, S. 18-19.
- Bottler, S. (2015b). Serviceoffensive der Börsen. *Verkehrs Rundschau, Heft 41/2015*, S. 16.
- Bottler, S. (2015c). Volle Jumbos - aber wer fährt sie? *DVZ* (Nr. BJUM), S. 6.
- Brähler, H. (2013). Nutzfahrzeugtechnik Grundlagen, Systeme, Komponenten. In S. Breuer (Ed.), *ATZ-MTZ Fachbuch* (7., überarb. und erw. Aufl. ed., pp. XXVII, 620 S.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Brandenburg, H., Gutermuth, J., Oelfke, D., Oelfke, W., & Siegfried, W. (2010). *Güterverkehr - Spedition - Logistik Leistungserstellung in Spedition und Logistik* (39. Aufl. ed.). Troisdorf: Bildungsverl. Eins.
- Braun, H., & Kolb, G. (2012). *LKW ein Lehrbuch und Nachschlagewerk* (11. Aufl. ed.). Bonn: Kirschbaum.
- Bretzke, W.-R. (2014). *Nachhaltige Logistik zukunftsfähige Netzwerk- und Prozessmodelle* (3. Aufl. ed.). Berlin [u.a.]: Springer Vieweg.
- Bruhn, H., Perseke, J., & Vatterrodt, P. (2010). *Güterverkehr - Spedition - Logistik Kaufmännische Steuerung und Kontrolle* (3. Aufl. ed.). Troisdorf: Bildungsverlag Eins.
- Brungs, F. (2012). *Der Milkrun in der Produktionslogistik*. Aachen: Shaker Verlag GmbH.
- Buchholz, J., Clausen, U., & Vastag, A. (1998). *Handbuch der Verkehrslogistik*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Bundesagentur für Arbeit Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung. (2015). *Der Arbeitsmarkt in Deutschland - Fachkräfteengpassanalyse Dezember 2015*. Nürnberg.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2005). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Sonderbericht über die Auswirkung der streckenbezogenen Lkw-Maut*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2006). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Zwei Jahre EU-Osterweiterung - Auswirkungen auf das deutsche Güterverkehrsgewerbe*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2012). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Sonderbericht EU-Osterweiterung, Mögliche Auswirkungen der Kabotagefreiheit für Bulgarien und Rumänien zum 01. Januar 2012 auf den deutschen Güterkraftverkehrsmarkt*. Köln.

- Bundesamt für Güterverkehr. (2014). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Arbeitsbedingungen von Kraftfahrern - Ergebnisse einer internationalen Kraftfahrerbefragung*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2015). *Mautstatistik Jahrestabellen 2014*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2015a). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Jahresbericht 2014*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2015b). *Marktbeobachtung Güterverkehr, Auswertung der Arbeitsbedingungen in Güterverkehr und Logistik 2015-I, Fahrerberufe*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2016a). Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG). Retrieved from https://www.bag.bund.de/DE/Navigation/Rechtsvorschriften/Qualifikation-Weiterbildung/qualifikation-weiterbildung_node.html
- Bundesamt für Güterverkehr. (2016b). *Mautstatistik Jahrestabellen 2015*. Köln.
- Bundesamt für Güterverkehr. (2016c). "Road Package". Retrieved from https://www.bag.bund.de/DE/Navigation/Rechtsvorschriften/GueKG/road_package.html?nn=12994
- Bundesanstalt für Straßenwesen (bast). (2016). Feldversuch Lang-Lkw. Retrieved from <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v1-lang-lkw.html>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2014). *Verkehr in Zahlen 2014/2015*. Hamburg: DVV Media Group GmbH.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2014). *Verkehrswirtschaftliche Zahlen VWZ 2013+2014*. Frankfurt am Main: BGL, Kirschbaum.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015a). *Auswirkungen der Mindestlohngesetzgebung*. Frankfurt am Main: BGL.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015b). *Dieselpreis-Information (Großverbraucher) vom 20. November 2015*. Retrieved from <http://www.bgl-ev.de/images/downloads/dieselpreisinformation.pdf>
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015c). *Grenzüberschreitender Verkehr*. Retrieved from http://www.bgl-ev.de/web/medien/daten_und_fakten/grenzueberschreitender_verkehr.htm
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2015d). *Jahresbericht 2014/2015*. Frankfurt am Main: BGL.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2016). *Ausgewählte Schulungen*. Retrieved from http://www.bgl-ev.de/web/aus_und_weiterbildung/schulungen.htm
- Bußmann, S., & Seyda, S. (2014). *Fachkräfteengpässe in Unternehmen, Die Altersstruktur in Engpassberufen*. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln.
- Cardeneo, A. (2008). *Straßengüterverkehr, Speditionen, Logistik-Dienstleistungen*. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3., neu bearb. Aufl. ed., pp. XXXIV, 1 137 S.). Berlin: Springer.

- Coenenberg, A. G., Fischer, T. M., & Günther, T. (2012). *Kostenrechnung und Kostenanalyse* (8., überarb. Aufl. ed.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Cordes, M. (2011a). Das Blatt wendet sich. *Verkehrs Rundschau* (Heft 45/2011), S. 22.
- Cordes, M. (2011b). Was vom Aufschwung übrig bleibt. *Verkehrs Rundschau* (Heft 33-34/2011), S. 20.
- Cordes, M. (2013). Die wahren Kosten. *Verkehrs Rundschau* (Heft 41/2013), S. 18.
- Cordes, M. (2015a). 2015: Ein rundum gutes Jahr? *Verkehrs Rundschau* (Heft 20/2015), S. 20-24.
- Cordes, M. (2015b). Stärken und Defizite der Transporteure. *Verkehrs Rundschau* (Heft 18/2015), S. 32-34.
- Cordes, M., Hassa, E., Gieße, A., & Spirkel, K. (2016). Dumping. *Verkehrs Rundschau* (Heft 3-4/2016), S. 22-25.
- Daimler AG. (2016). Rahmen & Tanks Retrieved from http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/trucks_/home/long_distance/new_actros/technical_data/frame_and_tanks.html
- Deutsch-Rumänische AHK. (2013). Arbeitsrecht in Rumänien. Retrieved from http://rumaenien.ahk.de/fileadmin/ahk_rumaenien/Publicatii/DE/Arbeitsrecht.pdf
- Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLTV). (2012). *Elektronische Marktplätze für Transport, Spedition und Logistik*. Bonn.
- Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSLTV). (2015). Kroatien: Verlängerung des Kabotageverbots mit Belgien, Dänemark, den Niederlanden und Österreich. Retrieved from http://www.dslv.org/dslv/web.nsf/id/li_fdih9y2cum.html
- Domschke, W. (1997). *Logistik 2 Rundreisen und Touren / von Wolfgang Domschke* (4., völlig neu bearb. und erw. Aufl. ed.). München Oldenbourg.
- Drexel, M., Rieck, J., Sigl, T., & Berning, B. (2013). Simultaneous Vehicle and Crew Routing and Scheduling for Partial- and Full-Load Long-Distance Road Transport. *BuR - Business Research, Volume 6* (Issue 2), S. 242-264.
- Drexel, M., Sigl, T., Werr, H., & Wollenweber, J. (2011). *SILK-Systemgestützte Intelligente Logistische Kooperation, Abschlussbericht*. Nürnberg: Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS.
- E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft. (2016a). ELVIS Membership Benefits. Retrieved from <http://www.elvis-ag.com/de/ELVIS-Zentraleinkauf-In-der-Gruppe-sind-wir-stark-429.html>
- E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft. (2016b). ELVIS tauscht Frachten und LKW. Retrieved from <http://www.elvis-ag.com/de/Internes-Portal-zum-Tausch-von-Frachten-und-LKW-439.html>
- E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft. (2016c). Full Load Network. Retrieved from <http://www.elvis-ag.com/de/ELVIS-Full-Load-Network-Viele-Multitalente-im-Einsatz-428.html>

- E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft. (2016d). Part Load Network, Erstes deutsches Netz für Teilladungen. Retrieved from <http://www.elvis-ag.com/de/Erstes-deutsches-Netz-fuer-Teilladungen-431.html>
- E.L.V.I.S. Europäischer Ladungs-Verbund Internationaler Spediteure Aktiengesellschaft. (2016e). Zentraleinkauf - in der Gruppe sind wir stark! Retrieved from <http://www.elvis-ag.eu/de/ELVIS-Zentraleinkauf-In-der-Gruppe-sind-wir-stark-429.html>
- Eberhardt, M., Egger, N., & Weckbach, M. (2013). *Rechnungswesen Spedition und Logistikdienstleistung* (14., überarb. Aufl. ed.). Braunschweig: Winklers.
- Eikelau, M. (1998). Ladungsverkehr. In J. Buchholz, U. Clausen, & A. Vastag (Eds.), *Handbuch der Verkehrslogistik*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Esch, T., & Dahlhaus, U. (2013). Nutzfahrzeugtechnik Grundlagen, Systeme, Komponenten. In S. Breuer (Ed.), *ATZ-MTZ Fachbuch* (7., überarb. und erw. Aufl. ed., pp. XXVII, 620 S.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Essig, M. (2004). Beschaffungslogistik. In P. Klaus & W. Krieger (Eds.), *Gabler-Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse* (3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed., pp. XXIV, 596 S.). Wiesbaden: Gabler.
- Evers, C. (2009). *Auswirkungen von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern* (November 2009 ed.). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW.
- ExxonMobil Central Europe Holding GmbH. (2015). Wie hoch ist der Steueranteil am Benzinpreis? Retrieved from http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/products_fm_kraftstoff_preise_steuer.aspx
- Fiedler, J. (2007). Fahrzeugrechnung und Kalkulation. In D. Lohre (Ed.), *Praxis des Controllings in Speditionen* (pp. XI, 364 S.). Frankfurt am Main: BSH.
- Fleischer, H. (2010). *Handelsgesetzbuch ohne Seehandelsrecht, mit Publizitätsgesetz, Wechselgesetz und Scheckgesetz; Textausgabe* (50., bearb. Aufl., Stand: 8. Januar 2010, Sonderausg. ed.). München: Dt. Taschenbuch-Verl.
- Fleischmann, B. (2008a). Grundlagen: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3 ed., pp. XXXIV, 1 137 S.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fleischmann, B. (2008b). Linienplanung. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3 ed., pp. XXXIV, 1137 S.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fortmann, K.-M., & Kallweit, A. (2007). *Logistik* (2., aktualisierte Aufl. ed.). Stuttgart: Kohlhammer.
- FR8 Revolution Inc. (2016). FR8.guru Keep your trucks loaded and on-time. In one tool. FREE. Retrieved from <http://fr8.guru>
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML. (2016). Effiziente Kopplung von Touren- und Laderaumoptimierung. Retrieved from <http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/verkehrslogistik/produkte/EfficientLoad.html>

- Frerich, J., & Müller, G. (2004). *Europäische Verkehrspolitik von den Anfängen bis zur Osterweiterung der Europäischen Union Bd. 2 Landverkehrspolitik*. München: Oldenbourg.
- Frey, V. (2016). Flutaro Wir bringen Ihre Disposition auf das nächste Level. Retrieved from <http://flutaro.de>
- Friedrichsmeier, P. (2013). *Business-Architektur für Frachtenkooperationen kleiner und mittlerer Speditionen im Teilladungssegment* (1. Aufl. ed.). Norderstedt: Books on Demand.
- Goel, A. (2010). Truck Driver Scheduling in the European Union. *Transportation science*, Vol. 44, (No. 4), S. 429 - 441.
- Graf, H.-W. (2009). Optimierung des Wechselbrückentransports - ein Spezialfall der Tourenplanung. In P. Buchholz & U. H. Clausen (Eds.), *Große Netze der Logistik Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559*. Berlin u.a.: Springer.
- Grandjot, H.-H. (2007). Fuhrparkmanagement. In D. Lohre (Ed.), *Praxis des Controllings in Speditionen* (pp. XI, 364 S.). Frankfurt am Main: BSH.
- Grünert, T., & Irnich, S. (2005). *Optimierung im Transport 1 Grundlagen*. Aachen: Shaker.
- Gudehus, T. (2000a). *Logistik 1, Grundlagen, Verfahren und Strategien*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gudehus, T. (2000b). *Logistik 2 Netzwerke, Systeme und Lieferketten*. Berlin Springer.
- Haberstock, L., & Breithecker, V. (1998). *Kostenrechnung 1 Einführung mit Fragen, Aufgaben, einer Fallstudie und Lösungen* (10., unveränd. Aufl. ed.). Berlin: Schmidt.
- Hassa, E. (2013). Wie wollen Sie im Teilladungsmarkt punkten? *Verkehrs Rundschau* (Heft 37/2013), S. 10.
- Hassa, E. (2015). PLA-Kooperation baut Liniennetz deutlich aus. *Verkehrs Rundschau* (Heft 34-35/2015), S. 30.
- Hassa, E. (2016). Transportgeschäft per Klick. *Verkehrs Rundschau* (Heft 13-14/2016), S. 18-21.
- Heinrichmeyer, H. (2008). Truck meets Truck. *Logistik entdecken, Magazin des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML Dortmund, Volume 5*, S. 24-25. Retrieved from http://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20983/Presse/Logistik%20entdecken/Logistik_entdecken_05.pdf
- Held, C. (2015). Spotgeschäft. *GABLER Wirtschaftslexikon*. Retrieved from <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/13384/spotgeschaef-v8.html>
- Helmke, B. (2011). Willi Betz beschneidet nationalen Ladungsverkehr. *DVZ* (Nr. 1), S. 3.
- Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Weyand, E., Schlesinger, M., & Limbers, J. (2007). *Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Schlussbericht*. Basel: ProgTrans AG.

- Ihde, G. B. (2001). *Transport, Verkehr, Logistik Gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung* (3., völlig überarb. und erw. Aufl. ed.). München: Vahlen.
- Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern. (2014). Sozialversicherungsbeiträge 2015. Retrieved from https://www.muenchen.ihk.de/de/recht/Arbeitsrecht/Sozialversicherungsrechtliche_Fragen/Sozialversicherungsbeitraege-Beitragssaetze
- Irzik, M., Ellmers, U., Jungfeld, I., Glaeser, K.-P., Wolf, A., Kaundinya, I., . . . Krnaz, T. (2014). *Feldversuch mit Lang-Lkw, Zwischenbericht*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Jansen, C., & Durmann, C. (2009). *Der Güterkraftverkehrsunternehmer Leitfaden für die Sachkundeprüfung* (56. Aufl., Stand: 1. Januar 2009 ed.). München: Vogel.
- Janz, O. (2003). *Integriertes Transportnetzmanagement angebots- und nachfrageorientierte Planung und Steuerung komplexer Transportnetze* (1. Aufl. ed.). Lohmar [u. a.]: Eul-Verl.
- Johannes Gutenberg-Universität Mainz Lehrstuhl für BWL inb. Logistikmanagement. (2016). Projekte. Retrieved from <http://logistik.bwl.uni-mainz.de/284.php>
- Jürgens, S., Keitel, S., & Gerig, S. (2014). Die Effekte der Liberalisierung des Straßengüterverkehrs. *Internationales Verkehrswesen, 66. Jahrgang* (Heft 1, 2014), S. 57-60.
- Kerler, S. (2004). *Maut Lösungen für die Praxis* (3. Aufl. ed.). München: Vogel.
- Kerler, S. (2008). *Fuhrpark und Flotte Praxishandbuch für Entscheider* (2. Aufl., Stand Februar 2008 ed.). München: Vogel.
- Kille, C., Klaus, P., & Müller Steinfahrt, U. (2008). Logistik in Deutschland. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3 ed., pp. XXXIV, 1 137 S.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kille, C., & Schwemmer, M. (2014). *Die Top 100 der Logistik Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer* ([Ausz.] 2014/2015 ed.). Hamburg: DVV Media Group.
- Klaas-Wissing, T. (2008). Logistik Benchmarking. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3., neu bearb. Aufl. ed., pp. XXXIV, 1137 S.). Berlin: Springer.
- Klaus, P. (2004). Logistik. In P. Klaus & W. Krieger (Eds.), *Gabler-Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse* (3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed.). Wiesbaden: Gabler.
- Klaus, P., Fischer, K., & Prockl, G. (2007). *Straßengüterverkehr, Fahrerarbeit und das neue europäische Fahrpersonalrecht. Wirkungen der neuen arbeits- und lenkzeitrechtlichen Vorschriften im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherheit, Arbeitsplatzattraktivität für das Fahrpersonal und daraus entstehende Produktivitäts- und Kostenauswirkungen; eine Studie der Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Technologien der Logistik-Dienstleistungswirtschaft ATL in Nürnberg in Kooperation mit dem Logistik-Kompetenz-Zentrum (LKZ) Prien*. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.

- Klaus, P., & Krieger, W. H. (2004). *Gabler-Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse* (3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed.). Wiesbaden: Gabler.
- Kleeberg, L. (2000). *Management von Transportnetzwerken ein modellgestützter Führungsansatz zur Planung und Steuerung zukunftsorientierter Gütertransportsysteme für Stück- und Kleinguttransporte im kombinierten Straßen-/ Schienengüterverkehr*. (Zugl Göttingen, Univ , Diss , 2000), Duehrkohn & Radicke, Göttingen. Retrieved from <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht012872879.pdf>
- Klug, F. (2010). *Logistikmanagement in der Automobilindustrie Grundlagen der Logistik im Automobilbau*. Berlin u. a.: Springer.
- Knoflacher, H., & Frey, H. (2012). Kabotage aus systemischer Sicht. *Internationales Verkehrswesen*, 64. Jahrgang (Heft 1, 2012), S. 29-32.
- Koether, R. (2006a). Logistik als Managementaufgabe. In R. Koether (Ed.), *Taschenbuch der Logistik* (pp. 583). München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl.
- Koether, R. (2006b). Logistikaufgaben. In R. Koether (Ed.), *Taschenbuch Logistik* (2., aktual. Aufl. ed., pp. 583 S.). München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl Hanser Verl.
- Kögel Trailer GmbH & Co.KG. (2016). Kögel Mega. Retrieved from <http://www.koegel.com/de/lkw-trailer/aufleger/pritschenaufleger/mega-aufleger/>
- KoLoS – Kooperation Logistik Spedition. (2016a). Ladungstausch mit eigenem KoLos-Ladungsportal und Anschluss an die TimoCom. Retrieved from <http://home.kolos-netzwerk.de/ladungstausch/>
- KoLoS – Kooperation Logistik Spedition. (2016b). Vorteile beim Einkauf. Retrieved from <http://home.kolos-netzwerk.de/vorteile-beim-einkauf/>
- Kortschak, B. H. (1995). *Was ist Logistik?* (3., erw. Aufl. ed.). Wien: WIFI der Bundeskammer der Gewerblichen Wirtschaft.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (2013). *Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD), Verkehrsverflechtungen Jahr 2013, VD2*. Flensburg.
- Kranke, A. (Ed.) (2012). *Transportunternehmer fürchten um Existenz*. www.verkehrsrundschau.de.
- Kranke, A., Schmied, M., & Schön, A. (2011). *CO2-Berechnung in der Logistik Datenquellen, Formeln, Standards* (1. Aufl., Stand August 2011 ed.). München: Vogel.
- Krause, K. (2007). *Organisation und Steuerung von Transportnetzwerken eine modellgestützte Analyse zur effizienten Koordination von Ladungsverkehren*. Köln: Kölner Wiss.-Verl.
- Kübler, A., Distel, S., & Veres-Homm, U. (2015). *Logistikbeschäftigung in Deutschland Vermessung, Bedeutung und Struktur*. Nürnberg: Fraunhofer Verlag.
- Kummer, S. (2009a). Entwicklung der Logistik. In S. Kummer, O. Grün, & W. Jammernegg (Eds.), *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik* (2., aktualisierte Aufl. ed., pp. 352 S.). München Pearson Studium.

- Kummer, S. (2009b). Logistik als funktionale Spezialisierung. In S. Kummer, O. Grün, & W. Jammernegg (Eds.), *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik* (2., aktualisierte Aufl. ed., pp. 352 S.). München Pearson Studium.
- Kummer, S., & Einbock, M. (2007). *Kostenmäßige Auswirkungen der Veränderung der Arbeitszeitrechtsregelungen auf Straßengüterverkehrsunternehmen*. Wien: Institut für Transportwirtschaft und Logistik, WU Wien
- Kunze, O., Baumgärtel, H., Neitmann, A., & Rosemeier, S. (2012). *Dynamic Truck Meeting (DTM): Ein Prozess- & Schnittstellenstandard zur Realisierung von dynamischen Begegnungsverkehren mit Hilfe von Dispositions- und Telematik-Systemen; Band 1: Prozess-Standard (KIT scientific reports)*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Large, R. (2012). *Logistikfunktionen Betriebswirtschaftliche Logistik Band 1*. München: Oldenbourg.
- Lauenroth, L. (2012). Preise auf der Straße stehen unter Druck. *Deutsche Verkehrs-Zeitung* (Nr. 21), S. 4.
- Lohre, D., Bernecker, T., & Stock, W. (2014). *ZF-Zukunftsstudie Fernfahrer 2.0 Der Mensch im Transport- und Logistikmarkt*. Stuttgart: Euro TransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH.
- Lohre, D., Pfennig, R., Poerschke, V., & Gotthardt, R. (2015). *Nachhaltigkeitsmanagement für Logistikdienstleister, Ein Praxisleitfaden*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Lorenz, W. (2008). *Leitfaden für Spediteure und Logistiker in Ausbildung und Beruf, Band 1: Grundlagen des Speditionsgeschäfts, Speditions- und Transportrecht, Besonderheiten der Verkehrsträger, Logistik und Lagerei* (21. Auflage ed.). Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag.
- Lorenz, W., & Hölser, T. H. (2009). *Leitfaden für Spediteure und Logistiker in Ausbildung und Beruf 2* (17. Aufl. ed.). Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag.
- Mack, O. (2003). *Konfiguration und Koordination von Unternehmensnetzwerken ein allgemeines Netzwerkmodell*. (Zugl Mainz, Univ , Diss , 2002), Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Maruhn, E. (2016). Das Ende der Speditionen? *DVZ* (Nr. 79), S. 1.
- Merath, F. (1997). Paarigkeit. In J. Bloech & G. H. Ihde (Eds.), *Vahlens großes Logistiklexikon* (pp. XV, 1301 S.). München: Beck [u. a.].
- Morschett, D. (2005). Formen und Entwicklung der Kooperation. In J. Zentes, B. Swoboda, & D. Morschett (Eds.), *Kooperationen, Allianzen und Netzwerke - Grundlagen - Ansätze - Perspektiven* (2., überarb. und erw. Aufl. ed., pp. XIII, 1 402 S.). Wiesbaden: Gabler.
- Müller, S., & Klaus, P. (2009). *Die Zukunft des Ladungsverkehrs in Europa ein Markt an der Schwelle zur Industrialisierung?* (1. Aufl., Stand: Februar 2009 ed.). Hamburg: DVV Media Group.
- Ohr, C. (2008). *Tourenplanung im Straßengüterverkehr*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH.

- Otremba, M. (2004). *Internationale Wettbewerbsfähigkeit im Strassengüterverkehr eine Untersuchung zur künftigen Wettbewerbsposition deutscher Strassengüterverkehrsunternehmen nach der EU-Osterweiterung*. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH.
- Pankratz, G. (2002). *Speditionelle Transportdisposition Modell- und Verfahrensentwicklung unter Berücksichtigung von Dynamik und Fremdvergabe* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Pfannerstill, E., & Apfelstädt, A. (2013). Parken via Satellit. *Internationales Verkehrswesen* (2/2013), S. 66-68.
- Pfohl, H.-C. (1997). Vahlens großes Logistiklexikon. In J. Bloech & G. H. Ihde (Eds.), (pp. XV, 1301 S.). München: Beck [u. a.].
- Pfohl, H.-C. (2000). *Logistiksysteme betriebswirtschaftliche Grundlagen* (6., neubearb. und aktualisierte Aufl. ed.). Berlin Springer.
- Pfohl, H.-C. (2003). Entwicklungstendenzen auf dem Markt logistischer Dienstleistungen. In H.-C. Pfohl (Ed.), *Güterverkehr eine Integrationsaufgabe für die Logistik; Entwicklungen - Auswirkungen - Lösungsmöglichkeiten* (pp. IX, 217 S.). Berlin: Erich Schmidt.
- Prescott-Gagnon, E., Desaulniers, G., Drexl, M., & Rousseau, L.-M. (2010). European Driver Rules in Vehicle Routing with Time Windows. *Transportation science*, Vol. 44 (No. 4), 455-473.
- Rang, C. (2006a). *Das digitale Kontrollgerät Alles was Sie wissen müssen* (3. Aufl., Stand: Juli 2006 ed.). München: Vogel.
- Rang, C. (2006b). *Lenk- und Ruhezeiten im Straßenverkehr* (16., erweiterte Aufl., Stand: April 2006 ed.). München: Vogel.
- Ratzenberger, R. (2015). *Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2014/15*. München/Köln.
- Rausser, T. (2014). Wie geht es mit dem Thema Kabotage weiter? *Verkehrs Rundschau* (Heft 17/2014), S. 7.
- ReifenDirekt.de. (2015). LKW-Reifen. Retrieved from <http://www.reifendirekt.de/LKW-Reifen.html>
- Rieck, J. (2008). *Tourenplanung mittelständischer Speditionsunternehmen Modelle und Methoden* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Gabler Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Rösler, O. (2003). *Gestaltung von kooperativen Logistiknetzwerken Bewertung unter ökonomischen und ökologischen Aspekten* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Deutscher Univ.-Verl.
- Sänger, F. (2004). *Elektronische Transportmärkte Untersuchungen zur Optimierung des Straßengütertransports* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Scania Deutschland GmbH. (2016). Tankkapazität. Retrieved from <http://www.scania.de/trucks/main-components/chassis/tankkapazitaet/>

- Schallmo, D. (2013). *Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren mit Aufgaben und Kontrollfragen*. Berlin: Springer Gabler.
- Schmälder, E. (2008). Fahrzeugkostenrechnung/Kalkulation. In B. d. S. i. Hessen (Ed.), *Fachwissen für Speditions- und Logistikkaufleute eine Fachreihe für Ausbildung und Praxis*. Frankfurt (Main): BSH Bildungswerk Spedition und Logistik e.V.
- Schmidthöfer, A. (2004). *Taktische Bestimmung von Tourengebieten für die speditionelle Tourenplanung*. Aachen: Shaker Verlag GmbH.
- Schneider, W. (2013). DB Schenker baut Landverkehr um. *DVZ* (Nr. 57), S. 8.
- Schneider, W. (2015). Transporteure kritisieren Kabotageregeln. *DVZ* (Nr. 100), S. 9.
- Scholz-Reiter, B., Toonen, C., & Windt, K. (2008). Logistikdienstleistungen. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3., neu bearb. Aufl. ed., pp. XXXIV, 1137 S.). Berlin: Springer.
- Schubert, L. (2013). *Preisbildung im LKW-Ladungsverkehr Anwendung situativer Ansätze im Spannungsfeld zwischen Kosten- und Marktorientierung*. Hamburg: DVV Media Group.
- Schubert, M., Kluth, T., Nebauer, G., Ratzenberger, R., Kotzagiorgis, S., Butz, B., . . . Leible, M. (2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs. Schlussbericht*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Semmann, C. (2016). Erschwerte Bedingungen *DVZ* (Nr. BLEB), S. 2.
- Sierke, B. (1997). Vahlens großes Logistiklexikon. In J. Bloech & G. H. Ihde (Eds.), (pp. XV, 1 301 S.). München: Beck [u. a.].
- Stabenau, H. (2004). Entwicklung und Stand der Logistik. In P. Klaus & W. Krieger (Eds.), *Gabler-Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse*; (3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed., pp. XXIV, 596 S.). Wiesbaden: Gabler.
- Statistisches Bundesamt. (2008). *Verkehr NST-2007 Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik*. Wiesbaden: Destatis.
- Statistisches Bundesamt. (2013a). *Verdienste und Arbeitskosten, Verdienststrukturen 2010*. Wiesbaden: Destatis.
- Statistisches Bundesamt. (2013b). *Verkehr auf einen Blick*. Wiesbaden: Destatis.
- Stein, A. (2004). Umschlagprozesse in der Logistik. In P. Klaus & W. Krieger (Eds.), *Gabler-Lexikon Logistik Management logistischer Netzwerke und Flüsse* (3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed., pp. XXIV, 596 S.). Wiesbaden: Gabler.
- Stumpf, P. (1998). *Tourenplanung im speditionellen Güterfernverkehr* (1. Aufl. ed.). Nürnberg: Ges. f. Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik.
- SwapStation GmbH. (2016). Das Konzept SwapStation (Wechselplatz). Retrieved from <http://www.swapstation.eu/dienstleistung/>

- TimoCom Hard- und Software GmbH. (2016). Der Marktführer unter den Laderaum- und Frachtenbörsen in Europa. Retrieved from <https://www.timocom.com/Die-Frachtenbörse/Frachtenbörse>
- TollCollect. (2015a). Maut-Tarife ab 1.Oktober 2015. Retrieved from https://www.toll-collect.de/de/web/public/toll_collect/rund_um_die_maut/maut_tarife/maut_tarife_2015.html
- TollCollect. (2015b). Mautpflichtige Strecken auf einen Blick. Retrieved from https://www.toll-collect.de/de/web/public/toll_collect/rund_um_die_maut/mautpflichtige_strassen/mautpflichtige_strassen.html
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing problems, methods and applications* (2. ed.). Philadelphia, Pa.: SIAM u. a.
- Tummel, C. (2015). *IT-Kooperationsplattform für expeditionsübergreifende Direktverkehre von Lkw-Teilladungen* (Vol. 1. Auflage). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Vahrenkamp, R. (1998). *Logistikmanagement* (3., neu bearb. Aufl. ed.). München: Oldenbourg.
- Vahrenkamp, R. (2003). *Quantitative Logistik für das Supply-Chain-Management*. München u. a.: Oldenbourg.
- Vahrenkamp, R. (2011). *Die logistische Revolution Der Aufstieg der Logistik in der Massenkongsumgesellschaft*. Frankfurt am Main: Campus-Verlag.
- Vahrenkamp, R., & Siepermann, C. (2007). *Logistik Management und Strategien* (6., überarb. und erw. Aufl. ed.). München: Oldenbourg.
- Vastag, A. (2008). Distribution. In D. Arnold, K. Furmans, H. Isermann, A. Kuhn, & H. Tempelmeier (Eds.), *Handbuch Logistik* (3., neu bearb. Aufl. ed., pp. XXXIV, 1 137 S.). Berlin: Springer.
- Voigt, F. (1973). *Verkehr*. Berlin: Duncker & Humblot GmbH.
- Walther, S. (2010). *Industrializing Transportation Networks An Analysis and Evaluation of Alternative Approaches to Cargo Transport Services with Special Reference to the European Over-the-Road Truckload Carrier Industry*. Aachen: Shaker.
- Walther, S., Berning, B., Drexl, M., Kunzendorf, G., & Schlutter, S. (2011). Cargo-eXchange – Adaption des Advanced-Truckload-Geschäftsmodells auf den deutschen Dienstleistungsmarkt, Abschlussbericht. Retrieved from <https://www.tib.eu/suchen/id/TIBKAT:726884391/>
- Weddewer, M. (2007). *Verrechnungssysteme für horizontale Speditionsnetzwerke simulationsgestützte Gestaltung und Bewertung*. (Zugl Paderborn, Univ, Diss, 2007), Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8350-5557-5>
- Wieberneit, N. (2008). *Linienverkehrsplanung in expeditionellen Sammelgutnetzen* (pp. Online-Ressource). Retrieved from <http://d-nb.info/990860183/34>
- Wittenbrink, P. (2011). *Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr Grundlagen - Optimierungspotenziale - Green Logistics* (1. Aufl. ed.). Wiesbaden: Gabler.

- Wittenbrink, P. (2014). *Transportmanagement Kostenoptimierung, Green Logistics und Herausforderungen an der Schnittstelle Rampe* (2., vollst. neu bearb. u. erw. Aufl. 2014 ed.). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Wiček, H. (1998). *Gestaltung der Güterverkehrsnetze von Sammelgutspeditionen* (1. Aufl. ed.). Nürnberg: GVB.
- Wöhe, G., & Döring, U. (2010). *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (24., überarb. und aktualisierte Aufl. ed.). München: Vahlen.
- Wroblewski, A. (2005). Frachtbörsen: Die optimale Lösung. *Internationales Verkehrswesen*, 57. Jahrgang (Heft 12, 2005), S. 577.





Anhang

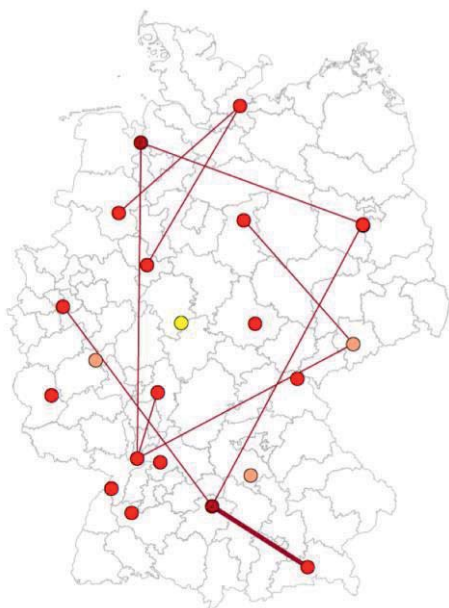
Übersicht Bedienggebiete und Depotstandorte.....	xxvi
Matching-Ergebnisse des Echtzeit-Feldversuchs.....	xxvii

Anhang 1: Übersicht Bedienggebiete und Depotstandorte

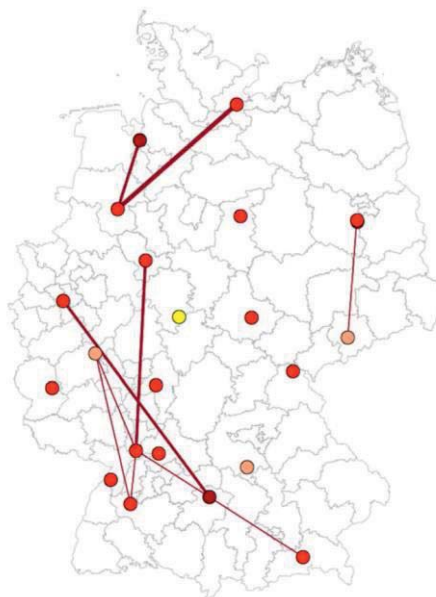
PLZ-Gebiet 2-stellig	Referenz-Ort	Referenz- PLZ	Depot- Nummer
01	Dresden	01067	1
02	Bautzen	02625	2
03	Cottbus	03044	3
04	Leipzig	04103	4
06	Halle	06108	5
07	Gera	07545	6
08	Zwickau	08056	7
09	Chemnitz	09111	8
10, 12, 13	Berlin	10115	9
14	Potsdam	14467	10
15	Fürstenwalde	15517	11
16	Oranienburg	16515	12
17	Neubrandenburg	17033	13
18	Rostock	18055	14
19	Schwerin	19053	15
20, 22	Hamburg	20144	16
21	Seevetal	21217	17
23	Lübeck	23552	18
24	Kiel	24103	19
25	Itzehoe	25524	20
26	Oldenburg	26121	21
27, 28	Bremen	28195	22
29	Uelzen	29525	23
30, 31	Hannover	30159	24
32	Bad Oyenhausen	32545	25
33	Paderborn	33098	26
34	Kassel	34117	27
35	Marburg	35037	28
36	Fulda	36037	29
37	Göttingen	37073	30
38	Braunschweig	38100	31
39	Magdeburg	39104	32
40	Düsseldorf	40210	33
41	Mönchengladbach	41061	34
42	Wuppertal	42103	35
44	Dortmund	44135	36
45	Essen	45127	37
46	Bottrop	46236	38
47	Krefeld	47798	39
48	Münster	48143	40
49	Osnabrück	49047	41
50	Köln	50667	42
51	Bergisch Gladbach	51427	43

PLZ-Gebiet 2-stellig	Referenz-Ort	Referenz- PLZ	Depot- Nummer
52	Düren	52349	44
53	Bonn	53111	45
54	Trier	54296	46
55	Bad Kreuznach	55543	47
56	Koblenz	56068	48
57	Siegen	57072	49
58	Hagen	58088	50
59	Soest	59494	51
60	Frankfurt Main	60311	52
61	Bad Nauheim	61231	53
63	Hanau	63450	54
64	Darmstadt	64283	55
65	Wiesbaden	65183	56
66	Neunkirchen	66538	57
67	Kaiserslautern	67655	58
68, 69	Heidelberg	69115	59
70, 71	Stuttgart	70173	60
72	Reutlingen	72760	61
73	Schwäbisch Gmünd	73525	62
74	Heilbronn	74072	63
75	Pforzheim	75172	64
76	Karlsruhe	76131	65
77	Offenburg	77652	66
78	Villingen-Schwenningen	78054	67
79	Freiburg	79089	68
80, 81	München	80331	69
82	Fürstfeldbruck	82256	70
83	Rosenheim	83022	71
84	Landshut	84028	72
85	Freising	85354	73
86	Augsburg	86150	74
87	Kempten	87435	75
88	Ravensburg	88214	76
89	Ulm	89073	77
90, 91	Nürnberg	90402	78
92	Amberg	92224	79
93	Regensburg	93047	80
94	Deggendorf	94469	81
95	Bayreuth	95444	82
96	Bamberg	96047	83
97	Würzburg	97070	84
98	Suhl	98528	85
99	Erfurt	99085	86

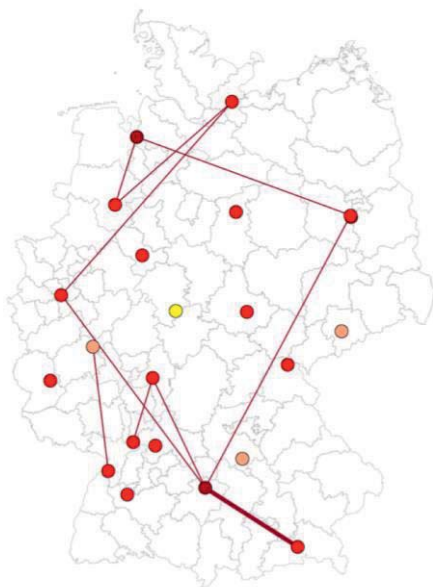
Anhang 2: Matching-Ergebnisse des Echtzeit-Feldversuchs



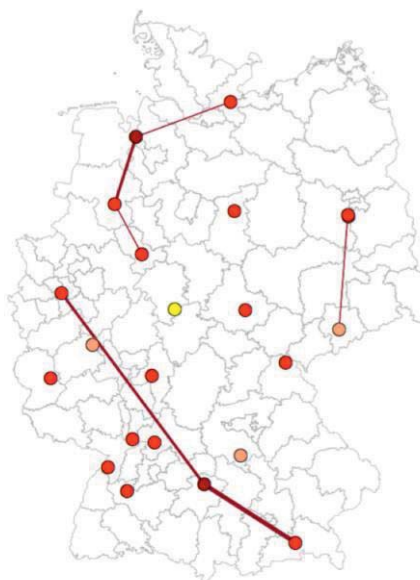
Netzwerksendungen 07.07.2015



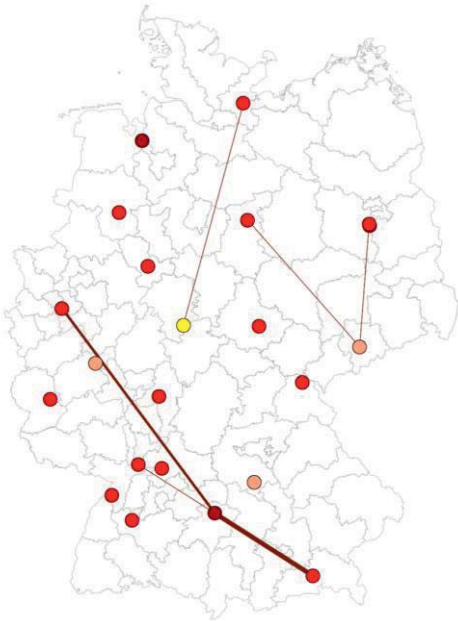
Netzwerksendungen 08.07.2015



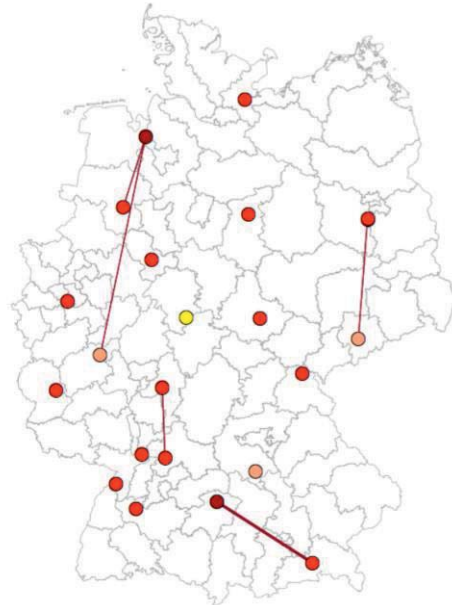
Netzwerksendungen 09.07.2015



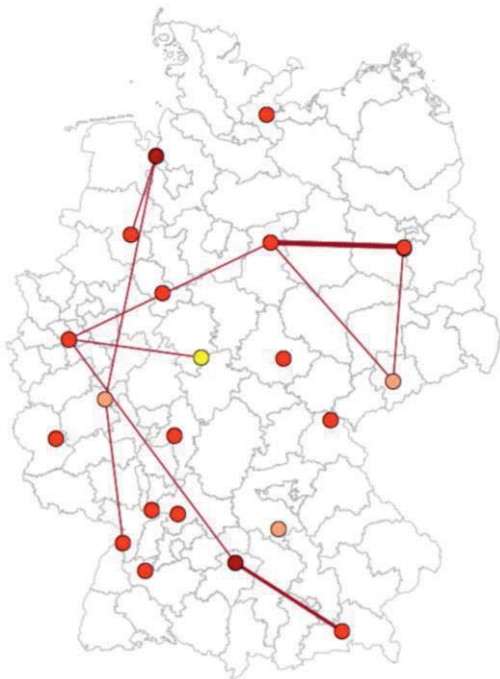
Netzwerksendungen 10.07.2015



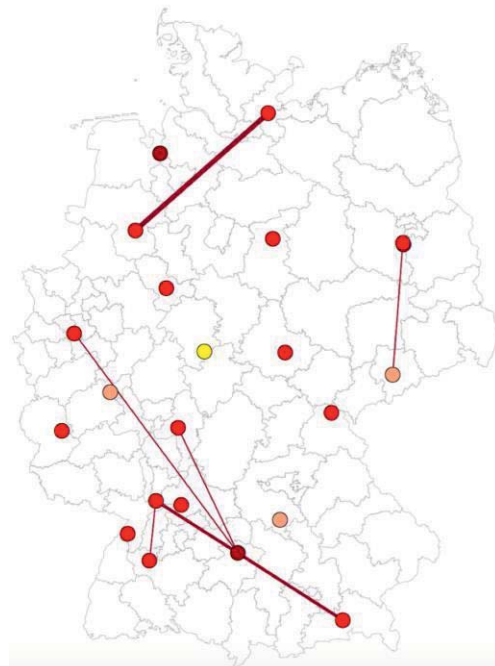
Netzwerksendungen am 13.07.2015



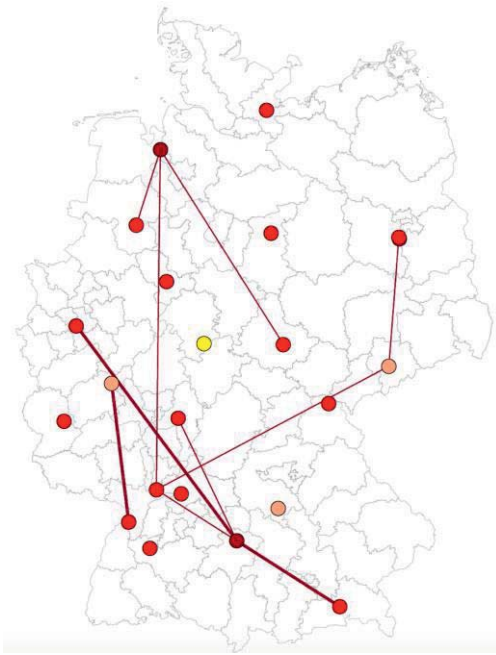
Netzwerksendungen am 14.07.2015



Netzwerksendungen am 15.07.2015



Netzwerksendungen am 16.07.2015



Netzwerksendungen am 17.07.2015





