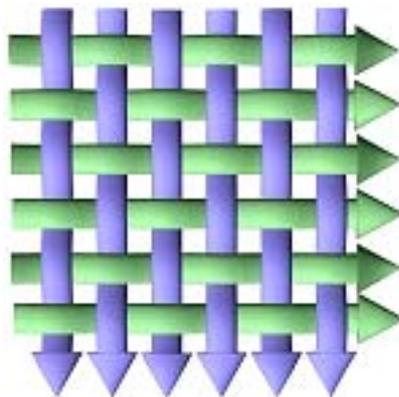


Technical Report 08007

ISSN 1612-1376

Transportnetzplanung unter Betrachtung der Kosten-/Nutzenallokation am Beispiel der Versorgungslogistik eines Automobilherstellers

Heiko Flender, Iwo Riha,
Andreas Reinholz, Holger Schneider



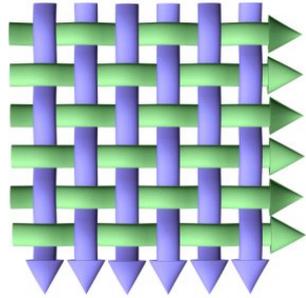
Sonderforschungsbereich 559
Modellierung großer Netze in der Logistik

Universität Dortmund
44221 Dortmund



Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer
Netze in der Logistik**



Technical Report 08007

ISSN 1612-1376

**Transportnetzplanung unter Betrachtung der
Kosten-/Nutzenallokation am Beispiel der
Versorgungslogistik eines Automobilherstellers**

Teilprojekt A2:

Dipl.-Logist. Heiko Flender
Dipl.-Logist., M.S.I.E. (USA) Iwo V. Riha
Dipl.-Inform. Holger Schneider

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und
Logistik (IML)
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4
44227 Dortmund

Teilprojekt M8:

Dipl.-Inform. Andreas Reinholz

Technische Universität Dortmund
Lehrstuhl für Algorithm Engineering
Otto-Hahn-Str. 14
44227 Dortmund

Dortmund, 16. Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Problemformulierung	4
1.2	Vorgehensweise	5
2	Transportkonzepte	6
2.1	Komplettladungsverkehr	7
2.2	Sammelladungsverkehr	8
2.3	Teilladungsverkehre	8
3	Modellierung und Umsetzung	11
3.1	Restriktionen und Annahmen	11
3.2	Modellierung	13
3.3	Umsetzung	14
4	Ergebnisanalyse	17
4.1	Allgemeine Erläuterungen	17
4.2	Tour 2156 / Haldensleben-Wolfsburg	19
4.3	Tour 1092 / Kassel-Wolfsburg	20
4.4	Cost Benefit Sharing: Reallokationsstrategien und Konsequenzen	20
5	Zusammenfassung	25

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematischer Kostenvergleich verschiedener Transportkonzepte.	7
2.2	Abbildung der häufigsten Transportkonzepte und Vergleich der Transportwege mit den Wegen zur tariflichen Berechnung.	10
4.1	Fahrtroute der Tour 2156	19
4.2	Fahrtroute der Tour 1092	21

1 Einleitung

In großen Netzen der Logistik interagieren verschiedene Organisationseinheiten und Unternehmen in Supply Chains mit Hilfe von logistischen Material- und Informationsflüssen, deren Betrieb jeweils Kosten verursachen. Bei der operativen Planung und Durchführung wie auch bei der Bewertung der Aktivitäten und der Relevanz für die jeweiligen Geschäftsergebnisse sind die Abhängigkeiten, Konkurrenz- und Kooperationsgrade von besonderer Bedeutung.

In diesem Dokument werden insbesondere die Auswirkungen von Kooperationen in der Beschaffungslogistik untersucht. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei ein reales Fallbeispiel der Versorgungslogistik in der Automobilindustrie. In diesem Umfeld drücken sich Kooperationen durch eine kostenstellenübergreifende Nutzung von Transportmittelkapazitäten aus. Im Vordergrund der Untersuchung stehen somit die Veränderungen der absoluten Transportkosten und die damit einhergehende Verteilung der Einsparungen beziehungsweise Mehrkosten auf die Kooperationsakteure.

1.1 Problemformulierung

Die Transportnetze der heutigen Automobilindustrie sind durch die große Anzahl von Lieferanten und Teilen sowie durch die Anzahl beteiligter Transportdienstleister und Empfangswerke hochkomplex. Im Fall einer vollständigen Modellierung des realen Fallbeispiels müssten alleine ca. 7.000 Lieferanten mit individuellen Relationen auf ca. 20 Empfangswerke in ganz Europa betrachtet werden, die durch eine Vielzahl an Tarifen verrechnet werden.

Aufgrund dieser nicht mehr handhabbaren Komplexität wird in dieser Arbeit versucht, das reale Problem marginal zu vereinfachen, wobei modellbildnerische Abstraktions- und Dekompositionsverfahren zum Einsatz kommen, jedoch die entscheidenden Modellparameter abgebildet werden.

Die praktische Komplexität führt in den Unternehmen dazu, dass die Entscheidung für das Transportkonzept einzelfallbasiert und nicht immer systematisch getroffen wird. Deshalb ist unklar, welche praktisch nutzbaren Potenziale sich durch die optimale Auswahl von Transportkonzepten ergeben können. Kommerzielle Netzwerkoptimierungswerkzeuge sind nicht in der Lage, die geschilderte Komplexität ausreichend genau und unter akzeptablem Aufwand abzubilden.

Deshalb wird in der Problemformulierung die Hypothese aufgestellt, dass durch eine verbesserte Optimierung der Transportströme Kosteneinsparungspotenziale ohne Leistungseinbußen realisiert werden können.

Jegliche Veränderung der Zusammenladung beziehungsweise Auftragssteuerung im Vergleich zum Status Quo führt unweigerlich dazu, dass sich auch die Kostenbeteiligungsstrukturen verändern. Ein Beispiel soll dies illustrieren: wird ein Transportauftrag durch einen Teilladungsver-

kehr erfüllt, der jedoch nur von einer einzelnen Kostenstelle / einem Empfangswerk beauftragt wird, zählen allein die Gesamtkosten vor beziehungsweise nach einer Optimierung.

Interessanter wird der Fall, wenn mehr als ein Empfänger an der Transportdurchführung beteiligt ist. So könnten sich durch eine gemeinsame Beschaffung eines Transportes, der von mehreren geographisch günstig gelegenen Kostenstellen beziehungsweise Empfangswerken gemeinsam in Auftrag gegeben wird, die Gesamtbeschaffungskosten ebenfalls senken lassen. Unsicher ist jedoch, wie sich die Anteile an den Gesamtkosten für jeden einzelnen Empfänger verhalten. So ist es nicht nur möglich, sondern, wie die nachfolgenden Beispiele auch zeigen, in der Praxis häufig zutreffend, dass ein Teil der Empfangswerke durch die Kooperation seine Kosten senken kann, während sich die Kosten für die anderen Partner erhöhen.

Neben der mathematischen Optimierung dieses Beschaffungsnetzwerkes steht in diesem Beitrag ebenfalls die Untersuchung der Auswirkung von Kostenverteilungsstrategien auf die Akteure und die damit verbundene Akzeptanz beziehungsweise Zurückhaltung bei der Kooperationsentscheidung im Vordergrund.

Im Sonderforschungsbereich 559 wurde mit dem Cost Benefit Sharing ein eigener Forschungszweig etabliert, der sich dieser Fragestellung methodisch widmet.

Konkret geht es in diesem Beitrag also um die Kopplung einer sehr effizienten Tourenplanungslösung (VRP) zur Erzielung einer übergreifenden, kostengünstigeren Gesamtlösung mit der Betrachtung der sich daraus ergebenden akteurs-bezogenen Kostenverschiebungen im Fall einer Kooperation mehrerer Auftraggeber, dargestellt am Beispiel von Teilladungsverkehren.

1.2 Vorgehensweise

Zunächst werden die unterschiedlichen Transportkonzepte im vorliegenden Fallbeispiel so wie sie in der Praxis eingesetzt werden erläutert. Anschließend wird aufgezeigt, wie das Problem mathematisch optimiert wurde.

Im Fokus des dritten Kapitels steht die Analyse der Ergebnisse anhand von zwei exemplarischen Touren, bei denen die Kostenverteilung und die Gesamtkosten vor und nach der Optimierung verglichen und diskutiert werden.

Im vierten Kapitel werden schließlich unterschiedliche Kostenverteilungsstrategien evaluiert und die Akzeptanz dieser auf die Kooperationsakteure untersucht.

2 Transportkonzepte in Versorgungsnetzen der Automobilindustrie

Wesentliche Konzepte im Güterverkehr sind der Sammelladungsverkehr sowie der Komplettladungsverkehr. Der Komplettladungsverkehr wird alternativ auch als Ladungsverkehr oder als Direktverkehr bezeichnet. Als eine besondere Verkehrsart ist der Teilladungsverkehr zwischen den beiden Konzepten einzuordnen. Im Folgenden wird eine kurze Einführung der Konzepte gegeben und anschließend einzeln eingehend erläutert. Eine ausführliche Behandlung der Themen Transport- und Verkehrslogistik ist in der Arbeit von CLAUSEN U.; VASTAG (1998) et al. zu finden.

Komplettladungsverkehre verkehren zwischen genau einem Lieferanten und einem Empfangswerk. Dabei wird unterstellt, dass die bestellte Menge regelmäßig so groß ist, dass die Ladekapazität eines Transportmittels vollständig ausgenutzt wird. Eine detaillierte Erläuterung des Begriffes wird in Abschnitt 2.1 gegeben.

Ist auf bestimmten Relationen keine vollständige Auslastung eines direkt fahrenden Transportmittels zu erwarten, wird dieser Lieferant in einem Sammelprozess angefahren. In diesem sammelt die für ein Gebiet zuständige Gebietsspedition die Sendungen im Vorlauf nicht nur isoliert für ein einzelnes Empfangswerk, sondern alle Sendungen im Quellgebiet auf alle Empfangswerke. Dieses Konzept ist unter dem Begriff *Sammelladungsverkehr* bekannt. Die dispositive Planung und operative Umsetzung derartiger Transporte findet in der Regel eigenverantwortlich durch den Spediteur statt. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Thema finden in Abschnitt 2.2 statt.

Außerdem existiert sowohl in der Theorie als auch in der Praxis eine Mischform dieser beiden Transportkonzepte, der Teilladungsverkehr, gemeinhin als *Milkrun* bezeichnet. Die Bezeichnung Milkrun und die Ausprägungen der sich dahinter verbergenden logistischen Konzepte unterscheiden sich jedoch häufig. Insbesondere weicht hier das Verständnis der Praxis von dem in der theoretischen Literatur ab. Wie zudem in Abbildung 2.2 auf Seite 10 dargestellt ist, können Teilladungsverkehre bzw. Milkruns in mehreren Variationen existieren. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Begriff findet sich in Abschnitt 2.3.

Abbildung 2.1 gibt einen groben Überblick über die schematische Kostenentwicklung der verschiedenen Transportkonzepte in Abhängigkeit zum transportierten Aufkommen.¹

¹In Abhängigkeit vom Transportkonzept ergeben sich die Transportkosten entweder nach der Anzahl der Stopps (Teilladungsverkehr, Komplettladungsverkehr) oder nach dem transportierten Gewicht, Volumen oder Volumengewicht (Sammelgutverkehr).

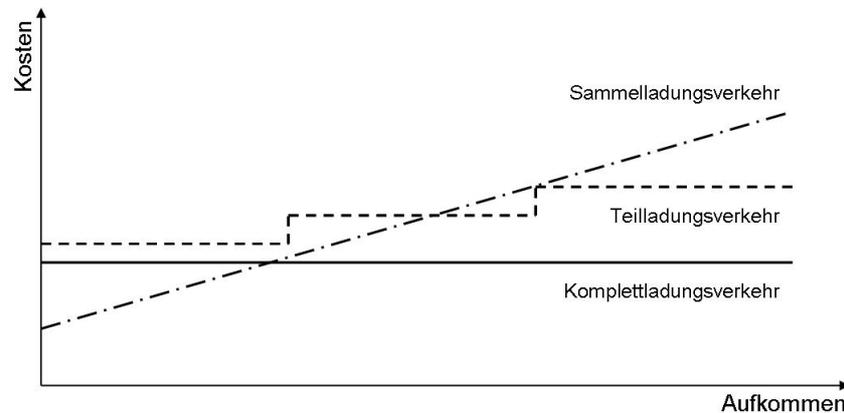


Abbildung 2.1: Schematischer Kostenvergleich verschiedener Transportkonzepte.

2.1 Komplettladungsverkehr

Komplett- bzw. Direktladungsverkehre verkehren zwischen genau einem Lieferanten und einem Empfangswerk. Da bei diesen Verkehren unterstellt wird, dass die transportierte Menge regelmäßig so groß ist, dass die Ladekapazität eines Transportmittels vollständig ausgenutzt wird bzw. die Transportkosten für das gesamte Transportmittel geringer sind als die Summe der Kosten der einzelnen Sendungen, können sie als das günstigste Transportkonzept bestimmt werden.

Werden Komplettladungsverkehre nicht bereits als solche manifestiert, müssen sie aus der Masse der Sammelladungsverkehre meist händisch identifiziert und extrahiert werden. Die Auftragserteilung an den Spediteur erfolgt auf Teilenummerbasis je Relation bzw. auf Basis einer Kombination von Teilenummern einer Relation (mehrer Teile eines Lieferanten). Daher muss ständig geprüft werden, ob ein Lieferant mehrere Teilenummerumfänge oder viele kleine Losgrößen einer Teilenummer regelmäßig an einen Standort liefert, vorzugsweise auf eine Entladestelle, die zukünftig gebündelt transportiert werden könnten. Dies kann innerhalb einer Teilenummer geschehen oder teilenummerübergreifend, indem ähnliche Sendungen gemeinsam betrachtet und zukünftig als Einheit disponiert werden. Dies geschieht in der Regel händisch durch den zuständigen Disponenten.

Überschreitet ein bestimmter, regelmäßig anfallender Transportumfang einer Relation die identifizierte kritische Menge an Gewicht oder Volumen (sendungspflichtiges Gewicht), wird diese Relation als Komplettladungsverkehr am Markt ausgeschrieben. Die daraus resultierende Komplettladungsvereinbarung, also der Vertrag mit dem Spediteur, der den Zuschlag bekommen hat, ist Basis für die Relationsbeschreibung, die zentral hinterlegt wird und fortan als Tarifgerüst für Transporte auf dieser Relation herangezogen werden kann.

Die Kosten eines Komplettladungsverkehrs auf einer Fahrt zwischen einem Absender und einem Empfänger sind ausschließlich von der Entfernung zwischen dem Start- und Zielpunkt bzw. von den entfernungsabhängigen Kosten abhängig. Der Gewinnaufschlag des Transporteurs fällt daneben relativ gering aus, da der Auftraggeber das Auslastungsrisiko trägt, der Transport

robust planbar ist und keine aufwändigen administrativen Prozesse verlangt.

2.2 Sammelladungsverkehr

Durch die Nutzung von Sammelgutverkehren ergeben sich Vorteile vor allem durch die konsolidierte Betrachtung sämtlicher Transportbedarfe eines Gebietes, die keine eigene Teil- oder Komplettladung ergeben. In der Automobilindustrie ist wegen der hohen Transportaufkommen eine Vergabe des Transportaufkommens eines bestimmten Gebietes an einen Spediteur üblich. Sämtliches Aufkommen wird danach durch diesen Spediteur verantwortet. Durch die langfristige Zusammenarbeit wird außerdem die Versandabwicklung für den Lieferanten und die Empfangswerkdisposition vereinfacht und kontinuierlich optimiert.

Die Preise für den Transport in diesem Netzwerk sind nach dem sendungspflichtigen Gewicht gestaffelt und orientieren sich an den Entfernungen zwischen vordefinierten Zonen.

Die im Rahmen des Gebietsspeditionskonzepts verhandelten Preise bewegen sich bereits am unteren Limit, mit einer branchenüblichen, verhältnismäßig geringen Marge für den Spediteur. Dennoch ist der Tarif lediglich für Sammelgut günstig, also für Relationen auf denen keine vollständige, kalkulatorische Auslastung² eines direkt, mit einer Sendung komplett ausgelastet fahrenden Transportmittels zu erwarten ist. Der Spediteur trägt auf diesen Relationen das unternehmerische Risiko der Transportmittelauslastung, was sich durch entsprechend höhere Tarife ausdrückt.

Bei der Umwandlung von Sammelladungsumfängen in Komplettladungsumfänge ändert sich unter Umständen der zuständige Spediteur für die betroffenen Teileumfänge. Damit kann es passieren, dass den mit dem Transport der Sammelgutumfänge beauftragten Gebietsspediteuren für ihre Netzauslastung wichtige Umfänge entzogen werden, die bei der Vertragsgestaltung des Gebietsspeditionssystems vereinbart wurden. Durch diese Verschiebung des Mengengerüsts unterliegt das Tarifwerk der Sammelguttransporte, also das Gebietsspeditionssystem, einer stetigen Veränderung, die auf Dauer nicht tragbar sein wird und bereits jetzt zu Nachverhandlungen zwischen den Vertragspartnern Auftraggeber und Spediteur führen.

2.3 Teilladungsverkehre

Eine Mischform der beiden Transportkonzepte Komplettladungs- und Sammelladungsverkehr wird als Teilladungsverkehr bezeichnet. In der Praxis werden als Teilladungsverkehre Transporte beschrieben, bei denen ein Fahrzeug mehreren Knoten in einer vorher festgelegten Route anfährt, wodurch sich verschiedene Sendungen den zur Verfügung stehenden Frachtraum teilen. Dennoch werden die Sendungen während des Transportes nicht umgeschlagen oder gelagert. In einer vorher festgelegten Reihenfolge wird Material verschiedener Lieferanten eingesammelt und im Rahmen der so definierten Tour ohne Umschlag direkt zum Empfänger transportiert. Eine

²Kalkulatorisch vollständig ausgelastet ist ein Transportmittel dabei, wenn die Anzahl der Sendungen auf dem Transportmittel die Anzahl an Sendungen übersteigt, für die die Summe der Transportkosten größer wäre, als die Kosten eines Komplettladungsverkehrs auf gleicher Relation. Das Transportmittel muss dabei im Einzelfall noch nicht physisch vollständig ausgelastet sein.

Unterscheidung zum Sammel- bzw. Stückgutverkehr stellt außerdem die Sendungsgröße dar, die sich bei den Teilladungsverkehren eher an den Dimensionen des Ladungsverkehrs orientiert. Bei dieser Art der Tourenbildung kann zwischen einer statischen und dynamischen Art unterschieden werden. Die statische Tour wird zur langfristigen Nutzung im Voraus geplant. Die dynamische Tourbildung erfolgt je nach Netzauslastung und Bedarfsströmen kurzfristig im Rahmen der kurzfristig-dispositiven Transportplanung. Die als Milkrun bezeichnete statische Form des Teilladungsverkehrs stammt ursprünglich aus der historischen Art des Milchverkaufs. Ein „Milchjunge“ bringt demnach auf einer festgelegten Tour volle Milchkannen zu den Kunden und nimmt deren leere Kannen wieder mit (WERNER 2002, S. 184). Er hat dadurch immer eine feste Anzahl Milchkannen zu transportieren.

Die Bildung von Teilladungsverkehren ist verhältnismäßig aufwändig und erfordert einen hohen Durchgängigkeitsgrad von der Planung bis zur Umsetzung und Abrechnung. Insbesondere wenn diese Arbeit für komplexe Netze automatisiert erfolgen soll bzw. muss, müssen komplexe Strukturen abgebildet werden. Durch die hohen Anforderungen bei der Implementierung ist eine vollautomatische Lösung bislang jedoch noch nicht vorzufinden. Doch gerade bei komplexen Netzwerken muss bei der Planung bzw. Identifizierung von kosteneinsparenden Teilladungsverkehren auf automatisierte Planungssysteme zurück gegriffen werden. Aus diesem Grund werden Teilladungsverkehre bislang überwiegend dezentral durch die Disponenten des Auftraggebers mit entsprechender Systemunterstützung geplant und disponiert. Ferner werden sie bisher nicht überregional geplant und nur in Ausnahmefällen umgesetzt, da die initiale Bildung und ihre anschließende Implementierung sehr aufwändig ist. Dies lässt sich vor allem damit begründen, dass die Umsetzung äußerste Konsequenz aller Prozessbeteiligten verlangt, was exakte Absprachen und Leistungsvereinbarungen im Vorfeld nötig macht. Häufig müssen bei der Planung und Implementierung feste Fahrpläne der LKW vereinbart werden, was auch für die Lieferanten und Empfänger bedeutet, dass sie sich an fixe Zeitfenster bei der Auftragsabwicklung (Bereitstellung der Sendungen, Be- und Entladung der Fahrzeuge, Auftragsabwicklung, etc.) zu halten haben.

Ein einheitliches Verständnis des Teilladungskonzeptes scheitert insbesondere aufgrund von Unstimmigkeiten bei dem Thema Rundlauf, in Bezug auf die Regelmäßigkeit der Touren sowie in Bezug auf die Beantwortung der Frage nach der minimalen und maximalen Anzahl von Kunden. Zu den verschiedenen Variationen von Teilladungsverkehren siehe folgende Abbildung 2.2.

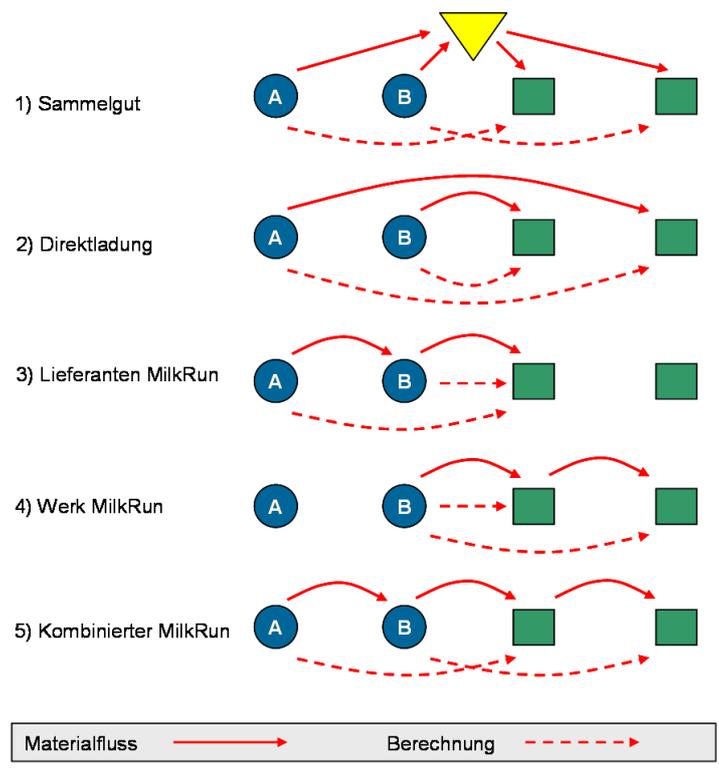


Abbildung 2.2: Abbildung der häufigsten Transportkonzepte und Vergleich der Transportwege mit den Wegen zur tariflichen Berechnung.

3 Modellierung und Umsetzung

Im Folgenden werden die Annahmen beschrieben, mit der die realen Transportkonzepte aus Abbildung 2.2 modelliert werden und welche Verfahren für die Lösungsfindung eingesetzt werden.

3.1 Restriktionen und Annahmen

Bevor modelliert werden kann, muss das reale System abstrahiert werden. Dazu wird nur eine relevante und repräsentative Teilmenge der real existierenden Objekte und Parameter betrachtet und verwendet. Das sind die Parameter, die das System für die Untersuchungszwecke gerade ausreichend genau beschreiben. Die beschriebenen Abstraktionsprozesse werden durch die Bildung von Restriktionen und dem Treffen besonderer Annahmen erzeugt. Die dadurch vorgenommene Einschränkung der realen Gegebenheiten führt zu einer Umsetzbarkeit und der Möglichkeit, das Modell den Untersuchungszwecken angepasst zu verwenden.

Folgende Restriktionen und Annahmen werden festgelegt:

Standorte der Lieferanten und Werke

Die Standorte der Lieferanten, an denen die Aufnahmen erfolgen, sowie der Empfängerstandorte werden durch Postleitzahlen beschrieben. Genauere Adressen werden nicht modelliert. Jedem Standort wird auf Grundlage der geografischen Datenbank der Firma AND eine real existierende Position zugeordnet. Die Zuordnung der Standorte zum jeweiligen Postleitzahlgebiet findet über einen repräsentativen Punkt innerhalb dieses Gebietes statt. Werkstandorte sind hinsichtlich ihrer Postleitzahl disjunkt, während die Menge der Lieferstandorte anhand ihrer jeweiligen Lieferantenummer identifiziert werden müssen, da in einem Postleitzahlenbereich durchaus auch mehrer Lieferanten ansässig sein können.

Entfernungen

Ebenso wie die geografisch genaue Zuordnung der Standorte zu realen Punkten auf der Landkarte wurden die Entfernungen so detailliert wie möglich berechnet. Dazu wurden mit Hilfe der Routing-Algorithmen des Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML) über die geografische Datenbank die Strecken zwischen allen Punkten evaluiert. Somit ergab sich eine komplette Entfernungsmatrix aller Punkte untereinander. Innerhalb der Entfernungsmatrix gilt die Dreiecksungleichung, dass heißt, um von Ort a nach Ort b zu gelangen, ist der Umweg über einen Ort c niemals schneller.

Die Strecken stellen die Fahrt zwischen den Standorten mit minimaler Fahrzeit dar. Die Routing-Algorithmen verwenden zur Berechnung der Fahrzeit ein Geschwindigkeitsprofil für das durchführende Fahrzeug. In diesem Fall wurden für folgende Strassentypen die angegebenen Geschwindigkeiten vorgegeben:

Autobahn: 75 km/h

Bundesstraße: 52 km/h

Landstraße: 49 km/h

Innerorts (zweispurig): 32 km/h

Innerorts (einspurig): 30 km/h

Transportmittel-Fuhrpark (Vehikel)

In der Realität werden verschiedene Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasser, Luft) mit unterschiedlichen Transportmitteln (für die Straße z.B. Jumbo-LKW, Sattelzug, Gliederzug) genutzt. Zur Vereinfachung wird in diesen Modellen ein homogener Fuhrpark (Menge der zum Transport zur Verfügung stehenden Transportmittel) angenommen, der nur aus einer Sorte von LKW (Vehikel) besteht. Volumen- und Gewichtskapazitäten sind also für alle Vehikel identisch. Das Bruttogewicht ist mit 25 Tonnen nach oben begrenzt und das Volumen mit $100 m^3$. Weiterhin stehen im Fuhrpark beliebig viele Fahrzeuge zur Verfügung.¹

Transportaufträge

Alle Transportaufträge sind von Anfang an bekannt und verändern sich während der Laufzeit nicht. Zu jedem Auftrag sind Gewicht und Volumen der Sendung sowie Start- und Zielort bekannt.

Leergut

Neben Vollgut muss auch Leergut transportiert werden. Alle Transportaufträge für Leergut sind zum Planungszeitpunkt bekannt. Die Leergutaufträge werden gemeinsam mit den Vollgut-Transportaufträgen verplant und unterliegen folglich den gleichen Optimierungs- bzw. Planungskriterien. Das heißt, dass Leergut nicht einer bestimmten Relation bzw. einem bestimmten Werk oder Lieferanten zugeordnet ist, sondern gemäß des optimalen Transportplanungsergebnis verplant wird. In den Leergut-Transportaufträgen ist bereits die Falt- und Stapelbarkeit der Behälter berücksichtigt. Falt- und Stapelfaktoren müssen somit nicht gesondert beachtet werden.

Kosten

In den Modellen sollen die Kostenstrukturen der Realität nachgebildet werden. Die Kosten werden proportional zur gefahrenen Strecke und zum Kapazitätsverbrauch der Ladung im Fahrzeug modelliert und je nach Abrechnungsart mit einem Skalierungsfaktor (stochastisch ermittelt) modifiziert. Es wird zwischen Sammel-, Komplett- und Teilladungsverkehrstarifen unterschieden.² Hierzu wurde im Rahmen einer vorhergehenden Forschungsarbeit (HAPPE (2007)) eine möglichst realistische Kostenabbildung der Transportkonzepte entwickelt. Basierend darauf wurden

¹Die Kapazitätsschranken und somit auch die Auswahl des Fuhrparks können - unter Beibehaltung der Homogenität - leicht variiert werden.

²Tarife für Teil- und Komplettladungen werden in der Realität nur auf festgelegten Strecken abgerechnet werden, da hierzu spezielle Verträge mit den ausführenden Logistikdienstleistern vereinbart werden. Mit Sammeladungsverkehren darf jeder Auftrag erfüllt werden. Je nach Modellausprägung steht aber nur eine der beiden Möglichkeiten zur Verfügung.

den Transportkonzepten Kostenfunktionen zugeordnet, mit deren Hilfe im vorliegenden Modell die Kosten für Komplett-, Sammel- und Teilladungsverkehre ermittelt werden.

Touren

Jede Tour eines Teilladungsverkehres fährt nur ein Empfangswerk zum Abschluss der Tour an, um dort die vorher aufgeladenen Mengen abzuliefern. Diese Einschränkung ergibt sich zum einen aus der Reduzierung der Problemkomplexität zur besseren Handhabbarkeit und zum anderen aus den realen Abständen der Werke untereinander, die eine Bildung von Touren für mehrere verschiedene Empfangswerke aufgrund der maximalen Fahrzeit pro Tour unwahrscheinlich machen.

Weitere Nebenbedingungen

Zusätzlich zur beschränkten Ladekapazität der Fahrzeuge, werden folgende Einschränkungen vorgenommen, die berücksichtigt werden:

- ▶ Be- und Entladezeiten sowie Wartezeiten werden mit einer Zeitstrafe belegt. Diese Zeitstrafe wird als gewichteter Faktor in die Kostenfunktionen eingeführt. Je länger einer der Zeiträume andauert, desto teurer wird dieser Vorgang.
- ▶ Zur Abbildung der Kosten durch den Transport über Speditionen, bei denen nur für den Transport der Fracht und nicht für An- und Abfahrt bezahlt wird, werden alle Anfahrten zum ersten Lieferanten auf einer Fahrzeugtour nicht bewertet. Die Abfahrt vom Empfängerstandort bleibt ebenfalls gänzlich für die Abbildung des Problems ausgeschlossen.
- ▶ Alle Sendungen müssen im zeitlichen Rahmen eines Tages durchgeführt werden, so dass die Länge einer Tour zeitlich beschränkt wird. Eine Tour darf mitsamt aller entstehenden Zusatzzeiten, wie Be- und Entladezeiten, nicht mehr als 24 Stunden andauern.
- ▶ Je Tour dürfen nicht mehr als 10 verschiedene Lieferanten angefahren werden.

3.2 Modellierung

In diesem Unterkapitel werden die nötigen Modelle und Optimierungsalgorithmen vorgestellt, um die beschriebene Aufgabenstellung zu bearbeiten. Die Aufgabe der Modellierung ist es, die Zuweisung der Aufträge zu den beschriebenen Transportarten zu unterstützen und deren Optimierung zu ermöglichen.

Die drei Transportarten spezifizieren jeweils unterschiedliche Strukturabbildungen und Bewertungsfunktionen:

- ▶ Der Komplettladungsverkehr (KLV) beschreibt die direkte Fahrt von einem Lieferanten zu einem Werk, wobei an den Lieferanten mehrere Sendungen aufgeladen werden können. Die Bewertung eines KLV wird durch die entwickelten Kostenfunktionen beschrieben, nach derer die Kosten eines Verkehres abhängig von Entfernung und Menge berechnet werden können.
- ▶ Der Sammelladungsverkehr (SLV) ist der Oberbegriff für eine Reihe von verschiedenen Transportarten, wie zum Beispiel Umläufe über verschiedene Stationen oder konsolidierte Ladungen an Sammelpunkten. Für das Modell werden die verschiedenen Transport-

arten auf eine einheitliche Struktur reduziert und demnach bewertet. Danach wird jede Sendung, die als SLV gefahren wird, als Direktfahrt ähnlich zum KLV modelliert. Der Unterschied zum KLV liegt allerdings in der Bewertungsfunktion.

Die Bewertung findet ebenfalls über die entwickelten Kostenfunktionen statt, bei der die Kosten eines KLV zugrunde gelegt und über eine Korrekturfunktion an die SLV-Kosten angepasst werden. Die Korrekturfunktion wurde aus statistischen Erhebungen ermittelt.

- Ein Teilladungsverkehr (TLV) beschreibt das multiple Anfahren von Lieferanten und die Ablieferung an einem Werk. Die Kostenfunktion eines TLV basiert auf der entwickelten Kostenfunktion des KLV, wobei die Funktion dahingehend erweitert wurde, dass die Anzahl der Sendungen auf der Tour mit berücksichtigt wird.

Für die Optimierung dieser drei Transportarten werden diese in ein übergreifendes Modellierungskonzept zusammengefügt, um so die Gesamtkosten aller betrachteten Sendungen und deren Transportfahrten ganzheitlich bewerten zu können. Da die KLV und SLV jeweils nur als Direktfahrt abgebildet werden, besteht die höchste Komplexität in der Optimierung der Teilladungsverkehre. Diese werden im Weiteren als ein Vehicle Routing Problem (VRP) modelliert, welches in der Arbeit von TOTH/VIGO (2002) beschrieben wird. Durch die flexible Ausgestaltung der Tourenabbildung beim Modellierungskonzept von SCHNEIDER (2008) lassen sich alle Komplett- und Sammelladungsverkehre ebenfalls als VRP darstellen, sodass die Optimierung übergreifend durchgeführt werden kann.

Die Modellierung als Vehicle Routing Problem bildet demnach alle Transportarten als Fahrzeugtouren ab, wobei jeder Tour eine Transportart zugewiesen wird. Die Direktfahrten der KLV- und SLV-Sendungen werden so aufgebaut, dass nur ein Lieferant auf der Tour und ein Werk am Ende angefahren wird. Bei Teilladungsverkehren können dagegen beliebig viele Lieferanten angefahren werden³. Desweiteren werden alle Touren „offen“ modelliert, was bedeutet, dass die Anfahrtkosten zum ersten Lieferanten auf einer Tour nicht in die Bewertung eingehen. Dies folgert sich aus der Kostenstruktur im Speditionsgeschäft, bei der ausschließlich der Transport von Fracht bezahlt wird und Anfahrten oder Rückfahrten sich bereits im Preis des Frachttransports befinden. Zudem bestehen eine Reihe weiterer Nebenbedingungen, die bei der Optimierung betrachtet werden, hier aber nicht weiter aufgeführt sind.

3.3 Umsetzung

Zur Optimierung des vorliegenden Problems werden Nachbarschaftssuchverfahren verwendet. Die Menge aller möglichen Lösungen beschreibt einen Suchraum, deren Größe so immens ist, dass die vollständige Enumeration aller möglichen Lösungen zu zeitaufwendig ist, um sie in akzeptabler Zeit durchzuführen. Daher arbeiten Nachbarschaftssuchverfahren immer nur in einem begrenzten Teil des Suchraumes: der Nachbarschaft. Über einen nachbarschaftsgenerierenden Operator wird ein Graph zwischen den Punkten im Suchraum induziert und die direkte Relation zweier Punkte über eine direkte Verbindung im Graphen beschreibt die Nachbarschaftsrelation eines Punktes zum jeweilig anderen Punkt.

Für das VRP beschreibt der nachbarschaftsgenerierende Operator einen Variationsoperator,

³Begrenzt durch eine vorgegebene maximale Anzahl einbeziehbarer Lieferanten.

der eine mögliche Problemlösung durch Perturbation des Tourenplans in eine neue Lösung überführt. Für die Veränderung eines Tourenplans stehen zwei grundlegende Operationen zur Verfügung. Zum einen kann aus einer beliebigen Tour eine Sendung entfernt werden, um diese danach auf eine andere Tour an einer beliebigen Stelle in dieser Tour einzufügen. Dabei gilt allerdings, dass die Tour, in die die Sendung eingefügt wurde, den Transporttyp ändern muss. Werden durch das Einfügen auf der Tour nun mehrere Lieferanten angefahren, wird diese Tour fortan als TLV bewertet. Handelt es sich nur um einen Lieferanten mit mehreren Sendungen, wird die Tour als KLV bewertet. Sendungen auf SLV-bewerteten Touren werden durch die Optimierung in ihrer Anzahl monoton fallend in TLV- oder KLV-Touren umgewandelt.

Für die Arbeit wurden folgende nachbarschaftsgenerierende Operatoren verwendet:

Tourenverschmelzung: Der Tourenverschmelzungsoperator arbeitet ähnlich zur Methodik des Savings-Verfahrens. Der Operator erzeugt aus einer Ausgangslösungen die Nachbarlösung, die sich durch die Verschmelzung zweier Touren ergibt. Dabei wird so vorgegangen, dass die zweite gewählte Tour an die erste gewählte Tour angehängt wird. Das Verfahren arbeitet am effizientesten mit der trivialen Initialisierung des Tourenplans, bei der alle zu verknüpfenden Sendungen, unerheblich ihrer Transportart, auf jeweils einzelnen Touren durchgeführt werden.

Sendungsverschmelzung: Die Sendungsverschmelzung ist eine erweiterte Tourenverschmelzung, bei der nicht die Sendungen zweier Touren zu einer Tour verschmolzen werden, sondern eine beliebige Teilmenge von Sendungen von verschiedenen Touren. Das Potenzial dieses Operators ist sehr groß, allerdings auch dessen Komplexität, weswegen bei der Verwendung für die Optimierung dieser Problemstellungen signifikante Beschränkungen vorgenommen wurden. So wird nur die Verknüpfung von Sendungen erlaubt, die jeweils alleine auf einer Tour durchgeführt werden. Es werden daher keine Sendungen aus bereits bestehenden Teilladungstouren herausgelöst und umgesetzt. Zum anderen wurde die maximale Größe der untersuchten Teilmengen auf 10 begrenzt. Da die Menge der Teilmengen mit einer Größe von $O(2^n)$ abgeschätzt werden kann, ist diese Reduzierung ein notwendiger Schritt, um diesen Operator in akzeptabler Rechenzeit durchführen zu können.

Sendungsverschiebung: Bei diesem Operator werden Nachbarlösungen durch das Verschieben einer einzelnen Sendung von einer Tour zu einer anderen Tour erzeugt. Im Gegensatz zur Tourenverschmelzung kann durch einen Relocate im Inneren einer Tour die Sendung beliebig verschoben werden. Damit ist das Potenzial dieser Nachbarschaft deutlich größer.

Die beschriebenen nachbarschaftsgenerierenden Operatoren werden in eine iterierte Nachbarschaftssuche eingebettet. Diese verläuft dergestalt, dass ausgehend von einer initialen Lösung die Nachbarschaft erzeugt und in dieser Nachbarschaft die beste Lösung bestimmt wird. Danach wird diese beste Lösung als Ausgangspunkt einer weiteren Suche in der von dieser Lösung aufgespannten Nachbarschaft. Diese Iteration wird solange wiederholt, bis die Ausgangslösung gleichzeitig auch die beste Lösung ihrer Nachbarschaft ist. Somit wurde ein lokales Optimum bestimmt und an den Benutzer ausgegeben.

Als Zielfunktion der Optimierung wird die Minimierung der Gesamtkosten aller Touren und die Einhaltung der Restriktionen bestimmt, wobei Überschreitungen von Restriktionen durch Strafterme geahndet werden.

Zur beschleunigten Auswertung von Lösungen einer Nachbarschaft wird das Superkunden-Konzept von REINHOLZ (2003) eingesetzt, wobei durch eine global vorberechnete Superkunden-Matrix der Aufwand zur Erzeugung der Nachbarschaftslösungen drastisch gesenkt werden kann.

4 Ergebnisanalyse

Durch die Modellierung des Systems und des Einsatzes der zuvor beschriebenen Algorithmen ist es nun möglich, mit den vorliegenden Daten eine neue, auf den festgelegten Restriktionen basierende optimale Lösung zu ermitteln. Das Ergebnis der Optimierungsrechnung sind Tourenvorschläge zur Abholung sämtlicher Materialbedarfe für das Empfangswerk. Diese können denen im Status Quo unter Nutzung der konventionellen Transportkonzepte gefahrenen Transporten für die Sendungen gegenübergestellt werden. Somit ergibt sich eine Vergleichsmöglichkeit zwischen dem aktuellen Kostenansatz und dem nach der Optimierung. Exemplarisch sollen im Folgenden zwei Transporte analysiert und die Konsequenzen im Hinblick auf die Kostenverteilung diskutiert werden.

4.1 Allgemeine Erläuterungen

Den Berechnungen und Analysen liegen neben der eigentlichen Entwicklung des Modells aufwändige Vorarbeiten zu Grunde, um das Modell mit den vorliegenden Kosten der Realität vergleichbar zu machen. Der Kern dieser Aktivitäten ist die als die Skalierung des Modells zu bezeichnen. Die Aktivitäten sind im Wesentlichen in der folgenden Aufzählung zusammen gefasst. Eine detaillierte Erläuterung ist in der Arbeit von FLENDER (2009) nachzulesen.

1. Ermittlung von Ausgangsdaten mit Transportkosten je vorhandener Relation (KLV/SLV)
2. Selektion von datenmäßig-theoretisch rekonstruierbaren Relationen
3. Berechnung der Kosten zu den Relationen mit Hilfe der entwickelten Kostenfunktionen
4. Skalierung der Kostenfunktionen und Anpassungen des Modells
5. Gütemessung der Kostenfunktionen
6. Relationsbasierte Nachbildung / Neuberechnung der Transportnetzkosten (Transportkosten KLV/SLV)
7. Neuberechnung der Transportnetzkosten unter Einbeziehung / Bildung von TLV
8. Plausibilitätsprüfung und Analyse der ermittelten Routen

Durch die Berechnungen ist bestätigt worden, dass der Einsatz von Teilladungsverkehren signifikante Einsparungsmöglichkeiten bietet. Die zu Grunde gelegten Annahmen der reinen Leistungserbringungskosten sowie der Restriktionen bei der Kombination von Sendungen /Aufträgen lassen damit Einsparungen im einstelligen Prozentbereich zu. Diese Einsparung entspricht in großen Netzen der Logistik häufig einem mehrstelligen Millionenbetrag in Euro.

Die so ermittelten Daten sind in den folgenden Tabellen 4.1 und 4.2 exemplarisch zur weiteren Analyse dargestellt. Sie basieren auf folgenden Daten:

- TK_ex:** Ursprünglich verwendetes Transportkonzept.
- VG:** Anteilige Auslastung des Transportmittels durch die jeweilige Sendung nach Volumengewicht.
- Ort:** Ort des Lieferanten, an dem die Sendung abgeholt werden muss.
- km_t:** Entfernung zwischen dem Lieferanten (Ort, Quelle) und dem nächsten Lieferanten (Ort, Quelle), bei dem eine Sendung mit dem gleichen Transportmittel als Teilladungsverkehr aufgenommen werden muss.
- km_d:** Direkte Entfernung zwischen dem Lieferanten (Ort, Quelle) und dem Werk (Senke), ohne Umwege oder sonstige Stopps.
- tkm:** Anteiliges Transportaufkommen nach Tonnenkilometer, basierend auf der jeweils direkten Entfernung der Relation, unabhängig von der tatsächlich gefahrenen Strecke.
- Kosten_ex:** Vergleichswert der ursprünglichen Transportkosten als Summe für die drei Sendungen.
- Kosten_neu:** Kosten des TLV als Summe. Die Aufteilung der Kosten auf die Sendungen (zur Ermittlung der individuellen Einsparung) erfolgte durch die anteilige Transportleistung (s.u.) auf Basis der Tonnenkilometer.
- Diff:** Differenz zwischen den tatsächlich bezahlten Transportkosten ohne Verwendung von TLV (basierend auf den nachgebildeten Referenzkosten) und den anteiligen Kosten eines TLV, die auf Basis der anteiligen Tonnenkilometer ermittelt werden.

Die Angabe des ursprünglichen Transportkonzeptes ermöglicht Rückschlüsse auf die Veränderungen durch den Algorithmus aufzuzeigen. Es zeigt sich außerdem, welche Transportkonzeptarten miteinander kombiniert werden und welche Auswirkungen die Veränderungen auf die Kosten/Nutzen-Betrachtung hat.

Die anteilige Auslastung nach Volumengewicht soll eine Indikation geben, zu welchen Teilen die Sendung das Transportmittel auslastet. Diese volumen- und gewichtsorientierte Auslastung ist unabhängig von der tatsächlich gefahrenen Auslastung. Da es nicht möglich ist, Sendungen während der Tour, d. h. vor dem Erreichen des letzten Knotenpunktes, der eigentlichen Senke, abzuladen, zeigt dieser Wert die eigentliche kapazitive Belastung des Transportmittels durch die Sendung. Der Algorithmus berücksichtigt in dem Sinne zwar keine Opportunitätskosten; durch die Optimierung werden allerdings netzwerkweit verschiedene Kombinationsmöglichkeiten untersucht, wodurch die ganzheitlich günstigste Lösung gefunden werden soll.

Durch die Angabe des Abholortes ist es möglich, die Route zum Empfangsort Wolfsburg zu visualisieren.

Bei der Ermittlung der Kosten existieren verschiedene Herausforderungen. Die tatsächlichen Transportkosten wurden sowohl in der Praxis als auch bei der Nachbildung, sowie bei KLV und SLV, auf Basis der direkten Entfernungen je Sendung ermittelt. Auf Basis dieser Entfernung muss auch die anteilige, ursprünglich benötigte Transportleistung bewertet werden, da diese den eigentlichen Nutzen für den Frachtzahler darstellt. Gemäß dieser anteiligen Ressourcennutzung werden auch die real angefallenen Transportkosten aufgeteilt. Die ursprünglichen Transportkosten je Sendung wurden den Vergleichsrechnungen entnommen. Durch die Differenz werden

“Sieger und Verlierer” der TLV deutlich. Das Verhältnis wird im Folgenden exemplarisch für zwei Routen im Detail diskutiert.

4.2 Tour 2156 / Haldensleben-Wolfsburg

TK ex	VG	Ort	km t	km d	tkm	Kosten ex	Kosten neu
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	
						244,81 €	232,00 €

Tabelle 4.1: Analysewerte zu Tour 2156

Tour 2156 besteht aus drei Sendungen von zwei unterschiedlichen Lieferanten, einem in Haldensleben und einem in Bueddensted. Ziel ist das Automobilwerk Wolfsburg. Abbildung 4.1 zeigt die gefahrene Route, die sich nach der Optimierungsrechnung ergibt.

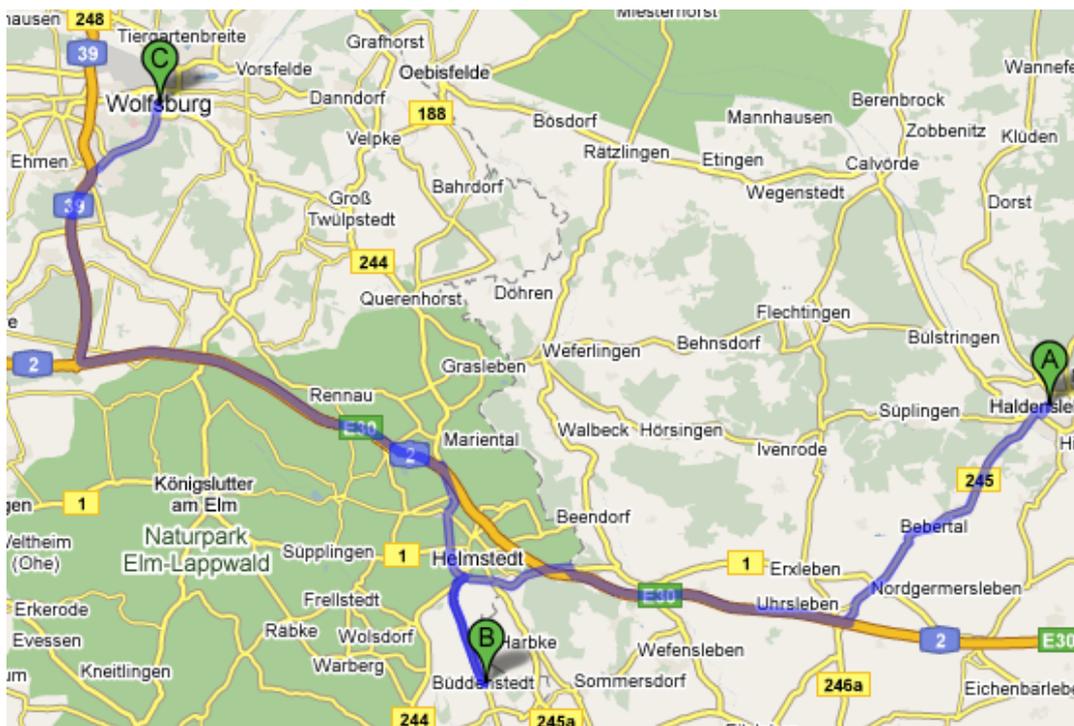


Abbildung 4.1: Fahrtroute der Tour 2156 nach der Optimierung (Quelle: Google Maps)

Die Kosten vor der Optimierung für den Transport dieser drei Sendungen betrugen in Summe 244,81 EUR, wobei alle drei Sendungen als Sammelladungsverkehr transportiert wurden (Tabelle 4.1). Der genaue Fahrweg des LKWs im Sammelladungsverkehr ist naturgemäß für den Auftraggeber nicht nachzuvollziehen.

Die Einspeisung der Sendungsdaten in den Tourenplaner ergeben folgendes optimales Ergebnis: die Gesamtkosten nach der Optimierung liegen bei 232 EUR und der Transport wird als Teilladungsverkehr durchgeführt und abgerechnet. Da nun alle drei Sendungen als Meta-Sendung abgerechnet werden und nicht mehr als einzelne Sendungen, wie das bei einem Sammelgutverkehr der Fall ist, sind nur die Gesamtkosten des Transports bekannt, die resultierende Kostenaufteilung jedoch offen.

Offensichtlich ist die Kooperation in diesem Fall sinnvoll, da die Gesamtkosten für den Transport um ca. 5% gesenkt werden konnten. Doch wie können die Gesamtkosten auf die beiden Akteure aufgeteilt werden, so dass diese sich auch individuell im Vergleich zum Status quo besser stellen? Potentielle Möglichkeiten zur Aufteilung dieser Gesamtkosten auf die zwei Lieferanten werden im folgenden Kapitel 4.4 diskutiert.

4.3 Tour 1092 / Kassel-Wolfsburg

TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	
						470,47 €	384,00 €

Tabelle 4.2: Analysewerte zu Tour 1092

Tour 1092 umfasst ebenfalls drei Sendungen von drei unterschiedlichen Lieferanten, wobei zwei in unmittelbarer Nähe zueinander abgeholt werden. Diese beiden befinden sich im Raum Kassel, während der dritte Lieferant in Goslar liegt. Tabelle 4.2 zeigt die gefahrene Route nach Einspeisung in das mathematische Optimierungsmodell.

Die Gesamtkosten der drei Sendungen vor der Optimierung betragen in Summe 693 EUR. Die beiden Sendungen aus Kassel wurden als Sammelgut transportiert, während der Versand aus Goslar als Komplettladungsverkehr erfolgte.

Die Optimierungsrechnung hilft, die Gesamtkosten auf 384 EUR und damit um 18% zu reduzieren. Wie bereits in der vorangegangenen Tour wird auch hier ein Teilladungsverkehr als günstigste Gesamtlösung errechnet.

4.4 Cost Benefit Sharing: Reallokationsstrategien und Konsequenzen

Die Verteilung von Kosten auf den beteiligten Akteure einer Kooperation wurde im SFB 559 detailliert untersucht und für das entwickelte Verfahren hat sich der Begriff Cost Benefit Sharing eingebürgert.¹ Das Umlegen von Gesamtkosten auf einzelne Akteure erfolgt dabei mit Hilfe so genannter Reallokationsstrategien.

¹RIHA (2008).



Abbildung 4.2: Fahrtroute der Tour 1092 nach der Optimierung (Quelle: Google Maps)

Grundsätzlich wird zwischen leistungsabhängigen und leistungsunabhängigen Reallokationsstrategien unterschieden. Bei leistungsabhängigen Strategien werden die Kosten in einer Abhängigkeit von den in Anspruch genommenen Leistungen aus der Kooperation umgelegt. Leistungsunabhängige Strategien hingegen allokatieren Ressourcen unabhängig vom Leistungsbezug. Bereits in RIHA (2008) und CRAMER et al. (2008) wurde festgestellt, dass keine allgemein und global gültige Auswahl einer Reallokationsstrategie getroffen werden kann, sondern dass die Auswahl derselbigen ausschließlich innerhalb eines sozialen, kommunikativen Aushandlungsprozesses zwischen den beteiligten Kooperationspartnern erfolgen kann. Ebenso gibt es vielfältige Diskussionen um die Begrifflichkeit einer "fairen" Kostenallokation.

Bezugnehmend auf DROR/HARTMANN (2007) S. 1ff. wird in diesem Beitrag eine Allokation als fair angesehen, wenn sich kein Akteur durch eine Kooperation schlechterstellt als ohne sie. Dabei sind jedoch noch weitere nichttriviale Randbedingungen wie z. B. die Gesamtkostenreduktion zu berücksichtigen.

Den Grundideen der Arbeit von RIHA (2008) S. 129ff. folgend werden nun verschiedene Reallokationsstrategien entwickelt, die in der Fallstudie der Transportkostenaufteilung angewendet werden können. Neben den hier vorgestellten Reallokationsstrategien sind auch andere Strategien möglich oder Kombinationen aus den vorgestellten. Die exemplarischen Rechenergebnisse der Auswirkungen werden in Tabelle 4.3 dargestellt.

Verrechnung nach Anzahl Aufträge Es werden dabei die Gesamtkosten einer Tour durch die entsprechende Anzahl Sendungen oder Aufträge dividiert. Das proportionale Umlegen der Gesamtkosten auf eine einzelne Sendung hat einen leistungsunabhängigen Charakter, denn es berücksichtigt nicht das Volumengewicht einer Sendung. Der Transport einer bestimmten Sendung über 10km würde genausoviel kosten wie der Transport der gleichen

Sendung über 100km auf der selben Tour.

Verrechnung zu gleichen Teilen nach Anzahl kooperierender Auftraggeber/-nehmer

Die Kosten werden gleichmäßig nach der Anzahl der Auftraggeber/ -nehmer bzw. Kostenstellen aufgeteilt.

Verrechnung anteilig wie ohne Kooperation Bei dieser Reallokationsstrategie werden die kooperativen Gesamtkosten in den gleichen Verhältnissen auf die Akteure aufgeteilt, wie sich das Verhältnis der jeweiligen Individualkosten ohne Kooperationen darstellen würde. Diese alternativen Kosten müssen entweder aus historischen Daten oder durch Vergleichsrechnungen ermittelt werden.

Verrechnung nach Volumengewicht Bei dieser Strategie entspricht der Anteil der zu tragenden Kosten dem Volumengewicht der Sendungen eines Akteurs in Bezug zum Gesamtvolumen auf dem Transportmittel, ist aber unabhängig von der Entfernung über die die Sendung transportiert werden muss.

Verrechnung nach Tonnenkilometern Die leistungsabhängige Verrechnung nach Tonnenkilometern berücksichtigt die Inanspruchnahme der verfügbaren Frachtkapazitäten als auch die in Anspruch genommene Transportleistung in Abhängigkeit zur Entfernung. Bei der konventionellen Berechnung der Tonnenkilometer wird lediglich das Gewicht der Sendung in Tonnen mit der Entfernung in Kilometern multipliziert. Zur gerechteren Berechnung muss bei diesem Ansatz das Gewicht durch das Volumengewicht ersetzt werden, um Sendungen mit kleinem Gewicht aber großem Volumen entsprechend ihres Ressourcennutzungsgrades zu berücksichtigen. Außerdem sollte zum Nutzenvergleich nicht die der Transportleistung zu Grunde liegende tatsächlich gefahrende Entfernung verwendet werden, sondern die direkte Entfernung zwischen Quelle und Senke. Diese spiegelt den eigentlichen Nutzen des Transportes wieder.

Als mögliche Strategien zur Zuteilung von Kosten zu einem einzelnen Auftrag wird die Aufteilung nach der Anzahl an Aufträgen, die Aufteilung nach verursachten Tonnenkilometern und die Aufteilung nach anteiliger LKW-Auslastung diskutiert.

Die Reallokationsstrategie, eine Rechenvorschrift, beschreibt eine Zuordnung von Gesamtkosten auf einzelne Kostenträger unter Heranziehung bestimmter Schlüsselungskriterien.

Bei TLV entsteht für eine Menge von Transportaufträgen, die einer Menge von Absendern und Empfängern zuzuordnen sind, eine bestimmte Transportkostensumme. Wird angestrebt, die bisherigen Transportkonzepte mit Einzelsendungsfakturierung durch einen Teilladungsverkehr abzulösen, ist diese Summe einzelnen Kostenträgern zuzuordnen. Diese Zuordnung ist jedoch nichttrivial. Denn den Kosten als TLV stehen als Vergleichsmaßstab die Kosten der isolierten Abwicklung als SLV oder KLV gegenüber.

Die in einem TLV erbrachten Transportleistungen wurden vor der Gesamtoptimierung im Rahmen anderer Transportkonzepte erfüllt. Der Kostenträger kennt daher in der Regel einen Vergleichspreis, der für die Leistungserbringung als obere Preisschranke angesehen werden kann, da der Auftraggeber nicht bereit sein wird, bei gleichbleibendem Nutzen mehr zu bezahlen. Diese Kostenschranke zu ermitteln ist in der Regel über bestehende Tarifwerke, realer Fakturierungsdaten oder Erfahrungswerte möglich. Den entsprechenden Vergleichswert eines isolierten Auftrages innerhalb eines TLV zu ermitteln, ist dagegen nicht ohne weiteres möglich, da der auf den Auftrag anfallende Anteil der Gesamtkosten ermittelt werden muss. Die dazu anwendbaren

(1) Verrechnung nach Anzahl Aufträgen									
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	77,33 €	+ 100%	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	77,33 €	- 20%	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	77,33 €	- 30%	
						244,81 €	232,00 €	- 5%	
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	128,00 €	- 55%	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	128,00 €	+ 263%	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	128,00 €	- 15%	
						470,47 €	384,00 €	- 18%	
(2) Verrechnung zu gleichen Teilen nach Anzahl der Kunden									
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	77,33 €	+ 100%	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	77,33 €	- 20%	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	77,33 €	- 30%	
						244,81 €	232,00 €	- 5%	
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	128,00 €	- 55%	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	128,00 €	+ 263%	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	128,00 €	- 15%	
						470,47 €	384,00 €	- 18%	
(3) Verrechnung anteilig wie ohne Kooperation									
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	36,65 €	- 5%	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	91,16 €	- 5%	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	104,20 €	- 5%	
						244,81 €	232,00 €	- 5%	
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	232,50 €	- 18%	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	28,81 €	- 18%	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	122,69 €	- 18%	
						470,47 €	384,00 €	- 18%	
(4) Verrechnung nach Volumengewicht									
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	31,64 €	- 18%	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	78,69 €	- 18%	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	121,67 €	+ 11%	
						244,81 €	232,00 €	- 5%	
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	240,26 €	- 16%	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	4,90 €	- 86%	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	138,82 €	- 8%	
						470,47 €	384,00 €	- 18%	
(5) Verrechnung nach Tonnenkilometern									
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	14%	Haldensleben	0	71	17%	38,67 €	39,34 €	+ 2%	
SLV	34%	Haldensleben	47	71	64%	96,19 €	148,55 €	+ 54%	
SLV	52%	Bueddensted	49	49	19%	109,95 €	44,11 €	- 60%	
						244,81 €	232,00 €	- 5%	
TK_ex	VG	Ort	km_t	km_d	tkm	Kosten_ex	Kosten_neu	Diff	
SLV	63%	Kassel	3	186	88%	284,85 €	337,30 €	+ 18%	
SLV	1%	Kassel	120	183	2%	35,29 €	6,76 €	- 81%	
KLV	36%	Goslar	83	83	10%	150,32 €	39,94 €	- 73%	
						470,47 €	384,00 €	- 18%	

Tabelle 4.3: Überblick über die Reallokationsvarianten.

Reallokationsstrategien wurden in diesem Beitrag erläutert.

Die Einführung eines neuen Transportkonzept erzielt einen rechnerischen Gesamtkostenvorteil auf Netzwerkebene. Deutlich wird auch, dass mit Ausnahme der Reallokationsstrategie (3) keine Win-Win-Situationen erzeugt werden. Demnach ist es fraglich, inwiefern die Lösungen akzeptiert werden. Faktisch können jedoch alle Ergebnisse in eine Win-Win-Situation überführt werden, wenn die Zusatzkosten, die die schlechtergestellten Akteure tragen müssten, durch die Kooperationsgewinner zumindest ausgeglichen würden. Dieses Ergebnis ist konkludent mit den Beobachtungen aus RIHA (2008) S.134ff. und hat dazu geführt, die Reallokationsstrategien unter Robustheits- und Zuverlässigkeitsaspekten genauer zu untersuchen².

²KÜNZLER (2008).

5 Zusammenfassung

Bei der Zusammenlegung von einzeln fakturierten Sendungen autonomer Kostenstellenverantwortlicher zu einem Gesamttransport lässt sich eine typische Ausprägung des Agency-Problems beobachten. So zeigen sich in beiden exemplarischen Touren dieser Ausarbeitung signifikante Reduzierungen der Gesamtkosten zwischen der bisherigen Sammelgutabwicklungen und den durch den Optimierer vorgeschlagenen Teilladungsverkehren. Stellt man sich nun den Konzern als Prinzipal und die transportbeauftragenden Abteilungen als Agenten vor, so wird deutlich, dass der Prinzipal als Kostensammler ein Interesse hat, seine Gesamttransportkosten zu verringern. Auf der höchstaggregierten Ebene des Cost Benefit Sharing ist daher eine klare Favorisierung der Optimierungslösung bzw. der Teilladungsverkehre erkennbar.

Möglich wird diese Einsparung durch die effiziente Nutzung von Frachtraum gekoppelt mit dem entsprechend angepassten Einkauf der Leistungen bzw. Tarifierung. Mit Hilfe eines Optimierungsmodells wurde nachgewiesen, dass sich Gesamtkosteneinsparungen im oberen einprozentigen Prozentbereich realisieren lassen. Dabei wurde eine an die realen Tarife angelehnte Nachbildung der Kosten als Grundlage verwendet. Es wurde deutlich, dass sich trotz Umwegen und zusätzlichen Kosten je Stopp die Kosten reduzieren lassen. Durch die immanente planmäßige Zusammenführung von Transportaufträgen und die sich damit ergebende Abwicklung der konsolidierten Aufträge mit einem einzigen Transportmittel als Teilladungsverkehr, lassen sich die Gesamtkosten in einem Netzwerk reduzieren.

Ein detaillierter Blick auf die Ergebnisse der Kostenverteilung gemäß der genannten Reallokationsstrategien zeigt dagegen deutlich, dass nicht alle eigenverantwortlichen Akteure die Konsequenzen der Optimierung akzeptieren werden, solange ihr Anreiz darin besteht, die bei ihnen anfallende Kosten zu minimieren. Denn verglichen mit der Ausgangssituation zeigen sich längst nicht bei allen Akteuren Kosteneinsparungen. Bleibt also eine individuelle Erreichung von Kostenzielen, wie heute in Cost Centern üblich, maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Organisationsleistung, dann sind die bislang beschriebenen Reallokationsstrategien nur bedingt anwendbar.

Es gibt allerdings die Möglichkeit, die Verlierer zu kompensieren, sofern sich die Gesamtkosten im Vergleich zur Ausgangssituation verringern. Wird der oder die Verlierer einer Kooperation mindestens soweit kompensiert, dass er sich nicht schlechterstellt, so ist dieser Akteur der Kooperation gegenüber indifferent und wird einer solchen Lösung zustimmen.

Besser jedoch wäre es, wenn man die Anreizsysteme der individuellen Erfolgsüberwachung im Sinne einer Gesamtkostenverantwortung modifiziert, sodass eine lokale Optimierung auf Kosten globaler und wirksamer Einsparungen abgelöst wird.

Literaturverzeichnis

- Clausen U.; Vastag, A. et al.:** Handbuch der Verkehrslogistik. Berlin u.a.: Springer-Verlag, 1998.
- Cramer, S. et al.:** Techniksoziologische Betrachtung des Cost Benefit Sharing am Beispiel eines Lufttransportnetzes. Technische Universität Dortmund, 2008 (TR 08006). – Technical Report, Sonderforschungsbereich 559.
- Dror, M./Hartmann, B.:** Shipment Consolidation: Who pays for it and how much? *Management Science*, 53 (1) 2007, S. 78–87.
- Flender, H.:** Modellgestützte Analyse von Versorgungsnetzen der Automobilindustrie. 2009.
- Happe, H.:** Kostenabhängige Bewertung und Skalierung von Transportkonzepten in der Automobilindustrie. 2007.
- Künzler, O.:** Entwicklung eines simulationsbasierten Assistenzsystems zur Auswahl robuster Reallokationsstrategien im Cost Benefit Sharing für Supply Chains. Diplomarbeit, 2008.
- Reinholz, A.:** How to design efficient iterated local search, variable neighborhood search and hybrid evolutionary algorithms for periodic multi depot vehicle routing problems (tutorial). In 5th Metaheuristics International Conference (MIC 03), Kyoto, Japan. Fachbereich Informatik, Lehrstuhl Algorithm Engineering, 2003.
- Riha, I.:** Entwicklung einer Methode für das Cost Benefit Sharing in Logistiknetzwerken. Dissertation Technische Universität Dortmund, 2008.
- Schneider, H.:** Umsetzung und Leistungsbewertung eines objektorientierten Modellierungskonzeptes für Rich Vehicle Routing Problems. Diplomarbeit, Technische Universität Dortmund, 2008.
- Toth, P./Vigo, D.:** The Vehicle Routing Problem. Philadelphia: Siam monographs on discrete mathematics and applications, 2002.
- Werner, H.:** Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2002.

Sonderforschungsbereich 559

Bisher erschienene Technical Reports

- 07002 Arnd Bernsmann, Peter Buchholz, Stephan Kessler, Andreas Reinholz, Britta von Haaren, Markus Witthaut: Bewertungs- und Dimensionierungsmethoden im Sonderforschungsbereich 559
- 07003 Jochen Bernhard, Kay Hömberg, Lars Nagel, Iwo Riha, Christoph Schürmann, Harald Sieke, Marcus Völker: Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung
- 07004 Kay Hömberg, Jan Hustadt, Dirk Jodin, Joachim Kochsiek, Lars Nagel, Iwo Riha: Basisprozesse für die Modellierung in großen Netzen der Logistik
- 07005 Kay Hömberg, Dirk Jodin, Reineke: Bewertung und Kategorisierung der Methoden zur Datenerhebung
- 07006 Jochen Bernhard, Miroslaw Dragan: Bewertung der Informationsgüte in der Informationsgewinnung für die modellgestützte Analyse großer Netze der Logistik
- 07007 Britta von Haaren, Tatjana Malyshko: Integration of Velos-Simulation-Results into the Supply Chain Balanced Scorecard
- 07008 Britta von Haaren, Ivana Humpolcová: Ansätze zur Systematisierung des Instrumentariums zum Supply-Chain-Risikomanagement
- 08001 Jan Hombergs, Iwo Riha: Softwareauswahl für den Einsatz von Cost Benefit Sharing in Logistiknetzwerken
- 08002 Jörg Zellerhoff: Modellierung eines Informationssystems für ein ‚Virtuelles Lager‘
- 08003 Egon Jehle: Bereitstellungswege- und organisatorische Zuordnungsmodelle für das Supply Chain Finance
- 08004 Dietmar Ebel: Bestandsmanagement im „Virtuellen Lager“
- 08005 Niklas Hering, Markus Witthaut, Gökhan Yüzgülec: Simulativer Vergleich der SCM-Strategie Information Sharing mit konventionellen SCM-Strategien
- 08006 Stephan Cramer, Tibor Hertelendy, Iwo Riha, Harald Sieke: Techniksoziologische Betrachtung des Cost Benefit Sharing am Beispiel eines Lufttransportnetzes
- 08007 Heiko Flender, Iwo Riha, Andreas Reinholz, Holger Schneider: Entwicklung und Leistungsbewertung erweiterter Nachbarschaftssuchkonzepte für die Depotstandortoptimierung in Transportnetzen

Alle Technical Reports können im Internet unter
<http://www.sfb559.uni-dortmund.de/>
abgerufen werden. Für eine Druckversion wenden Sie
sich bitte an die SFB-Geschäftsstelle
E-Mail: andrea.zoeller@iml.fraunhofer.de