

Strategien für die Auftragsdisposition in Speditionsunternehmen

Herbert Kopfer¹, Heiko Wieland Kopfer², Marta Anna Krajewska¹, Ulrich Stache²

¹Universität Bremen, FB 7, Lehrstuhl für Logistik, Wilhelm-Herbst-Straße 5, 28359 Bremen
{kopfer,marta14}@uni-bremen.de

²Universität Siegen, FB 11, Institut für Systemtechnik, Paul-Bonatz-Straße 9, 57068 Siegen
heiko-kopfer@web.de, ulrich.stache@uni-siegen.de

Abstract. The focus of this paper consists in the operational transportation planning and especially the integration of the traditional vehicle routing and scheduling of the own vehicle fleet with the resource planning of subcontractors' fleet, paid for fulfillment on the basis of different tariffs. Two planning approaches are proposed for this problem: the common approach used in most freight forwarding companies nowadays, and an alternative, new 'bundle-oriented' approach. The first analytical results show that the new approach generates results of essentially better quality.

Keywords: vehicle routing, operational transportation planning, self-fulfillment, subcontraction

1 Einleitung

Der Strukturwandel im Transportgewerbe und der daraus resultierende verschärfte Wettbewerb im Gütertransportmarkt erfordern eine ständige Effizienzsteigerung bei der Erbringung der gewerblichen Transportdienstleistungen. Ferner verursacht die Aufforderung zur Verkehrsminderung aufgrund infrastruktureller Engpässe und wachsenden ökologischen Bewusstseins zusätzlichen Druck auf die Transportdienstleister [13]. Darüber hinaus steigen mit der zunehmenden Vernetzung der Handelsbeziehungen die Intensität des Warenaustausches sowie die Ansprüche an die Zuverlässigkeit und Flexibilität von Transportleistungen.

Auf europäischer Ebene kann man beobachten, dass der Transportmarkt im Straßengüterverkehr bei steigenden Volumen einem ständig zunehmenden Wettbewerbsdruck unterliegt. Aufgrund der EU-Erweiterung haben sich der Preisdruck und die Wettbewerbssituation nochmals verschärft. Die Frachtraten für den Direktverkehr zwischen den alten und den neuen EU-Ländern sind in dem ersten Jahr nach der Erweiterung um 20% gefallen und haben sich in der Folgezeit auf einem niedrigen Niveau stabilisiert [1]. Dies hat bei den Versendern zu einem gestiegenen Kostenbewusstsein geführt. Die angespannte Wettbewerbssituation, die nicht zuletzt aus dem hohen Grad an Substituierbarkeit resultiert, zwingt zu neuen Maßnahmen, um weitere Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen. Die Anforderungen an die Kosteneffizienz, Flexibilität und Zuverlässigkeit von

Transportdienstleistungen erfordern eine noch bessere Planung der vorhandenen knappen Transportmittel und die Suche nach zusätzlichen, variabel nutzbaren Ressourcen [6].

Der Markt im Straßengüterverkehr ist sehr empfindlich. Einerseits verursachen große Schwankungen der Transportnachfrage, dass die Auslastung eines einzelnen Spediteurs in kurzer Zeit sehr stark variiert [2]. Andererseits beeinträchtigt die Ablehnung von Aufträgen die Kundenloyalität sowie das Vertrauen in die Kompetenz des Spediteurs. In der Geschäftsbeziehung zu langfristigen guten Kunden wird folglich die Annahme aller eingehenden Aufträge angestrebt. Eine entsprechende Erhöhung der Kapazität des eigenen Fuhrparks stellt keine geeignete Maßnahme dar. Denn das Vorhalten von Transportkapazitäten ist mit sehr hohen Fixkosten (z.B. Kapitalbindung, Steuern, Versicherung für Fahrzeuge, Löhne für Fahrer, etc.) verbunden, während die variablen Kosten trotz erhöhter Kraftstoffpreise und Maut immer noch relativ gering ausfallen. Deshalb haben die meisten Spediteure die Größe ihres Fuhrparks bis auf ein Niveau reduziert, das weit unterhalb der unteren Schranke für die variierende Nachfrage liegt. Auf diese Weise kann die Auslastung des eigenen Fuhrparks sichergestellt werden. Zur Abdeckung des Anteils der Aufträge, die nicht mit eigenen Fahrzeugen ausgeführt werden können, werden zusätzliche Kapazitäten kurzfristig besorgt. Die mit den Ressourcen des eigenen Fuhrparks nicht zu bewältigenden Aufträge werden dabei an externe Frachtführer vergeben, die in Abhängigkeit von individuell vereinbarten Regelungen zu unterschiedlichen Bedingungen entlohnt werden. Um die Möglichkeiten der Kostenreduktion, die die Fremdvergabe eröffnet, effizienzsteigernd zu nutzen, muss im Rahmen der Auftragsdisposition eine integrierte Planung der gesamten Auftragsbewältigung erfolgen. Dies hat eine Erweiterung des üblichen Tourenplanungsproblems auf eine integrierte operative Transportplanung zur Folge, bei der sowohl der eigene Fuhrpark als auch die verschiedenen Formen der Fremdvergabe verplant werden. Obwohl die Tourenplanung seit Jahrzehnten intensiv erforscht wird, gibt es bislang nur wenige Forschungsarbeiten zu Modellen und Verfahren für die erweiterte integrierte Problemstellung.

Das nachfolgende Kapitel 2 liefert eine Einführung in die Problemstellung der Auftragsdisposition in Speditionsunternehmen. Kapitel 3 besteht in der Konkretisierung dieser Planungssituation. Betrachtet wird ein Problem der Tourenplanung, bei dem ein eigener Fuhrpark um zusätzlich einsetzbare Frachtführer mit zuvor vereinbarten Regelungen für die Frachtberechnung ergänzt wird. Für dieses Problem werden in Kapitel 4 eine in der Praxis übliche Planungsstrategie und eine neue, hier vorgeschlagene bündel-orientierte Strategie vorgestellt und miteinander verglichen. Kapitel 5 widmet sich der Erprobung und der Evaluierung der beiden Strategien anhand eines Beispiels. In Kapitel 6 folgen ein Fazit und ein Ausblick auf weitere Forschungsfragen.

2 Das Planungsproblem der integrierten Auftragsdisposition

Im Teil- und Komplettladungsverkehr nehmen Spediteure Transportaufträge von verschiedenen Auftraggebern entgegen, die dann unter Nutzung eigener und fremder

Ressourcen konsolidiert, eingeplant und ohne Umschlag durchgeführt werden. Bei den anfallenden Fremdfrachten ist zwischen Frachtführern mit unterschiedlichen Kostenstrukturen und Abrechnungsmodi zu differenzieren. Im Folgenden wird die Planungssituation der Auftragsdisposition näher beschrieben.

Speditionsunternehmen mit eigenem Fuhrpark müssen bei der täglichen Disposition entscheiden, welche der vorliegenden Transportaufträge sie mit eigenen Fahrzeugen durchführen wollen (Selbsteintritt) und welche Aufträge sie an externe Frachtführer möglichst gewinnbringend weitervermitteln (Fremdvergabe) wollen. Der gesamte Planungsprozess wird als integrierte Auftragsdisposition [12] oder expeditionelles Dispositionsproblem mit Fremdvergabe [13] bezeichnet. Die Planung erfolgt auf drei Ebenen, auf denen Entscheidungsträger aufgrund unterschiedlicher Kriterien die vorliegenden Transportaufträge einplanen. Sie umfasst die Ebene der Modusplanung (Aufspalten der Menge der Aufträge in Selbsteintritt und der Fremdvergabe), die Ebene der Tourenplanung (Minimierung der Selbstkosten) und die Ebene der Frachtkonsolidierung (Minimierung der Fremdfrachten). Abbildung 1 skizziert die Abhängigkeiten zwischen den Teilproblemen der Auftragsdisposition.

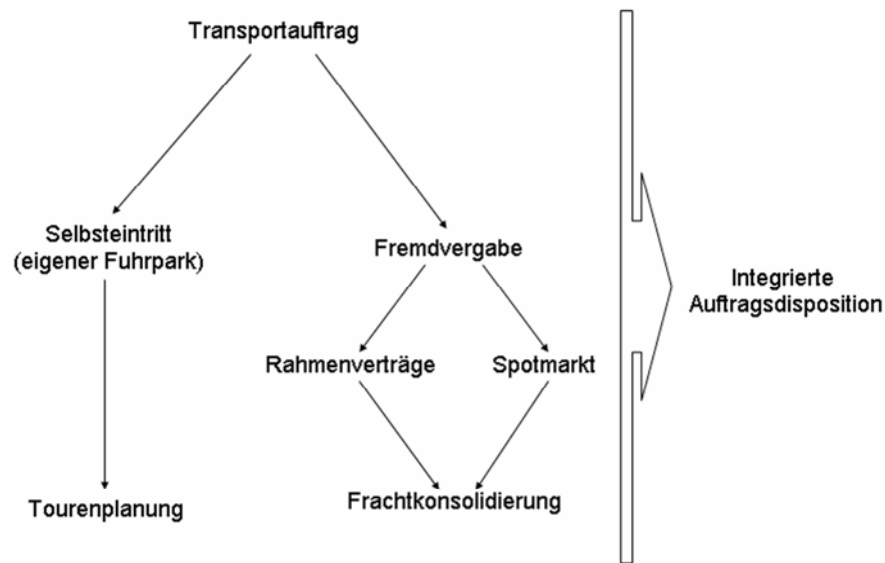


Abb. 1. Teilprobleme der integrierten Auftragsdisposition (Quelle: [11]).

Für die im Selbsteintritt auszuführenden Aufträge erfolgt eine Tourenplanung, bei der die Fahrzeuge der eigenen Flotte mit der Zielsetzung der Minimierung der anfallenden Selbstkosten verplant werden. Bei der für die Fremdvergabe vorgesehenen Teilmenge der Aufträge können die anfallenden Kosten, die aufgrund der Durchführung der Transporte durch Dritte entstehen, ebenfalls durch geschickte Planung beeinflusst werden. Dies geschieht mittels geeigneter Gestaltungsmaßnahmen bei der Bündelung der an die Frachtführer vergebenen Aufträge zu Auf-

tragspaketen, durch die Ausnutzung der mit den Frachtführern vereinbarten Konditionen für die Frachtberechnung und durch eine günstige Zuordnung von Auftragsbündeln zu Frachtführern.

Mit regelmäßig beschäftigten Frachtführern sind Rahmenverträge vereinbart, die die Frachtberechnung regeln. Darüber hinaus können weitere Frachtführer aus dem Spotmarkt gewonnen werden und beschäftigt werden. Einige der Frachtführer aus dem Spotmarkt werden auf tariflicher Basis entlohnt, andere zu aktuell neu auszuhandelnden Tagespreisen.

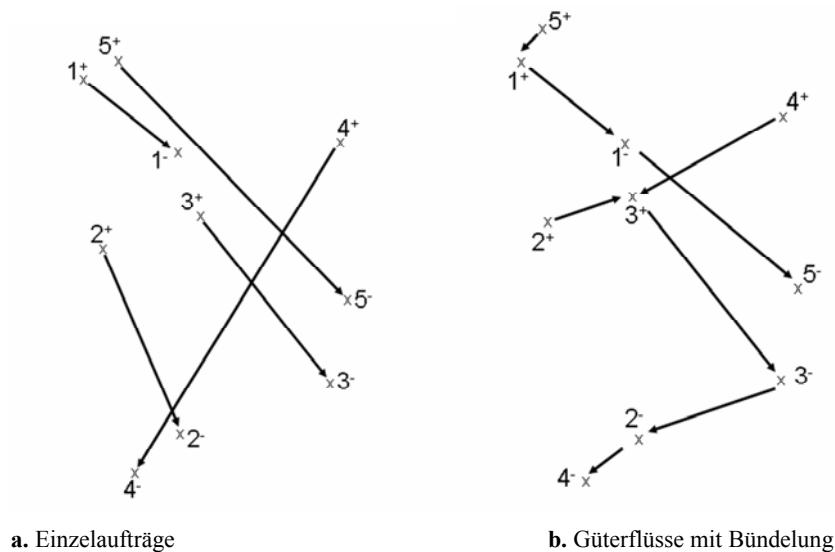


Abb. 2. Bündelung bei der Frachtkonsolidierung.

Bei den auf tariflicher Basis gelegentlich beschäftigten Frachtführern handelt es sich um Logistikdienstleister, die die vermittelten Aufträge mit ihren sonstigen Transportdienstleistungen kombinieren. Sie sind in der Lage, Aufträge zu einem vorher vereinbarten Tarif, der zur Frachtkostenberechnung verwendet wird, zu übernehmen. Die Frachtkosten hängen natürlich nicht von dem anfallenden Aufwand (z.B. Länge der gebildeten Touren) ab, da die gebildeten Touren durch Kombination mit Aufträgen anderer Auftraggeber sehr unterschiedlich ausfallen können. Das Entgelt ergibt sich ausschließlich in Abhängigkeit von der erbrachten Transportleistung, die aufgrund der Menge der transportierten Güter und den Entfernungen zwischen Be- und Entladeorten ermittelt wird. Somit werden die Frachtkosten in diesem Fall auf Basis der Güterflüsse bestimmt, die durch die übermittelten Transportaufträge ausgelöst werden. Das Optimierungsproblem, das sich aus der Ermittlung der minimalen Frachtkosten für ein Bündel von Aufträgen ergibt, besteht in der Bestimmung eines kostenminimalen Flusses durch das vorgegebene Transportnetz. Die Frachttarife orientieren sich bezüglich ihres Verlaufs grundsätzlich an dem ehemaligen Güterferntarif (GFT), der bis zum Jahr 1994

gesetzlich vorgeschrieben war und der auch heute noch in Form von Empfehlungen in der Speditionsbranche gebräuchlich ist. Aufgrund des degressiven Kostenverlaufs resultieren die Hauptkosteneinsparungen aus der Konsolidierung der Teilladungen in Vollladungen [5], weil als Parameter im GFT grundsätzlich Entfernung und Lademenge betrachtet werden. Bei den verwendeten Tarifen ist der Kostenanstieg in Abhängigkeit von dem Ladungsgewicht nicht linear. Die Bündelung der Aufträge führt somit zu einer niedrigeren Fracht als der separate Transport der einzelnen Teilaufträge. Dieses speziell auf die Fremdvergabe bei tariflicher Abrechnung ausgerichtete Optimierungsproblem wird als Frachtoptimierungsproblem (FOP) bezeichnet [7], [8], [9], [13]. Abbildung 2 zeigt fünf Aufträge (Abb. 2a), die zu zwei Bündeln zusammengefasst werden (Abb. 2b). Jedes Bündel stellt den Güterfluss von den zugehörigen Beladeorten zu den Entladeorten sicher.

Zu Frachtführern aus dem Spotmarkt, die zu wechselnden Tagespreisen entlohnt werden, bestehen nur lockere, gelegentliche Geschäftsbeziehungen. Die Preise für die von ihnen erbrachten Leistungen hängen von der aktuellen Planungssituation der Geschäftspartner ab. Die mit ihnen realisierten Geschäfte basieren nicht auf irgendwelchen weitergehenden partnerschaftlichen Vereinbarungen. Kommuniziert wird hier in der Regel im Internet mit Hilfe elektronischer Datenbanken, vor allem durch Nutzung von elektronischen Fracht- und Laderaumbörsen, in denen einerseits freier Laderaum von Frachtführern und andererseits Transportaufträge von Versendern kurzfristig zur Vermittlung angeboten werden.

Im Rahmen der Modusplanung hat eine Kraftwagenspedition zu entscheiden, ob ein vorliegender Transportauftrag nach §412 HGB im Selbsteintritt oder als fremdvergebener, d.h. weiterverkaufter Auftrag nach §425 HGB ausgeführt werden soll. Die Modusplanung kann nicht unabhängig von der Planung des Selbsteintritts und der Planung der Fremdvergabe betrachtet werden, da die Vorteilhaftigkeit einer Modusplanung wiederum nur in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Tourenplanung und der Frachtkonsolidierung beurteilt werden kann. Bei einem ungünstigen Splitten der Aufträge aufgrund falscher Entscheidungen der Modusplanung sind keine guten Gesamtlösungen mehr erreichbar [10].

Die Ausgangsobjekte der integrierten Auftragsdisposition sind:

- die Transportaufträge, die durch Be- und Entladeort, entsprechende Be- und Entladezeitfenster sowie Art und Menge der zu befördernden Güter charakterisiert sind,
- eine Anzahl betriebseigener Fahrzeuge für den Selbsteintritt,
- eine Anzahl selbständiger Frachtführer für die Fremdvergabe mit speziellen, individuellen Regelungen für die Frachtberechnung.

Als ein typisches Problem der kurzfristigen Ressourceneinsatzplanung stellt das speditionelle Dispositionsproblem eine Entscheidung auf operativer Ebene dar, bei der die zuvor durch strategische und taktische Planungsentscheidungen festgelegten Vorgaben einzuhalten sind. Zu solchen Vorgaben gehören unter anderem die Entscheidungen bezüglich der Kapazität des Fuhrparks und die langfristigen Vereinbarungen mit Frachtführern. Bei der Disposition werden die Aufträge ausschließlich auf Basis der variablen Kosten im Selbsteintritt und den anfallenden Fremdfrachten bewertet und eingeplant.

An den Entscheidungsprozessen für die Auftragsdisposition sind Verkäufer und Disponenten einer Spedition beteiligt [7]. Für den direkten Kontakt mit den Kunden

und die Annahme von Aufträgen sind die Verkäufer zuständig. Sie unterteilen die ankommenden Aufträge in zwei Gruppen. Zur ersten Gruppe gehören die Aufträge, die nicht zu dem eigenen Leistungsspektrum passen und deshalb von den Verkäufern auf dem Spotmarkt vermittelt werden. Aufträge aus der zweiten Gruppe werden mit den verfügbaren Transportkapazitäten des eigenen Fuhrparks und der Subunternehmer erfüllt. Diese Aufträge werden zur Auftragseinplanung freigegeben, und die Auftragsparameter werden an einen zuständigen Disponenten übermittelt. Für die Einplanung der Aufträge sind ausschließlich die Disponenten verantwortlich. Die Aufträge werden nach geographischen Regionen gruppiert und dem jeweiligen Disponenten zugeordnet. Ein Disponent steht bei jedem Auftrag vor der Wahl, den Auftrag im Selbsteintritt einzuplanen oder einen externen Frachtführer zu beauftragen. Dabei kann der Disponent auf regelmäßig beauftragte Subunternehmer zurückgreifen. Sie werden nach dem Aufwand entlohnt, der durch die ihnen zugeordneten Touren entsteht. Der Aufwand wird entweder auf Tour- oder auf Tagesbasis berechnet. Das auf diese Weise entstehende Planungsproblem eines einzelnen Disponenten stellt eine Ausweitung der üblichen Tourenplanung dar und wird im Folgenden als Tourenplanung unter Einbeziehung von Subunternehmern, oder kurz als integrierte Tourenplanung, bezeichnet.

3 Integrierte Tourenplanung

Nachfolgend wird die Tourenplanung unter Einbeziehung von Subunternehmern präzisiert. Hierzu muss einerseits das vorliegende Tourenplanungsproblem für den Selbsteintritt spezifiziert werden und andererseits müssen die vorkommenden Arten der Fremdvergabe identifiziert und konkretisiert werden. Für alle auftretenden Teilprobleme der integrierten Tourenplanung werden die Zielsetzung und die wichtigsten Restriktionen in Form einer verbalen Beschreibung angegeben. Die Spezifikation des hier betrachteten Planungsproblems basiert auf der Analyse einer konkreten, aber typischen Problemstellung aus der Praxis [11].

3.1 Spezifikation des Selbsteintritts

Für den Selbsteintritt wird im Folgenden die Problemstellung des Pickup- and-Delivery Problems mit Zeitfenstern (PDPTW) zugrunde gelegt, wobei alle Aufträge als Komplettladungen durchgeführt werden müssen. Ferner wird davon ausgegangen, dass der Fuhrpark homogen ist. Die Restriktionen des Problems entsprechen denen des PDPTW (vgl. z.B. [3]). Die Zielfunktion besteht in der Minimierung der Ausführungskosten im Selbsteintritt. Die Kosten für den Selbsteintritt setzen sich aus den Fixkosten pro Tag und den variablen Kosten für den Fahrzeugeinsatz an diesem Tag zusammen (vgl. Abb. 3a). Die Fixkosten bestehen unter anderem aus den Lohnkosten für den Fahrer, der Abschreibung für das Fahrzeug und den dem Fahrzeug angelasteten Gemeinkosten. Die variablen Kosten ergeben sich aus den gefahrenen Gesamtkilometern für Leer- und Vollfahrten, Spesen für die Fahrer und Mautkosten. Da nur die variablen Kosten im Rahmen der Auftragsdisposition beeinflusst werden können, werden lediglich diese in der zu minimierenden Kostenfunktion

betrachtet [4]. In dem hier ein wenig vereinfachten Fall sollen nur noch die variablen Kosten für die gefahrene Gesamtstrecke der eingesetzten Fahrzeuge berücksichtigt werden. Sie hängen proportional von der Länge der gefahrenen Strecken ab. Die Kostenminimierung besteht demzufolge in einer Minimierung der Summe der Länge der bei der Tourenplanung resultierenden Routen. Das bedeutet, dass ein Disponent bei der Abwägung von Aufwand und Erlös eines Auftrags, der im Selbsteintritt ausgeführt werden soll, nur zwei Kriterien in Erwägung ziehen muss: erstens die infolge der Einplanung des Auftrags zusätzlich zu fahrende Strecke und zweitens den Umsatz, den der Auftrag durch die von dem Verlager geleistete Frachtzahlung erbringt.

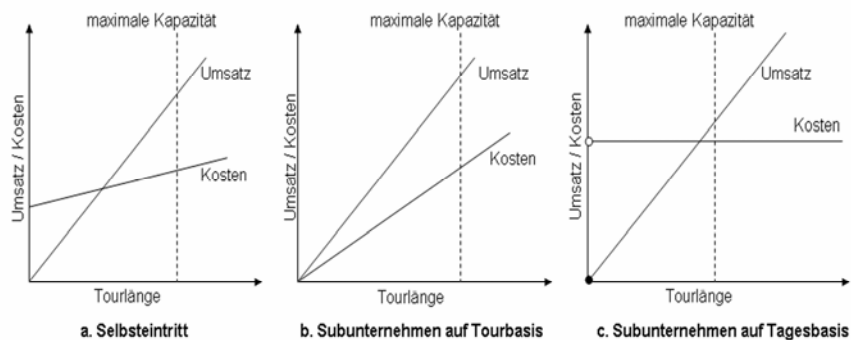


Abb. 3. Kostenverläufe in Abhängigkeit der Länge der Touren.

Der Selbsteintritt hat folgende Vorteile im Vergleich zur Fremdvergabe aufzuweisen. Im Selbsteintritt ist der Spediteur flexibler in der Durchführung, und eine eventuelle Umplanung der vorgesehenen Touren ist möglich. Zudem ist das Risiko mangelhafter Qualität der erbrachten Dienstleistungen im Selbsteintritt geringer. Deswegen fordern einige Verlager von ihrem Spediteur explizit, dass ihre Aufträge nicht fremdvergeben werden.

Bei der Auftragsdisposition ist in der Praxis meist eine Sukzessivplanung anzutreffen. Sowohl bei manueller als auch bei softwaregestützter Vorgehensweise wird die Planung des Selbsteintritts häufig ohne jegliche Beachtung des Fremdvergabeanteils vorgenommen; d.h., die vorliegenden Transportaufträge werden isoliert betrachtet, Stück für Stück dem Selbsteintritt zugeordnet und derart eingeplant, dass sie zu günstigen Rundreisen für den eigenen Fuhrpark führen. Die Auswahl der Aufträge, die für den Selbsteintritt bestimmt sind, kann aufgrund unterschiedlicher Kriterien geschehen. So ist zum Beispiel die Auswahl der Aufträge nach der Höhe des voraussichtlich zu erzielenden Deckungsbeitrages eine weit verbreitete Strategie. Dabei werden diejenigen Aufträge für den Selbsteintritt herangezogen, die den höchsten Deckungsbeitrag generieren. Diese Strategie wird gewählt, damit der relativ große Fixkostenblock des Fuhrparks möglichst rasch abgebaut wird. Die verbleibenden Aufträge, die aufgrund von Kapazitätsengpässen nicht mit dem

eigenen Fuhrpark ausgeführt werden können, werden bei dieser Strategie anschließend in der Fremdvergabe verplant.

3.2 Spezifikation der Fremdvergabe

Wenn keine andere Vereinbarung getroffen wurde, wird einem Verlager nicht mitgeteilt, wer seinen Auftrag ausführt oder wie sein Auftrag ausgeführt wird. Der Verlager fordert seine Leistung von dem von ihm beauftragten Spediteur und stellt seine Ansprüche gegebenenfalls auch an ihn. Der Planungsspielraum bei der Fremdvergabe ergibt sich aus der Bündelung von Aufträgen, die als Auftragspaket zur Ausführung an externe Frachtführer vermittelt werden, und aus den Gestaltungsmöglichkeiten bei der Beauftragung der Frachtführer.

Mit den regelmäßig beschäftigten Frachtführern besteht eine enge, vertrauensvolle Geschäftsbeziehung, die auch die Form der Entlohnung regelt. Die Fahrzeuge der regelmäßig beschäftigten Frachtführer sind fast ausschließlich für die sie beauftragende Spedition tätig, wobei die Disponenten der Spedition auch die Planung der Ausführung der Aufträge übernehmen. Die Höhe des Frachttentgeltes hängt von dieser Planung ab. Die Disponenten verplanen die angeheuertten Fahrzeuge, ähnlich wie eigene Fahrzeuge, im Rahmen einer Tourenplanung. Für die beauftragende Spedition besteht der wesentliche Unterschied allerdings in den Kosten, die mit der Ausführung der Aufträge verbunden sind, da die Entlohnung für Frachtführer anders kalkuliert wird als die Kosten für die eigene Fahrzeugflotte. Die Frachtführer, deren Fahrzeuge zur Realisierung der Fremdvergabe herangezogen werden, unterscheiden sich hinsichtlich der Art der Entlohnung und können diesbezüglich in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die Frachtführer der ersten Gruppe werden auf Tourbasis entlohnt und die Frachtführer der zweiten Gruppe auf Tagesbasis, wobei die auf Tagesbasis entlohnten Unternehmen nur eine kleine Gruppe darstellen und zur Bewältigung von Auftragspitzen und zur Ausführung unlukrativer Aufträge, die nicht abgelehnt werden konnten, herangezogen werden.

Frachtführer mit Entlohnung auf Tourbasis. Für Fahrzeuge, deren Einsatz auf Tourbasis entlohnt wird, kommen ähnliche Kostenstrukturen zur Anwendung wie bei den Fahrzeugen des eigenen Fuhrparks. Aus Sicht der beauftragenden Spedition gibt es bei den Fremdfahrzeugen allerdings keinen Fixkostenblock. Lediglich die variablen Kosten, die aufgrund eines Kostensatzes pro gefahrenen Kilometer bestimmt werden, stellen die Grundlage für die Frachtermittlung dar. Damit der regelmäßig auf Tourbasis angeheuerte Frachtführer langfristig überleben kann, muss der kilometerabhängige Kostensatz des Frachtführers höher sein als seine variablen kilometerabhängigen Kosten. Denn in dem Kostensatz des Frachtführers sind die fixen Kosten anteilig berücksichtigt. Für den beauftragenden Spediteur sind somit die anfallenden Kosten einer Tour bei Fremdvergabe auf Tourbasis wesentlich höher als die entsprechenden, entscheidungsrelevanten Kosten, die bei der Durchführung der Tour im Selbsteintritt anfallen würden. In Abbildung 3 ist der Kostenverlauf für die Fremdvergabe auf Tourbasis (Abb. 3b) in Abhängigkeit von der Länge einer Tour dargestellt. Für den erzielten Umsatz einer Tour wird vereinfachend unterstellt, dass er ebenfalls linear von der Tourlänge abhängig ist.

Frachtführer mit Entlohnung auf Tagesbasis. Die auf Tagesbasis entlohten Subunternehmer erhalten einen festen Tagessatz pro Einsatztag; d.h. ihre Dienstleistungen werden pauschal und für jeden einzelnen Einsatztag separat abgerechnet. Ein Tagessatz stellt also eine „flat-rate“ dar, deren Höhe aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt wurde. Für die auf Tagesbasis entlohten Subunternehmer gelten dabei folgende Restriktionen bezüglich ihres Einsatzes: ein maximal 12-stündiger Arbeitstag und eine begrenzte Tageskilometerleistung von 300 km.

Der Zweck, den die beauftragende Spedition mit der Abrechnung auf Tagesbasis verfolgt, besteht darin, dass sie dadurch Aufträge, die wegen hoher variablen Ausführungskosten unrentabel sind, zu einem Fixkostenbetrag durchführen lassen kann. Demzufolge werden in der betrieblichen Praxis an die Subunternehmer auf Tagesbasis diejenigen Aufträge vermittelt, die für die beauftragende Spedition hinsichtlich der Marge unrentabel sind bzw. deren Be- und Entladeorte nicht auf den regelmäßig bedienten Relationen liegen. Die Anzahl der auf Tagesbasis entlohten Subunternehmer ist relativ gering und der Kostensatz pro Tag ist relativ hoch. Deshalb erzielt die beauftragende Spedition selbst bei maximaler Auslastung der Kapazität eines auf Tagesbasis angeheuertem Fahrzeugs kaum einen Gewinn, sondern es wird bei der Beauftragung auf Tagesbasis lediglich eine Kostenabdeckung angestrebt. Der konstante Kostenverlauf eines auf Tagesbasis engagierten Fahrzeugs ist im Vergleich zu den anderen Kostenverläufen in der Abbildung 3c dargestellt.

4 Planungsstrategien für die integrierte Tourenplanung

Die bei Speditionsunternehmen üblicherweise angewendete Planungsstrategie für die integrierte Tourenplanung soll nun vorgestellt werden. Anschließend soll eine alternative Strategie vorgeschlagen und mit der üblichen Strategie verglichen werden. Im Gegensatz zu der herkömmlichen Vorgehensweise achtet die alternative Strategie in erster Linie auf eine gute Bündelung der Aufträge und wendet sich dann erst der Modusplanung zu.

4.1 Zielsetzung und Vorgehensweise der herkömmlichen Strategie

Die Zielsetzung, die üblicherweise in der Praxis bei der integrierten Tourenplanung verfolgt wird, setzt sich aus folgender Hierarchie von Teilzielen zusammen:

- Erstens soll der eigene Fuhrpark möglichst gut ausgelastet werden, damit hohe Deckungsbeiträge zur Abdeckung der Fixkosten des Fuhrparks erzielt werden.
- Zweitens sollen die Aufträge, die auf Tourbasis vermittelt werden, möglichst effizient ausgeführt werden, da die Frachtkosten in diesem Fall mit dem Aufwand, gemessen in der Länge der Touren, steigen. Deshalb möchte man hier mit möglichst gut geplanten Touren und möglichst attraktiven Aufträgen geringe Kosten im Verhältnis zum Ertrag erzielen.
- Drittens sollen die übrigen, nicht besonders attraktiven Aufträge möglichst geringe Verluste verursachen. Diese Aufträge werden auf Tagesbasis an

Frachtführer vermittelt. Hier spielt die Effizienz der entstehenden Touren keine Rolle, da ohnehin pauschal abgerechnet wird.

Zur Umsetzung dieser Ziele dient eine oft angewendete Strategie mit einer Vorstufe und einem nachfolgenden dreistufigen hierarchischen Ablauf. In der Vorstufe werden die vorliegenden Aufträge nach ihrer Attraktivität absteigend sortiert. Als Maß für die Attraktivität wird der Deckungsbeitrag ermittelt, den ein Auftrag bei isolierter Durchführung mit dem eigenen Fuhrpark erzielen würde. Dabei wird davon ausgegangen, dass das eingesetzte Fahrzeug eine Tour zurücklegt, die vom Standort der Spedition über den Beladeort und Entladeort des Auftrags zurück zum Standort der Spedition führt. Bei der Ermittlung des Deckungsbeitrags eines einzelnen Auftrags wird vernachlässigt, dass Touren direkt ohne Rückkehr zum Speditionsstandort ausgeführt werden könnten und dass dabei Leerkilometer eingespart werden könnten. Da hier nur Komplettladungen betrachtet werden, können Zusammenfassungen von (Teil-) Ladungen nicht auftreten und brauchen daher nicht beachtet zu werden. Durch den vorbereitenden Sortiervorgang entsteht eine Liste L(DB) von Aufträgen mit abnehmender Attraktivität, die anschließend bei der Disposition in den folgenden drei Schritten von vorne nach hinten abgearbeitet wird.

1. Zuerst werden die besonders attraktiven Aufträge ausgewählt und einer Ausführung durch den eigenen Fuhrpark zugeführt. Dazu werden die „besten“ Aufträge zu Beginn der Liste L(DB) den Fahrzeugen des eigenen Fuhrparks zugeordnet und im Rahmen einer Tourenplanung eingeplant. Die verplanten Aufträge werden aus der Liste entfernt. Dies wird solange fortgeführt, bis aus Gründen der begrenzten Kapazität des eigenen Fuhrparks keine weiteren Aufträge mehr den eigenen Fahrzeugen zugeordnet und eingeplant werden können.
2. Im Anschluss an die Tourenplanung für die eigenen Transportkapazitäten werden die nun zu Beginn der Liste L(DB) stehenden Aufträge den auf Tourbasis entlohnten Frachtführern zugeordnet und eingeplant.
3. Die am wenigsten profitablen Aufträge am Ende der Liste (Aufträge, die hohe variable Kosten im Vergleich zu den Einnahmen generieren würden) werden dann gebündelt und als Bündel an die auf Tagesbasis entlohnten Frachtführer vermittelt.

Auf der ersten Stufe wird die eigene Fahrzeugflotte vorzugsweise disponiert. Dies entspricht der obigen Zielhierarchie, da der Abbau der Fixkosten vorrangig sein soll. Erst ab einer gewissen Mindestmenge von Aufträgen mit positivem Deckungsbeitrag wird für den Fuhrpark der „break-even-point“ erreicht. Da die variablen Kosten der eigenen Fahrzeugflotte im Vergleich zu den entsprechend anfallenden Kosten durch Fremdfrachten relativ niedrig sind, wird hier eine Strategie gewählt, bei der die maximale Auslastung der eigenen Fahrzeugflotte mit guten Aufträgen als primäres Ziel angestrebt wird.

Auf der zweiten Stufe sind aus Sicht des Disponenten keine Fixkosten zu berücksichtigen. Da die an einen Frachtführer für einen Auftrag gezahlte Fremdfracht immer geringer ist als das Entgelt, das der Spediteur von seinem Verloader erhält, nimmt der erzielbare Gewinn mit steigender Anzahl der auf Tourbasis eingeplanten Aufträge zu. Der Anstieg verläuft zwar langsamer als im Falle des Selbsteintritts, aber dennoch ist es sinnvoll, auf der zweiten Stufe eine möglichst hohe Auslastung der auf Tourbasis entlohnten Fahrzeuge in dem Gesamtplanungsprozess anzustreben.

Auf der dritten Planungsstufe werden die verbleibenden Transportaufträge gebündelt, eingeplant und an Frachtführer auf Tagesbasis vermittelt.

Man beachte, dass in jeder der obigen Planungsstufen für die anstehenden Aufträge jeweils eine Tourenplanung durchgeführt werden muss. Auf Stufe 1 sollen die anfallenden Selbstkosten mithilfe einer Tourenplanung für den eigenen Fuhrpark möglichst gering gehalten werden. Auf Stufe 2 hängen die Frachtkosten von dem Ergebnis der Tourenplanung für die eingesetzten Fahrzeuge ab. Auf Stufe 3 hängen die Frachtkosten lediglich von der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge ab. Hier ist eine Tourenplanung erforderlich, um die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge zu minimieren und um festzustellen, ob die auf Tagesbasis an Frachtführer vermittelten Touren die maximal erlaubte Länge nicht überschreiten.

4.2 Zielsetzung und Vorgehensweise der bündel-orientierten Strategie

Die primäre Zielsetzung der bündel-orientierten Strategie besteht in der Bildung von möglichst guten Touren für den gesamten Auftragsbestand, um eine effiziente Ausführung aller Aufträge erreichen zu können. Dabei spielt die Moduswahl für die Aufträge zunächst keine Rolle. Erst wenn die auszuführenden Touren bereits gebildet sind, wird die Moduswahl vorgenommen. Eine kostengünstige Moduswahl auf Basis der gebildeten Touren stellt die sekundär zu verfolgende Zielsetzung dar. Sie wird umgesetzt, indem die Touren eventuell an die speziellen Restriktionen der Modi angepasst werden und möglichst günstig den unterschiedlichen Modi zugeordnet werden. Die Moduswahl findet also nicht auf der Ebene der Aufträge, sondern auf der Ebene der Touren statt. Die bündel-orientierte Strategie besteht in der Ausführung der folgenden Schritte.

1. Es wird zunächst eine globale Tourenplanung vorgenommen, die ungeachtet von der Moduswahl alle Aufträge gleichzeitig einbezieht. Auf diese Weise sollen effizient ausführbare Auftragsbündel entstehen. Hiermit wird eine möglichst hohe Gesamteffizienz über alle Aufträge angestrebt.
2. Es wird eine Modusplanung für die zuvor gebildeten Touren vorgenommen; d.h. eine Zuordnung der vorliegenden Bündel zu dem am besten geeigneten Modus (Selbsteintritt, Vermittlung auf Tourbasis, Vermittlung auf Tagesbasis). Die bei der Moduswahl verfolgte Zielsetzung besteht darin, die Touren den unterschiedlichen Modi so zuzuordnen, dass die Gesamtkosten für die Ausführung aller Aufträge möglichst gering ausfallen. Daher erfolgt bei der Moduswahl die Einplanung der Aufträge derart, dass die Touren, bei denen die größten Entfernungen zurückzulegen sind, im Selbsteintritt ausgeführt werden, unabhängig von den erzielbaren Deckungsbeiträgen. Die kürzeren Touren werden der Fremdvergabe auf Tourbasis zugeordnet, da hier die variablen Kosten entscheidend höher liegen als im Selbsteintritt. Bei der im ersten Schritt vorgenommenen Tourenplanung ist nicht automatisch sichergestellt, dass es Touren geben wird, die aufgrund ihrer Länge für die Vermittlung auf Tagesbasis geeignet sind. Deshalb ist es zunächst statthaft, dass auch solche Bündel der Fremdvergabe auf Tagesbasis zugeordnet werden, deren Tourlänge nur in etwa der vereinbarten Obergrenze für diesen Modus entsprechen. Grundsätzlich werden für die Vermittlung auf

Tagesbasis solche Bündel gewählt, deren Tourlänge möglichst wenig von der vereinbarten Obergrenze abweichen.

3. Um die Zulässigkeit der im zweiten Schritt vorgenommenen Modusplanung herzustellen, wird die in Schritt 2 generierte Lösung durch einen Austausch oder das Verschieben von Aufträgen zwischen Bündeln unterschiedlicher Modi überarbeitet. Das Verschieben oder Austauschen von Aufträgen kann notwendig sein, um die Tourlänge für die auf Tagesbasis vermittelten Auftragsbündel an die vereinbarte Obergrenze anzupassen. Der Vorgang des Verschiebens oder Austauschens von Aufträgen von einem Modus in einen anderen kann aber auch dazu dienen, um die Qualität der generierten Lösung zu verbessern. In diesem Fall entspricht dieser Vorgang einem Verbesserungsschritt zur Reduzierung der Gesamtkosten. Beispielsweise wird das Verschieben eines Auftrags von einer Tour, die im Selbsteintritt ausgeführt wird, in eine Tour, die auf Tagesbasis vermittelt wird, dazu führen, dass die Kosten für den eigenen Fuhrpark sinken, wobei die Fremdfrachten unverändert bleiben, da die Frachtkosten auf Tagesbasis pauschal abgerechnet werden. Eine ähnliche Kostenersparnis ergibt sich für das Verschieben eines Auftrags von einer Tour, die auf Tourbasis abgerechnet wird, in eine Tour, die auf Tagesbasis vermittelt wird. Außerdem kann das Verschieben bzw. Vertauschen von Aufträgen zwischen einer selbst ausgeführten Tour und einer auf Tourbasis vermittelten Tour ebenfalls zur Kostenreduktion genutzt werden, da die variablen Kosten im Selbsteintritt geringer sind als die Kosten auf Tourbasis.

Im Anschluss an die in den Schritten 1 bis 3 erfolgte Touren- und Modusplanung muss innerhalb jedes einzelnen Modus dann nur noch die Zuordnung der zu dem Modus gehörigen Touren zu Fahrzeugen vorgenommen werden. In der vorliegenden Situation eines homogenen Fuhrparks ist dieses Entscheidungsproblem aber trivial. Hier genügt es, die bereits geplanten Touren mit Fahrzeugen gleich zu setzen.

4.3 Vergleich der Strategien

Die bei der herkömmlichen Strategie und der bündel-orientierten Strategie vorzunehmende Tourenplanung kann mit einem beliebigen Verfahren bzw. einer beliebigen manuellen Vorgehensweise erfolgen. Selbstverständlich hängt die Qualität der Lösungen, die für das Problem der integrierten Tourenplanung erzeugt werden, bei beiden Strategien wesentlich von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Verfahrens für die Tourenplanung ab. Andererseits kann ein Tourenplanungsverfahren seine Leistungsfähigkeit bei der bündel-orientierten Strategie besser entfalten, da in diesem Fall für das Verfahren auf der Gesamtmenge aller Aufträge ein viel größerer Lösungsraum mit einem erweiterten Handlungsspielraum entsteht. Beide Strategien, sowohl die herkömmliche als auch die bündel-orientierte, können in zwei Phasen eingeteilt werden:

- Die herkömmliche Strategie nimmt in der ersten Phase eine Modusplanung für alle vorliegenden Aufträge vor. Dadurch wird die Menge der zu erfüllenden Aufträge in drei Teilmengen für die drei unterschiedlichen Modi

separiert. Anschließend wird in der zweiten Phase für jede entstehende Teilmenge von Aufträgen (d.h. für jeden Modus) eine Tourenplanung vorgenommen.

- In der ersten Phase der bündel-orientierten Strategie wird zunächst eine Tourenplanung für alle vorliegenden Aufträge vorgenommen. Danach folgt in der zweiten Phase erst die Modusplanung, in der die Touren zu geeigneten Modi zugeordnet werden und eventuell an sie angepasst werden.

Bei einem Vergleich der Strategien stellt man zunächst fest, dass die Reihenfolgen der Durchführung der Modusplanung und der Tourenplanung bei den beiden Strategien genau entgegengesetzt sind. Außerdem nimmt die herkömmliche Strategie die Modusplanung auf der Ebene der Aufträge für jeden einzelnen Transportauftrag vor, während die bündel-orientierte Strategie die Modusplanung auf der Ebene der Touren für komplette Bündel vornimmt.

Die aus Sicht der Optimalplanung prinzipiell anzustrebende und angemessene Zielsetzung der integrierten Tourenplanung besteht in der Maximierung der Summe der Deckungsbeiträge, die mit den drei Arten der Auftragsdurchführung (Selbsteintritt, Tourbasis und Tagesbasis) insgesamt erzielt werden können. Eine optimale Lösung dieses integrierten Problems kann natürlich nur durch eine simultane Modus- und Tourenplanung gewährleistet werden. Aus praktischer Sicht ist die simultane Optimierung der Teilprobleme der integrierten Tourenplanung schon für mittelgroße Problemstellungen nicht realisierbar. Dies gilt für existierende mathematische Optimierungsmethoden und selbstverständlich erst recht für manuelle Planungsstrategien.

Die frühzeitige Modusplanung, die im Rahmen der sukzessiven Vorgehensweise der herkömmlichen Strategie vorgenommen wird, ist besonders problematisch, da die Entscheidung, welche Aufträge im Selbsteintritt durchgeführt werden und welche Aufträge fremdvergeben werden sollen, ohne Hinblick auf die Zielsetzung des Gesamtproblems erfolgt und nur der kurzfristigen Verbesserung der Situation in einem ausgezeichneten Teilproblem dient, das ohnehin nachher mit den anderen Teilproblemen vereint wird. Dies hat zur Folge, dass die Qualität der Lösung der zuerst behandelten Teilprobleme zu Lasten der nachfolgenden Teilprobleme geht. Dabei gehen außerdem erhebliche Freiheitsgrade für die Tourenplanung verloren. Dies kann dazu führen, dass bei vorgegebener Modusplanung die nachfolgend für die Teilprobleme vorgenommene Tourenoptimierung aus integrierter Sicht keine guten Lösungen mehr generieren kann.

Die in Kapitel 4.2 vorgeschlagene bündel-orientierte Strategie entspricht der Zielsetzung der Simultanplanung in einem höheren Maße als die in Kapitel 4.1 beschriebene herkömmliche Strategie, da sie sich näher an der Zielsetzung des Gesamtproblems orientiert als die herkömmliche Strategie. Die übergeordnete und auf oberster Ebene verfolgte Zielsetzung des bündel-orientierten Verfahrens besteht darin, die Effizienz der Transportausführung durch gut geplante Touren für alle Aufträge zu steigern. Dies kommt dem Ziel der integrierten Tourenplanung, das im Wesentlichen in der optimalen Bildung und Zuordnung von Auftragsbündeln besteht, recht nahe. Eine Zuordnung zu Modi wird bei der bündel-orientierten Strategie erst dann vorgenommen, wenn die Konsequenzen der Zuordnung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Zielfunktion abschätzbar sind. Denn die Auswirkungen auf die Zielfunktion können in diesem Fall durch die Kostenbewertung der gebildeten Touren unter Berücksichtigung des gewählten Modus beurteilt werden.

5 Beispiel für die Anwendung der Strategien

Die Vorteilhaftigkeit der bündel-orientierten Strategie gegenüber der herkömmlichen Strategie soll an dem nachfolgenden Beispiel veranschaulicht werden. Die Ausgangsdaten für die Kosten und Entgelte in diesem Beispiel stammen aus realen Praxisfällen. Um keine hochsensiblen Informationen preiszugeben, wurden die Daten ein wenig abgeändert. In dem nachfolgenden Beispiel werden sieben Aufträge (A1 bis A7) betrachtet, die innerhalb eines Tages (0:00 Uhr bis 24:00 Uhr) auszuführen sind. Jeder Auftrag stellt eine Komplettladung dar und ist durch einen Be- und Entladeort, sein Transportgewicht sowie die Höhe seines Erlöses gekennzeichnet.

Tab. 1. Aufträge und potenzielle Leerfahrten des Beispiels.

Auftragsnr.	Beladeort	Entladeort	Entfernung [km]	Gewicht [to.]	Erlöse [GE]
Auftrag A1	P ₁	P ₂	90	22	170
Auftrag A2	P ₃	P ₄	110	25	175
Auftrag A3	P ₁	P ₅	260	19	470
Auftrag A4	P ₆	P ₉	110	23	275
Auftrag A5	P ₇	P ₈	190	23	230
Auftrag A6	P ₁₂	P ₁₁	95	24	255
Auftrag A7	P ₁₁	P ₁₀	90	20	145
Leerfahrtnr.	Verbindungsstrecke	Entfernung [km]	Gewicht [to.]	Erlöse [GE]	
Leerfahrt L1	P ₀	P ₁	40	0	0
Leerfahrt L2	P ₀	P ₁₂	5	0	0
Leerfahrt L3	P ₂	P ₃	20	0	0
Leerfahrt L4	P ₄	P ₅	30	0	0
Leerfahrt L5	P ₆	P ₅	120	0	0
Leerfahrt L6	P ₇	P ₄	125	0	0
Leerfahrt L7	P ₆	P ₇	20	0	0
Leerfahrt L8	P ₉	P ₀	30	0	0
Leerfahrt L9	P ₈	P ₀	35	0	0
Leerfahrt L10	P ₁₀	P ₀	110	0	0
Leerfahrt L11	P ₉	P ₁₂	55	0	0
Leerfahrt L12	P ₈	P ₁₁	95	0	0
Leerfahrt L13	P ₁₁	P ₀	105	0	0

Auftragsdaten. Die relevanten Daten sind in Tabelle 1 enthalten und in Abbildung 4 visuell veranschaulicht. Der Punkt P₀ beschreibt das Depot von eigenen und Fremdfahrzeugen. Die Punkte P₁ bis P₁₂ stellen Be- oder Entladeorte dar. In Abbildung 4 sind die Aufträge durch Pfeile dargestellt, die von Be- zu Entladeorten führen und deren Länge die Entfernungen zwischen den jeweiligen Orten anschaulich

wiedergeben. Neben den Auftragsdaten enthält Tabelle 1 alle zusätzlichen Leerfahrten, die bei der Lösung des Beispiels auftreten können.

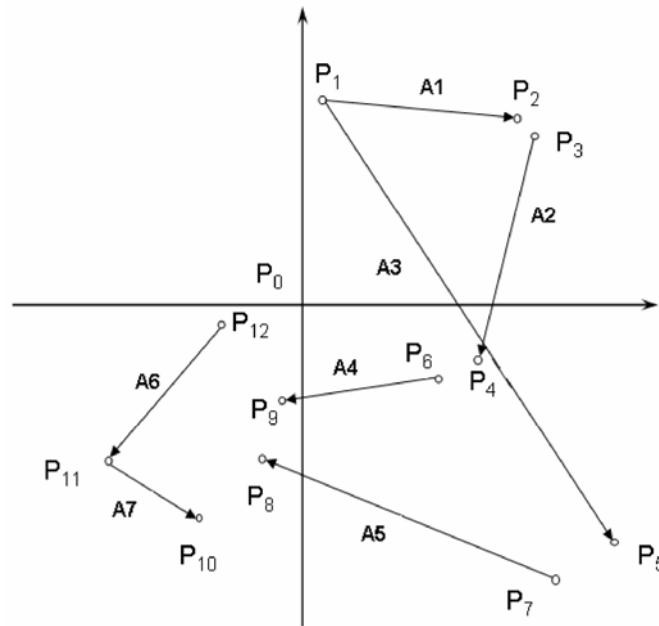


Abb. 4. Graphische Darstellung der Auftragslage.

Die verfügbaren Ressourcen bestehen bei diesem kleinen Beispiel aus nur drei Fahrzeugeinheiten, wobei ein Fahrzeug im Selbsteintritt, ein Fahrzeug auf Tourbasis und ein Fahrzeug auf Tagesbasis eingesetzt wird. Alle Fahrzeuge starten und beenden die Touren unbeladen im Depot, so dass zu keinem Auftrag bereits Vorleistungen erbracht wurden. Innerhalb des zur Verfügung stehenden Zeitraums (ein Tag) kann ein Fahrzeug eine Entfernung von maximal 800 Kilometer unabhängig von der Anzahl der Be- und Entladeorte zurücklegen. Die Kapazitätsbeschränkung der Fahrzeuge beträgt 25000 Kilogramm.

Die Ermittlung der variablen Kosten in Abhängigkeit von den zurückzulegenden Entfernungen erfolgt über lineare Kostenfunktionen. Es wird unterstellt, dass für die Leerfahrt eines unbeladenen Fahrzeugs und die Nutzfahrt eines beladenen Fahrzeugs gleich hohe Kostensätze gelten. Zur Berechnung der Kosten werden für die Modi Selbsteintritt ($i=a$), Tourbasis ($i=b$) und Tagesbasis ($i=c$) folgende Bezeichnungen eingeführt:

- $GK_i :=$ Gesamtkosten pro Tag [EUR], $i \in \{a, b, c\}$
- $k_f^i :=$ Fixkosten pro Tag [EUR], $i \in \{a, b, c\}$
- $k_v^i :=$ variable Kosten pro gefahrenen Kilometer [EUR/km], $i \in \{a, b, c\}$

- x^i := Anzahl der gefahrenen Kilometer [km], $i \in \{a, b\}$

Die in Abhängigkeit von dem gewählten Modus für ein Fahrzeug entstehenden Kostenfunktionen GK_a (Selbsteintritt), GK_b (Fremdvergabe auf Tourbasis), GK_c (Fremdvergabe auf Tagesbasis) sind in den Gleichungen (1) bis (3) dargestellt. Dabei bezeichnet y^c eine binäre Variable, die den Wert 1 annimmt, wenn ein Fahrzeug auf Tagesbasis engagiert wird, und andernfalls den Wert 0 hat.

$$GK_a = k_f^a + k_v^a * x^a, \quad k_f^a = 418,60 \text{ EUR und } k_v^a = 0,41 \text{ EUR} \quad (1)$$

$$GK_b = k_v^b * x^b, \quad k_v^b = 1,05 \text{ EUR} \quad (2)$$

$$GK_c = k_f^c * y^c, \quad k_f^c = 460 \text{ EUR} \quad (3)$$

Mittels dieser Kostenfunktionen können für jeden Modus die Kosten für die Ausführung der Aufträge und die Kosten der mit der Bildung von Rundreisen verbundenen Leerfahrten ermittelt werden. Tabelle 2 enthält die jeweiligen Kosten für jeden Modus.

Entscheidungsbasis für die Einsatzplanung nach der herkömmlichen Strategie sind die bei isolierter Ausführung im Selbsteintritt erzielbaren Deckungsbeiträge pro Auftrag. Diese Werte sind in der vorletzten Spalte der Tabelle 2 für jeden Auftrag angegeben. In der letzten Spalte der Tabelle 2 wird die Sortierung der Aufträge nach abnehmendem Werten der vorletzten Spalte dargestellt.

In Tabelle 3 wird das Ergebnis der Einsatzplanung nach der herkömmlichen Strategie gemäß Kapitel 4.1 dargestellt. Tabelle 4 stellt die Einsatzplanung für die drei Fahrzeuge bei Anwendung der bündel-orientierten Strategie dar.

Kosten und Gewinnvergleich. Da sowohl nach der herkömmlichen Strategie als auch nach dem bündel-orientierten Verfahren alle Aufträge mit den verfügbaren Ressourcen ausführbar sind, sind die Erlöse in beiden Fällen gleich hoch. Die Kosten und somit der Gewinn hängen demnach von den gebildeten Touren und der für die Aufträge gewählten Ausführungsart ab. Tabelle 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

In der Realität liegen die Erlöse meistens etwas höher, so dass auch nach der herkömmlichen Methode positive Gewinne realisiert werden, und der Fall, dass ein Auftragsbündel Verluste generiert, eine Ausnahme darstellt. Auch bei höheren Erlösen bleibt der Vorteil des bündel-orientierten Verfahrens gegenüber dem herkömmlichen Verfahren natürlich uneingeschränkt erhalten.

Bereits für dieses kleine Beispiel ist erkennbar, dass die Differenz der Gewinne, die mit den einzelnen Modi erzielt werden, bei der bündel-orientierten Strategie geringer ist als bei der herkömmlichen Strategie. Dies ist eine Folge der gleichmäßigeren Auftragszuweisung zu den verschiedenen Modi und der globalen Sicht auf das Gesamtergebnis. Die globale Herangehensweise hat insbesondere zur Folge, dass die Summe der in allen drei Modi zurückgelegten Entfernungen bei der

bündel-orientierten Strategie deutlich geringer ist als bei der herkömmlichen Strategie.

Tab. 2. Fahrtkosten in Abhängigkeit der Ausführungsart.

Auftrags- / Leerfahrtnr.	Kosten				Entscheidungsregel für die herkömmliche Strategie	
	Selbsteintritt		Fremdvergabe		DB bei Selbsteintritt [EUR]	Rang
	k_f^a [EUR]	k_v^a [EUR]	k_v^b [EUR]	k_f^c [EUR]		
Auftrag A1	418,60	36,90	94,50	460,00	133,10	5
Auftrag A2		45,10	115,50		129,90	6
Auftrag A3		106,60	273,00		363,40	1
Auftrag A4		45,10	115,50		229,90	2
Auftrag A5		77,90	199,50		152,10	4
Auftrag A6		38,95	99,75		216,05	3
Auftrag A7		36,90	94,50		108,10	7
Leerfahrt L1		16,40	42,00		-	-
Leerfahrt L2		2,05	5,25		-	-
Leerfahrt L3		8,20	21,00		-	-
Leerfahrt L4		12,30	31,50		-	-
Leerfahrt L5		49,20	126,00		-	-
Leerfahrt L6		51,25	131,25		-	-
Leerfahrt L7	8,20	21,00	-	-		
Leerfahrt L8	12,30	31,50	-	-		
Leerfahrt L9	14,35	36,75	-	-		
Leerfahrt L10	45,10	115,5	-	-		
Leerfahrt L11	22,55	57,75	-	-		
Leerfahrt L12	38,95	99,75	-	-		
Leerfahrt L13	43,05	110,25	-	-		

Tab. 3. Einsatzplanung nach der herkömmlichen Strategie.

Modus	Rundreise	Tourlänge [km]
Selbsteintritt:	L1; A3; L5; A4; L11; A6; L13	785
Fremdvergabe auf Tourbasis:	L1; A1; L3; A2; L6; A5; L9	610
Fremdvergabe auf Tagesbasis:	L13; A7; L10	295

Tab. 4. Einsatzplanung nach der bündel-orientierten Strategie.

Modus	Rundreise	Tourlänge [km]
Selbsteintritt:	L1; A3; L7; A5; L9	545
Fremdvergabe auf Tourbasis:	L1; A1; L3; A2; L4; A4; L8	430
Fremdvergabe auf Tagesbasis:	L13; A6; A7; L10	300

Tab. 5. Kosten- und Gewinnvergleich.

	herkömmliche Strategie	bündel-orientierte Strategie
Kosten im Selbsteintritt [EUR]	740,45	642,05
Gewinn im Selbsteintritt [EUR]	259,55	-22,05
Kosten bei Fremdvergabe auf Tourbasis [EUR]	640,50	451,50
Gewinn bei Fremdvergabe auf Tourbasis [EUR]	-65,50	248,50
Kosten bei Fremdvergabe auf Tagesbasis [EUR]	460,00	460,00
Gewinn bei Fremdvergabe auf Tagesbasis [EUR]	-315,00	-60,00
Erlöse gesamt [EUR]	1720,00	1720,00
Kosten gesamt [EUR]	1840,95	1553,55
Gewinn gesamt [EUR]	-120,95	166,45

Beim Vergleich der Gewinne beider Verfahren stellt man fest, dass das bündel-orientierte Verfahren trotz Verlust im Selbsteintritt ein besseres Gesamtergebnis erzielt.

6 Fazit und Ausblick

Ein einziges Beispiel ist natürlich nicht ausreichend, um die beiden Strategien empirisch miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse, die bei einer manuellen Berechnung weiterer numerischer Beispiele aus der Praxis erzielt wurden und der Vergleich der Disposition dieser Beispiele erhärten die These der Überlegenheit der bündel-orientierten Strategie. Bei manueller Planung können umfangreiche Tests zur sorgfältigen Evaluierung der Strategien aus Gründen des Aufwands für die Berechnung nicht durchgeführt werden. Für einen Nachweis der generellen Überlegenheit der bündel-orientierten Strategie ist es notwendig, eine automatisierte Tourenplanung vorzunehmen. In diesem Fall wäre es sinnvoll, beide Strategien unter

Nutzung ein und desselben Algorithmus für die Tourenplanung zu implementieren und dann in ausgiebigen Tests zu vergleichen.

Die Stärke der bündel-orientierten Strategie resultiert aus der effizienten Bündelung aller Aufträge. Wenn ein mächtigeres Tourenplanungsverfahren benutzt wird und damit die erzeugten Lösungen qualitativ besser werden, wird dies in besonderem Maße der bündel-orientierten Strategie zu Gute kommen. Es ist zu erwarten, dass bei einem Vergleich der beiden Strategien unter Verwendung leistungsfähiger Tourenplanungsalgorithmen und bei der Betrachtung größerer Beispiele die Überlegenheit der bündel-orientierten Strategie gegenüber der herkömmlichen Strategie stärker zum Tragen kommen wird als bei den bisher manuell berechneten Beispielen.

In weiteren Forschungsvorhaben soll zunächst ein Algorithmus zur Umsetzung der bündel-orientierten Strategie entwickelt und implementiert werden. Auf diese Weise könnte es gelingen, ein Lösungsverfahren für die integrierte Tourenplanung zu realisieren, das die Komplexität der simultanen Optimierung der Teilprobleme umgeht und dennoch sehr leistungsfähig ist.

In darauf aufbauenden Forschungsarbeiten können über die operative Planung hinaus langfristige Fragestellungen analysiert werden. Es sollte z.B. die Ausgewogenheit der Modi und insbesondere die Relation der Fremdfrachten auf Tourbasis und auf Tagesbasis im Vergleich zu den Kosten im Selbsteintritt untersucht werden. Mit geeigneten Simulationsexperimenten können außerdem unter Berücksichtigung der Kostenstrukturen der jeweiligen Modi Analysen zur Bestimmung der optimalen Größe des Fuhrparks empirisch durchgeführt werden.

Danksagung. Dieser Beitrag entstand im Rahmen des SFB 637, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Literaturverzeichnis

1. Bundesamt für Güterverkehr: Marktbeobachtung Güterverkehr: Jahresbericht 2006. BAG, Köln 2006.
2. Chu, C.: A heuristic algorithm for the truckload and less than truckload problem. In: European Journal of Operational Research 173 (2005), 540-555.
3. Dethloff, J.: Verallgemeinerte Tourenplanungsprobleme. Vandenhoeck und Ruprecht Verlag, Göttingen 1994.
4. Erkens, E.: Kostenbasierte Tourenplanung im Straßengüterverkehr: Ein Modell zur Kalkulation von Transportpreisen und zur Optimierung von Touren mit Genetischen Algorithmen. Universität Bremen, Bremen 1998.
5. Feige, D.; Klaus, P.; Werr, H.: Decision support for designing cooperative distribution networks. In: Speranza, M.; Stähli, P. (Hrsg.): New trends in distribution logistics. Springer, Berlin 1999.
6. ICF: Economic effects on transportation: The freight story. ICF Consulting, Fairfax 2002.
7. Jurczyk, A.; Kopfer, H.; Krajewska, M.: Speditionelle Auftragsdisposition eines mittelständischen Transportunternehmens. In: Internationales Verkehrswesen 6 (2006), 275-280.

8. Kopfer, H.: Der Entwurf und die Realisierung eines A*-Verfahrens zur Lösung des Frachtoptimierungsproblems. In: OR Spektrum 12 (1990), 207-218.
9. Kopfer, H.: Konzepte genetischer Algorithmen und ihre Anwendung auf das Frachtoptimierungsproblem im gewerblichen Güterverkehr. In: OR Spektrum 14 (1992), 137-147.
10. Kopfer, H.; Pankratz, G.: Das Groupageproblem kooperierender Verkehrsträger. In: Kall, P.; Läthi, H.-J. (Hrsg.): Proceedings of Operations Research 1998, Springer, Berlin 1999, 453-462.
11. Kopfer, H.; Krajewska, M.; Jurczyk, A.: Kooperation von Profit Centern im Transportwesen. Endbericht des Forschungsprojekts INAPCE, BIA, Bremen 2006.
12. Kopfer, H.; Krajewska, M.: Inter- und intraspeditionelle Auftragsdisposition. In: Industrie Management 3 (2006), 75-77.
13. Pankratz, G.: Speditionelle Transportdisposition – Modell- und Verfahrensentwicklung unter Berücksichtigung von Dynamik und Fremdvergabe. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden 2002.