

## Konsolidierte Disposition von Eigentransport und Fremdvergabe in Distributionskooperationen komplementärer Lieferanten

Giselher Pankratz, Julian Steinlein

FernUniversität in Hagen, Profilstraße 8, 58084 Hagen  
giselher.pankratz@fernuni-hagen.de,  
julian.steinlein@fernuni-hagen.de

**Abstract.** This contribution addresses the problem of consolidated transportation operations planning within a cooperation of small and medium-sized enterprises in the food&beverages industry. As a distinctive feature of this problem, the employment of vehicles owned by the individual partners on the one hand and the outsourcing of orders to freight carriers on the other hand has to be planned simultaneously. In order to assess the savings potential of the cooperation, a Greedy First-Fit procedure and a Threshold Accepting metaheuristic have been developed to solve the problem at hand. Computational Experiments with a set of 30 realistic problem instances show that both of the heuristics are able to find plans of 23 to 25 percent lower cost as compared to the situation without cooperation.

**Keywords:** Collaborative transportation planning, decision support, metaheuristics, threshold accepting, make-or-buy

### 1 Einleitung

Die Qualität der Distributionslogistik stellt für viele Zulieferunternehmen in hart umkämpften Märkten einen wichtigen strategischen Erfolgsfaktor dar. Gleichzeitig zwingen beständig steigende Logistikkosten und ein scharfer Preiswettbewerb diese Unternehmen dazu, alle Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung in der Distributionslogistik zu nutzen. Gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ergeben sich jedoch häufig erst durch den Aufbau intelligenter Lösungen für eine unternehmensübergreifende Konsolidierung und Koordination der Transportaktivitäten Möglichkeiten zu einer deutlichen Effizienzverbesserung.

In diesem Zusammenhang betrachtet der vorliegende Beitrag den realen Fall einer geplanten Distributionskooperation zwischen vier kleinen und mittleren Unternehmen der Lebensmittel- und Getränkebranche. Diese Unternehmen – im Folgenden als Lieferanten bezeichnet – verfügen über ein komplementäres Produktangebot (Fleisch- und Wurstwaren, Fisch, Obstsalate bzw. Frischsäfte), mit dem sie unabhängig voneinander Hotel- und Gaststättenbetriebe des Premium-Segments (im Folgenden als Abnehmer bezeichnet) täglich und deutschlandweit beliefern. Jeder Lieferant beliefert

pro Region mehrere Abnehmerbetriebe; dabei bestehen zwischen den vier Lieferanten deutliche Überschneidungen bezüglich des Kundenkreises.

Im Rahmen einer bestandsarmen Beschaffungskonzeption stellen die Abnehmer hohe Anforderungen an eine tagesaktuell-bedarfsgerechte Belieferung in Bezug auf Lieferzeit, Liefermenge und Konfektionierung der Vorprodukte. Zur Erfüllung dieser Anforderungen bieten die Lieferanten jeweils einen in Eigenregie organisierten Frei-Haus-Lieferservice an. Zum Teil unterhalten die Lieferanten in wichtigen Ballungszentren jeweils eigene Fahrzeuge mit angestellten Fahrern, welche die Auslieferung vor Ort besorgen. Zur Abdeckung von Bedarfsspitzen und in Regionen, in denen bislang keine eigenen Fahrzeuge zur Verfügung stehen, wird auf externe, auf Lebensmitteltransporte spezialisierte Logistikdienstleister zurückgegriffen, welche die Ware beim Werk des Lieferanten abholen und direkt an den Abnehmer ausliefern.

Die derzeitige Situation der Distributionsabwicklung wird bei den betrachteten Lieferanten in mehrfacher Hinsicht als unbefriedigend angesehen. Die manuelle tägliche Disposition der Distributionsaktivitäten stößt an ihre Grenzen; insbesondere wegen der z.T. erheblichen täglichen Bedarfsschwankungen und bei der Ad-hoc-Einplanung kurzfristig eintreffender Bestellungen werden wirtschaftlich sinnvollere Einplanungsvarianten häufig verfehlt. Als Folge können die vor Ort eingesetzten eigenen Fahrzeuge oft nicht zufriedenstellend ausgelastet werden. Auch der häufige Rückgriff auf externe Logistik-Dienstleister wird zunehmend als nachteilig empfunden. Ausschlaggebend hierfür sind neben den hohen Kosten, die eine expeditionelle Frei-Haus-Belieferung zum Wunschtermin bei den relativ kleinen Sendungsgrößen verursacht, vor allem die fehlende Kundennähe und die geringere Flexibilität der Dienstleister bei kurzfristig auftretendem Bedarf. Darüber hinaus verstärkt sich auf Abnehmerseite der Trend weg von einer Einzelbelieferung durch spezialisierte Hersteller hin zu einer Versorgung aus einer Hand, vor allem, um den Mehraufwand für eine Vielzahl von Abfertigungsvorgängen pro Tag zu vermeiden. Aufgrund dieser Situation erwächst den Lieferanten ernstzunehmende Konkurrenz durch etablierte Lebensmittel-Einzelhandelsketten, die mit einem weitgehend standardisierten Vollsortiment in den Markt drängen.

Der Versuch, eine maßgebliche Verbesserung der beschriebenen Situation ausschließlich durch Optimierung auf unternehmensindividueller Basis zu erreichen, erscheint schon allein wegen der vergleichsweise geringen einzelwirtschaftlichen „Dispositionsmasse“ wenig aussichtsreich. Daher beabsichtigen die Lieferanten, in Zukunft bei der operativen Abwicklung des Lieferservice eng zu kooperieren. Aufgrund des komplementären Produktprogramms besteht keine unmittelbare Konkurrenzbeziehung zwischen den Kooperationspartnern. Das Konfliktpotential der Kooperation ist daher gering, die Aussichten auf Erfolg, Stabilität und Nachhaltigkeit der Zusammenarbeit werden von den Partnern somit als vergleichsweise hoch eingeschätzt.

Das Ziel besteht darin, durch eine unternehmensübergreifende Transportdisposition eine deutlich verbesserte Auslastung der Transportkapazitäten und eine signifikante Reduktion der individuellen Transportkostenbelastung der einzelnen Partner zu erreichen. Dazu sollen die bei den Partnern vorhandenen Ressourcen sowie die täglich eintreffenden Aufträge zu virtuellen Pools zusammengefasst und auf dieser Basis eine

DV-gestützte, konsolidierte Disposition der eigenen und fremdvergebenen Transporte vorgenommen werden. Die anfallenden gesamten Transportkosten sollen transparent und fair auf die beteiligten Partner umgelegt werden. Gleichzeitig soll die Kooperation es den beteiligten Unternehmen ermöglichen, gemeinsam als „virtueller Vollsor-timeter“ aufzutreten und damit ihre Wettbewerbsposition zu stärken.

Innerhalb des geschilderten Kooperations szenarios lassen sich zwei Teilprobleme identifizieren, die im Rahmen einer DV-basierten Dispositionsunterstützung zu lösen sind:

- Minimierung der Gesamtkosten der Distributionslogistik durch eine konsolidier-te Disposition aller Aufträge und Transportmittel innerhalb der Kooperation, sowie
- Bestimmung einer fairen Allokation der anfallenden Kosten auf die Koopera-tionsteilnehmer.

Dem frühen Stadium des geschilderten Vorhabens entsprechend besteht das Ziel des vorliegenden Beitrags darin, zunächst das durch den Einsatz DV-gestützter Dis-positionsverfahren innerhalb der Kooperation erzielbare Einsparungspotential abzu-schätzen. Dazu widmet sich die vorliegende Untersuchung vorrangig dem erstgenann-ten Problem; das Problem der Kostenallokation ist Gegenstand zukünftiger For-schungsarbeiten. Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Nach dieser Einleitung gibt der folgende Abschnitt 2 einen kurzen Überblick über den Stand der Diskussion in der einschlägigen Literatur. Das betrachtete Problem der konsolidierten Transportdispo-sition wird anschließend in Abschnitt 3 abgegrenzt und näher beschrieben. Abschnitt 4 stellt zwei einfache Heuristiken zur Lösung des beschriebenen Problems vor, welche die Grundlage für die experimentelle Ermittlung des Einsparungspotentials bilden, deren Ergebnisse in Kap. 5 präsentiert und diskutiert werden. Ein kurzer Ausblick auf laufende und zukünftige Forschungsarbeiten schließt den Beitrag ab.

## 2 Verwandte Ansätze in der Literatur

In der Literatur stellen unternehmensübergreifende Distributionslogistik-Lösungen für kleine und mittlere Unternehmen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie ein bis-lang wenig beachtetes Forschungsfeld dar. Insbesondere finden sich nur sehr vereinzelt Untersuchungen oder Beschreibungen, die dem hier untersuchten Szenario ver-wandte Problemstellungen zum Gegenstand haben. Zudem handelt es sich dabei häu-fig um relativ knappe Darstellungen im Rahmen journalistischer oder marketingorien-tierter Berichterstattung, die nur wenig konkrete Informationen über Einzelheiten der Problemstellung und die zu ihrer Lösung eingesetzten Planungsinstrumente liefern. Beispiele hierfür sind Berichte über die das „Münchener Modell“ zur konsolidierten Belieferung des Handels im Ballungsraum durch kooperierende Ver-lader der Nahrungs- und Genussmittelindustrie [2], über die Distributionskooperation unter dem Dach der HEMA Herstellermarken GmbH [9] oder über die Initiative norddeutscher Lebensmittelhersteller FoodRegio [5].

Zu den wenigen Analysen in der wissenschaftlichen Literatur, die einen Bezug zur hier betrachteten Problemstellung aufweisen, zählt der Beitrag von Fleischmann über

Distributionslogistik-Kooperationen zwischen Herstellern der Konsumgüterindustrie [4]. Während Fleischmann jedoch die strategische Planung für den Aufbau kooperativer Distributionsnetzwerke fokussiert, konzentriert sich der vorliegende Beitrag auf die Ermittlung des potentiellen Beitrags DV-gestützter Planungsansätze im Rahmen der (operativen) Disposition des Ressourceneinsatzes im Unternehmensverbund. Insbesondere berücksichtigt der in diesem Beitrag vorgeschlagene Ansatz explizit die simultane Planung des Einsatzes sowohl von Logistikdienstleistern als auch von eigenen Fahrzeugen der kooperierenden Lieferanten. Eine weitere relevante Arbeit befasst sich mit der Identifikation von Synergiepotenzialen in horizontalen Transportlogistik-Kooperationen zwischen Herstellern kurzlebiger Konsumgüter [1]. Im Mittelpunkt steht das Ziel, Entscheidern in der Zielbranche Entscheidungshilfen für die strategische Wahl einer profitablen Kooperationsalternative an die Hand zu geben; eine DV-Unterstützung der täglichen Disposition innerhalb einer solchen Kooperation wird hier ebenfalls nicht betrachtet.

Neben den genannten Arbeiten finden sich in der Literatur Publikationen, welche wichtige Teilaspekte des geschilderten Dispositionsproblems isoliert behandeln, z.B. zur dynamischen Tourenplanung (z.B. [11], [12]), zur simultanen Disposition von Eigen- und Fremtransporten (z.B. [10], [13]) sowie zur kooperativen Transportdisposition (z.B. [6], [7]). Eine Integration aller dieser Teilprobleme im Sinne der hier betrachteten Planungssituation hat bislang jedoch nicht stattgefunden.

Als Fazit aus der Analyse der Literatursituation lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen: Einerseits belegen verschiedene Berichte über entsprechende Projekte in Praktiker-Organen, dass Distributionskooperationen im Bereich der Nahrungs- und Genussmittelindustrie sowie angrenzender Branchen erhebliche praktische Relevanz besitzen. Andererseits wird deutlich, dass Kooperationen kleiner und mittlerer Unternehmen in diesem Umfeld bislang keine nennenswerte Aufmerksamkeit erhalten. Auch findet eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Anwendungsfeld bislang nur in geringem Umfang statt.

### **3 Problemstellung**

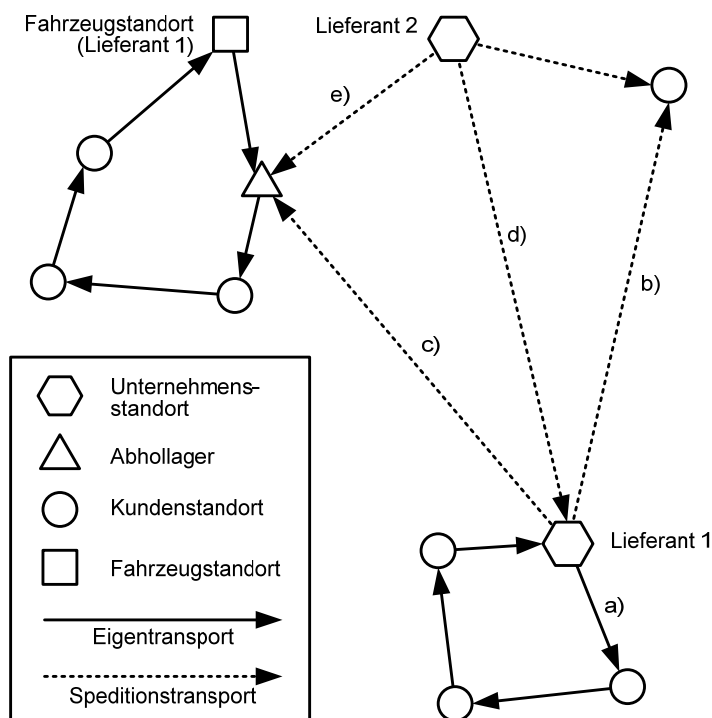
#### **3.1 Überblick über die Distributionsstruktur**

Wegen der großen Distanzen führen die betrachteten Unternehmen den Lieferservice meist im gebrochenen Verkehr durch, d.h. die Ware wird im Fernverkehr via Spedition bis zum Abhollager in der Zielregion befördert und von dort mit eigenen Fahrzeugen „ausgerollt“. Eine direkte (d.h. ungebrochene) Zustellung mit eigenem Fahrzeug ist möglich, sofern ein Kunde in der Nähe des Unternehmensstandorts liegt und der Unternehmensstandort zugleich Fahrzeugstandort ist. Eine weitere Dispositionsalternative besteht in der kompletten Vergabe eines Transports an einen externen Logistikdienstleister, welcher die Ware vom Unternehmensstandort des Lieferanten abholt und an den Standort des Kunden liefert (Haus-zu-Haus-Zustellung). Da im letzteren Fall die tatsächliche Abwicklung des Transports für den auftraggebenden Lieferanten nicht von Interesse ist und sich aus dessen Sicht als („virtuell“) direkter

Transport darstellt, soll in diesem Fall von einer direkten Belieferung durch einen externen Dienstleister gesprochen werden.

Abb. 1 veranschaulicht am Beispiel zweier Lieferanten die Distributionsstruktur innerhalb der angestrebten Kooperation. Anhand dieser Struktur lassen sich die oben genannten Möglichkeiten der Kunden-Belieferung aus Sicht von Lieferant 1 bzw. Lieferant 2 wie folgt verdeutlichen (vgl. Fälle a bis e in Abb. 1):

- a) Direkte Lieferung an den Kunden mit eigenem Fahrzeug vom eigenen Unternehmensstandort aus (Fall a aus Sicht des Lieferanten 1);
- b) „Direkte“ Lieferung an den Kunden mit externem Logistikdienstleister vom eigenen Unternehmensstandort aus (Fall b aus Sicht des Lieferanten 1);
- c) Indirekte Lieferung mit einem externen Logistikdienstleister an ein Abhollager in der Zielregion, anschließend Auslieferung von dort mit eigenem Fahrzeug an den Kunden (Fall c aus Sicht des Lieferanten 1);
- d) Indirekte Lieferung mit einem externen Logistikdienstleister an ein Abhollager oder an den Standort eines kooperierenden Unternehmens in der Zielregion, anschließend Auslieferung von dort mit einem Fahrzeug eines Kooperationspartners (Fälle d bzw. e aus Sicht von Lieferant 2).



**Abb. 1.** Distributionsstruktur am Beispiel zweier kooperierender Lieferanten (schematisch).

In den folgenden Abschnitten wird eine weitere Konkretisierung der Problemstellung vorgenommen.

### 3.2 Repräsentation der Problemdaten

Die räumlichen Gegebenheiten der betrachteten Problemstellung lassen sich durch einen gewichteten Digraphen  $(V, E, d)$  mit der Knotenmenge  $V$  und der Pfeilmenge  $E$  beschreiben. Die Knotenmenge  $V$  repräsentiert alle für eine gegebene Planungssituation relevanten geografischen Orte und umfasst als Teilmengen die Menge aller Unternehmensstandorte (Quellen)  $V^o$ , die Menge aller Kundenstandorte (Senken)  $V^d$ , die Menge aller Fahrzeugstandorte  $V^h$  sowie die Menge aller Abholläger (Umschlagpunkte)  $V^u$ . Die Pfeile in  $E$  zeigen die Möglichkeit an, von einem Knoten  $v_1$  zu einem anderen Knoten  $v_2$  zu gelangen. In Bezug auf das zu Grunde liegende reale Verkehrsnetz repräsentieren sie die kürzesten Wege zwischen beiden Knoten. In diesem Sinne gibt das Gewicht  $d(v_1, v_2)$  Auskunft über die Länge des kürzesten Weges von  $v_1$  nach  $v_2$ . In der Praxis ist diese z.B. durch ein (meist nicht-symmetrisches) Entfernungswerk auf der Basis realer Straßennetz-Daten definiert.

Im Verlauf eines Tages treffen Bestellungen der Kunden bei den Lieferanten ein, die unmittelbar zu Transportaufträgen führen. Diese werden derzeit bis zu einem bestimmten Planungszeitpunkt gesammelt und dann als Gesamtheit disponiert. Die Menge aller zum Planungszeitpunkt vorliegenden Transportaufträge sei  $R$ . Ein Transportauftrag  $r \in R$  kann als 5-Tupel  $(o, v^s, v^d, q, \tau)$  beschrieben werden. Dabei bezeichnen  $o \in O$  das Kooperationsunternehmen, bei dem der Auftrag eingegangen ist,  $v^s \in V^o$  den Unternehmensstandort als Ort der ersten Güterbereitstellung,  $v^d \in V^d$  den Standort des zu beliefernden Kunden,  $q$  den Kapazitätsbedarf des Auftrags und  $\tau$  den spätesten Zeitpunkt der Anlieferung beim Kunden.

Als Transportmittel steht eine Menge  $A$  von Auslieferungsfahrzeugen der Kooperationspartner zur Verfügung, die an unterschiedlichen Standorten – entweder am Unternehmensstandort eines Kooperationspartners oder dezentral in Ballungszentren – stationiert sind. Jedes Fahrzeug ist fest einem bestimmten Umschlagpunkt (meist ein Abhollager) zugeordnet, von welchem es Aufträge zur Auslieferung aufnimmt. Ein solches Fahrzeug  $a \in A$  lässt sich durch ein 6-Tupel  $(o, v^h, v^u, q^{max}, t^{max}, c^{route})$  beschreiben. Dabei bezeichnen  $o \in O$  den Kooperationspartner, der das Fahrzeug besitzt,  $v^h$  den Fahrzeugstandort,  $v^u$  das dem Fahrzeug zugeordnete Abhollager,  $q^{max}$  die maximal zulässige Zuladung,  $t^{max}$  die maximale Einsatzdauer des Fahrzeugs während eines Tages sowie  $c^{route}$  eine noch näher zu bestimmende Funktion zur Berechnung der durch den Fahrzeugeinsatz entstehenden Kosten. Sofern innerhalb der Kooperation Einschränkungen bezüglich der gegenseitigen Zurverfügungstellung von Auslieferungsfahrzeugen bestehen, kann dies durch eine Funktion  $z: O \times O \rightarrow \{true, false\}$  zum Ausdruck gebracht werden, die für Paare  $(o_1, o_2)$  mit  $o_1, o_2 \in O$  angibt, ob Fahrzeuge des Kooperationspartners  $o_1$  zur Beförderung von Aufträgen des Unternehmens  $o_2$  verwendet werden können. Für die Durchführung von Transporten zwischen Unternehmensstandorten und Umschlagpunkten bzw. für Direktbelieferungen vom Unternehmensstandort aus stehen ggf. mehrere externe Logistikdienstleister  $L$  zur Auswahl. Das 2-Tupel  $(v^u, c^{freight})$  beschreibt einen Logistikdienstleister  $l \in L$  anhand seiner mit Blick auf die vorliegende Problemstellung relevanten Merkmale, nämlich das von ihm betriebene Abhollager  $v^u$  sowie seine spezifische Frachtfunktion  $c^{freight}$ . In Übereinstimmung mit der derzeitigen Praxis wird angenommen, dass die Zuordnung eines

Logistikdienstleisters zu einem Abhollager eindeutig ist. Daraus folgt insbesondere, dass mit der Zuordnung eines Auftrags zu einem Auslieferungsfahrzeug (aufgrund der Bindung jedes Fahrzeugs an ein bestimmtes Abhollager) gleichzeitig der externe Logistik-Dienstleister feststeht, über den der Transport zum Abhollager abgewickelt wird. Die Fremdvergabe von Aufträgen erfolgt in Form so genannter Sendungen. Eine Sendung  $s$  ist definiert als 4-Tupel  $(v^+, v^-, Y, l)$  und bezeichnet eine Menge von Aufträgen  $Y$ , die durch den Logistik-Dienstleister  $l \in L$  gemeinsam von  $v^+$  nach  $v^-$  befördert werden. Dabei gilt  $v^+ \in V^n$ ; handelt es sich um eine Direktbelieferung, gilt außerdem  $v^- \in V^n$ , ansonsten gilt  $v^- \in V^d$ .

### 3.3 Definition der Planungsaufgabe

Auf Basis der vorgenannten Vereinbarungen lassen sich nun folgende interdependente Teilaufgaben beschreiben, welche im Rahmen der konsolidierten Transportdisposition simultan zu lösen sind:

- Aus der Menge  $R$  der vorliegenden Aufträge ist die Teilmenge  $R^{own}$  derjenigen Aufträge zu bestimmen, die – sei es direkt oder indirekt – unter Verwendung eigener Fahrzeuge ausgeliefert werden sollen. Die Restmenge  $R^{sub} = R \setminus R^{own}$  enthält somit alle Aufträge, die von externen Dienstleistern vom Unternehmensstandort abgeholt und ohne Beteiligung eigener Fahrzeuge „direkt“ zum Kunden befördert werden.
- Jeder Auftrag  $r \in R^{own}$  ist genau einem Fahrzeug  $a \in A$  zuzuordnen. Für die Menge  $X_a \subset R^{own}$  der einem Fahrzeug  $a$  zugeordneten Aufträge ist ein Traveling-Salesman-Problem (TSP) zu lösen, d.h. es ist eine Fahrzeugroute  $\pi$  durch alle Kundenstandorte von  $X_a$  zu bestimmen. Ein Tripel  $(X, a, \pi)$ , mit  $X \subset R^{own}$ ,  $a \in A$  sowie einer Route  $\pi$  wird als Tour  $t$  bezeichnet. Eine Tour  $t$  ist zulässig, falls  $z(o_a, o_r) = true$  für alle Aufträge  $r \in X_t$  und die Route  $\pi_t$  zulässig ist. Letzteres gilt, falls  $\pi_t$  die Zustimmung jedes Auftrags  $r \in X_t$  vor seinem spätesten Lieferzeitpunkt  $\tau_r$  sowie die Einhaltung der maximalen Fahrzeugeinsatzdauer  $t^{max}(a)$  und der maximalen Fahrzeugkapazität  $q^{max}(a)$  sicherstellt. Eine Menge  $T$  zulässiger Touren mit  $\bigcup_{t \in T} X_t = R^{own}$  und  $\bigcap_{t \in T} X_t = \emptyset$  heißt Tourenplan zur Menge  $R^{own}$ .
- Aus der Zuordnung eines Auftrags  $r$  zu einem Fahrzeug  $a$  ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit, einen Fremdtransport für die Beförderung vom Unternehmensstandort  $v^o(r)$  zum Umschlagpunkt  $v^u(a)$  zu planen. Ausgenommen davon sind alle Aufträge  $R^{dir} \subset R^{own}$ , für die  $v^o(r) = v^u(a)$  gilt, da sie einem Fahrzeug am Unternehmensstandort des Auftragnehmers selbst zugeordnet sind und von dort direkt ausgeliefert werden (Fall a in Abb. 1). Sei  $R^{ind} = R^{own} \setminus R^{dir}$ , so bilden alle Aufträge  $Y \subset R^{ind}$  mit übereinstimmendem Bereitstellungsort  $v^o$ , die für dasselbe Abhollager  $v^u$  bestimmt sind, gemeinsam eine Sendung  $s = (v^o, v^u, Y, l(v^u))$ . Man beachte, dass sich die Menge  $S^{ind}$  aller Sendungen zur Menge  $R^{ind}$  unmittelbar aus einem gegebenen Tourenplan  $T$  ableitet. Es gilt:  $\bigcup_{s \in S^{ind}} Y_s = R^{ind}$  und  $\bigcap_{s \in S^{ind}} Y_s = \emptyset$ .
- Die verbleibenden Aufträge  $r \in R^{sub}$  werden jeweils als Einzelsendungen  $(v^o(r), v^d(r), \{r\}, l)$  an einen der Logistikdienstleister  $l \in L$  zur Direktbelieferung

vergeben. Die Menge aller Einzelsendungen aus der Fremdvergabe von  $R^{sub}$  sei im Weiteren als  $S^{dir}$  bezeichnet. Im Unterschied zu den Sendungen in  $S^{ind}$ , deren Zuordnung zu einem Dienstleister bereits aufgrund der Zuweisung der enthaltenen Aufträge zu einem bestimmten Kooperationsfahrzeug festgelegt ist, besteht in Bezug auf die Sendungen in  $S^{dir}$  Freiheit bei der Wahl des Logistikdienstleisters.

### 3.4 Kostenfunktionen

Bezüglich des Einsatzes von Kooperationsfahrzeugen sind die während der Routenausführung entstehenden variablen Fahrzeugeinzelkosten entscheidungsrelevant, die sich additiv aus einer zeit- und einer entfernungsabhängigen Komponente zusammensetzen. Für ein Fahrzeug  $a$  berechnen sich diese Kostenkomponenten durch Anwendung fahrzeugspezifischer Kostensätze auf die Gesamtdauer  $\tau(\pi_t)$  bzw. die Gesamtstrecke  $d(\pi_t)$  der dem Fahrzeug mit einer Tour  $t \in T$  zugewiesenen Route  $\pi_t$ . Entsprechend ergeben sich die Gesamtkosten  $C^{own}$  des Einsatzes von Kooperationsfahrzeugen zu

$$C^{own}(T) = \sum_{t \in T} c_{a(t)}^{route}(\pi_t).$$

Die Kosten eines Fremdtransports richten sich nach den mit den externen Logistikdienstleistern für die jeweilige Leistung vereinbarten Tarifen. Die Frachtkosten  $c_i(s)$  werden sendungsbezogen berechnet und hängen im wesentlichen vom Sendungsgewicht, teilweise zusätzlich von der Sendungsrelation  $(v^+, v^-)$  ab. Die Tarife sind frachtsatzdegressiv in Bezug auf steigende Sendungsgewichte, was im Fall der indirekten Belieferung über ein Abhollager die Möglichkeit eröffnet, durch Bündelung der für eine bestimmte Region bestimmten Aufträge erhebliche Kostenvorteile gegenüber einer Einzelabrechnung zu erzielen. Mit  $S = S^{dir} \cup S^{ind}$  gilt für die gesamten Kosten  $C^{sub}$  der Fremdvergabe

$$C^{sub}(S) = \sum_{s \in S} c_{l(s)}^{freight}(s).$$

### 3.5 Suchraum und Zielfunktion

Gegeben seien ein Digraph  $D$  zur Repräsentation der Standorte und Verkehrsverbindungen, eine Menge kooperierender Unternehmen  $O$ , eine Menge von Transportaufträgen  $R$ , eine Menge von Auslieferungsfahrzeugen  $A$ , eine Menge von Logistikdienstleistern  $L$  sowie eine Funktion  $z$  zur Festlegung der wechselseitigen Bereitstellung von Auslieferungsfahrzeugen zwischen den Unternehmen. Dann bildet das Tupel  $P = (D, O, R, A, L, z)$  eine konkrete Instanz des betrachteten konsolidierten Transportdispositionsproblems. Ein Tupel  $\lambda = (T, S)$  stellt eine zulässige Lösung von  $P$  dar, sofern  $T$  ein zulässiger Tourenplan zur Auftragsmenge  $R$  und  $S = S^{ind} \cup S^{dir}$  eine zu  $T$  kompatible Menge von Sendungen im Sinne der in Kap. 3.2 getroffenen Festlegungen ist.



Der Lösungsraum des Problems wird durch die Menge  $\Lambda$  aller zulässigen Lösungen gebildet. Die Zielfunktion für die Suche innerhalb des Lösungsraums entspricht der Gesamtkostenfunktion, bestehend aus den Kosten des Einsatzes von kooperati- onseigenen Fahrzeugen und den Fremdvergabekosten:

$$C(\lambda) = C^{own}(T_\lambda) + C^{sub}(S_\lambda).$$

Gesucht ist nun die Lösung  $\lambda^*$ , die zu minimalen Gesamtkosten führt:

$$C(\lambda^*) = \min\{C(\lambda) | \lambda \in \Lambda\}.$$

#### 4 Verfahrensansätze zur Abschätzung des Einsparpotentials

Um das im Rahmen der Kooperation erzielbare Einsparpotential abzuschätzen, wurden zwei alternative heuristische Verfahren zur Lösung des im vorangehenden Kapitel beschriebenen Transportdispositionsproblems entwickelt. Beide Verfahren bestehen aus zwei Phasen. In Phase I, dem Eröffnungsverfahren, wird mit Hilfe eines einfachen Konstruktionsverfahrens eine erste zulässige Lösung erzeugt. In Phase II wird anschließend mittels einer Nachbarschaftssuche eine schrittweise Verbesserung der Ausgangslösung vorgenommen. Die beiden entwickelten Verfahren unterscheiden sich lediglich in Bezug auf die Gestaltung der Nachbarschaftssuche. Während das erste Verfahren (V1) ein reines Verbesserungsverfahren zum Einsatz bringt, verwendet das zweite Verfahren (V2) eine Threshold-Accepting-Metaheuristik. Beide Heuristiken basieren auf demselben Nachbarschaftsoperator. Im Folgenden werden die Verfahrenskomponenten jeweils kurz beschrieben.

**Konstruktionsverfahren.** Dieses Verfahren implementiert Phase I des Lösungsverfahrens und dient der Erzeugung einer zulässigen Ausgangslösung. Zunächst wird ein Transportplan mit leeren Touren angelegt. In zufälliger Reihenfolge werden die anstehenden Aufträge anschließend in den Plan eingefügt. Für jeden Auftrag wird die kostengünstigste Einfügemöglichkeit in den Touren der eigenen Auslieferungsfahrzeuge bestimmt. Ist eine solche Einplanung möglich, muss anschließend überprüft werden, ob der Ausgangsort des Auftrags mit dem entsprechenden Tourdepot identisch ist. Falls dies nicht der Fall ist, wird zusätzlich ein fremdvergebener Transport zum jeweiligen Abhollager geplant. Kann ein Auftrag überhaupt nicht in eine eigene Tour eingeplant werden, wird der komplette Auftrag als Direktlieferung fremdvergeben.

**Erzeugung einer Nachbarschaftslösung.** Eine benachbarte Lösung wird erzeugt, indem ein zufällig bestimmter Teil der aktuellen Lösung zerstört und anschließend wieder neu aufgebaut wird (Destruktions-/Rekonstruktionsnachbarschaft). Das Verfahren geht so vor, dass sowohl aus den Touren der eigenen Auslieferungsfahrzeuge als auch aus den fremdvergebenen Transporten eine vorzugebende Anzahl von Aufträgen herausgenommen wird, die unmittelbar danach wieder in zufälliger Reihenfolge eingeplant werden. Im Gegensatz zum Konstruktionsverfahren wird bei der Neu- einplanung der Aufträge ermittelt, ob die Direktlieferung durch Fremdvergabe günsti-

ger ist als die Auslieferung durch ein eigenes Fahrzeug einschließlich des Fremdt transports zum Abhollager.

**Verbesserungsverfahren (First Fit Greedy).** Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein reines Verbesserungsverfahren (Greedy-Verfahren) nach dem Prinzip der ersten Verbesserung (First Fit, vgl. Algorithmus 1). In einer Schleife produziert das Verfahren fortwährend Lösungen aus der Nachbarschaft einer Ausgangslösung. Sobald eine Lösung gefunden wird, deren Kosten die Kosten der zuletzt aufgefundenen Lösung unterschreiten, wird die neue Lösung zur Ausgangslösung für die nachfolgenden Iterationen. Als Terminationskriterium kann z.B. eine bestimmte Rechenzeit oder einer Anzahl von Iterationen vorgegeben werden.

**Algorithmus 1.** Verbesserungsverfahren (First Fit Greedy)

```

Eingabe: Ausgangslösung lsg
alt_Lösung := lsg
best_Lösung := alt_Lösung
Wiederhole, bis Terminationskriterium erfüllt
  neu_Lösung := Erzeuge_Nachbarschaftslösung(alt_Lösung)
  Falls Kosten(neu_Lösung) < Kosten(alt_Lösung)
    alt_Lösung := neu_Lösung
  Falls Kosten(neu_Lösung) < Kosten(best_Lösung)
    best_Lösung := neu_Lösung
Ausgabe: best_Lösung

```

**Metaheuristik (Threshold Accepting).** Das im Folgenden beschriebene alternative Verfahren lehnt sich an den Threshold Accepting Standard Algorithm [3] an und beruht damit auf der Idee, kurzfristig auch Lösungsverschlechterungen zuzulassen, deren Ausmaß allerdings im Laufe des Verfahrens zu variieren (meist: zu verringern). Zu diesem Zweck benötigt der Algorithmus eine Threshold-Liste der Form  $T(1), \dots, T(\max\_T)$ , welche die in jeder Hauptiteration des Verfahrens gültigen Schwellenwerte für die Akzeptanz bzw. Nichtakzeptanz einer neuen Lösung vorgibt (vgl. Algorithmus 2).

**Algorithmus 2.** Metaheuristik (Threshold Accepting)

```

Eingabe: Ausgangslösung lsg; Thresholds (T(1), ..., T(max_T));
alt_Lösung := lsg
best_Lösung := lsg
Für t = 1 bis max_T
  Wiederhole n mal:
    neu_Lösung := Erzeuge_Nachbarschaftslösung(alt_Lösung)
    Falls Kosten(neu_Lösung) < Kosten(alt_Lösung) * (1+T(t))
      alteLösung := neueLösung
    Falls Kosten(neu_Lösung) < Kosten(best_Lösung)
      best_Lösung := neu_Lösung
Ausgabe: best_Lösung

```

Anders als im Verbesserungsverfahren wird hier eine Nachbarschaftslösung auch dann als neue Ausgangslösung akzeptiert, wenn sie die Kosten der vorangehenden Ausgangslösung um nicht mehr als einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Nach jeweils  $n$  Iterationen – ein vorzugebender Verfahrensparameter – wird der Schwellenwert gemäß der Threshold-Liste angepasst. Die insgesamt kostengünstigste unter allen bislang gefundenen Lösungen wird festgehalten und am Ende des Verfahrens zurückgegeben.

## 5 Rechnergestützte Experimente

Zur Ermittlung des durch eine konsolidierte Transportdisposition zu erwartenden Transportkosten-Einsparpotentials wurde auf Basis realistischer Auftragsdaten eine Serie von Testrechnungen sowohl unter den Bedingungen eines kooperativen Vorgehens (kooperatives Szenario) als auch unter der Annahme einer isolierten Transportplanung (isoliertes Szenario) durchgeführt. Das Einsparpotential wurde als Mittelwert der Differenzen der pro Testdatensatz unter beiden Szenarios erzielten Gesamt-Transportkosten berechnet.

Die Bestimmung der Gesamt-Transportkosten wiederum erfolgte auf der Grundlage der Transportpläne, die für jeden Testdatensatz mit Hilfe der im vorangehenden Abschnitt skizzierten Heuristiken ermittelt wurden. Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu steigern, wurden die Testrechnungen mit beiden Lösungsverfahren durchgeführt und miteinander verglichen. Gewissermaßen als „Nebenprodukt“ der Abschätzung des Konsolidierungspotentials wurde auf Basis der Testergebnisse zudem noch ein erster Vergleich der Leistungsfähigkeit beider Verfahren möglich. Die folgenden Abschnitte liefern eine nähere Beschreibung der einzelnen Schritte des geschilderten Ablaufs.

### 5.1 Test-Problemdaten

Aufgrund der stark beleggebundenen und überwiegend handschriftlich-manuellen Dispositionsabwicklung bei den kooperierenden Unternehmen erwies sich die Zusammenstellung repräsentativer Problemdatensätze aus „echten“ Vergangenheitsdaten als sehr aufwendig. Zudem ließ sich die tatsächliche Transportabwicklung wegen der lückenhaften Dokumentation zu weiten Teilen nicht mehr zweifelsfrei rekonstruieren, so dass auf dieser Datengrundlage ein seriöser Vergleich zwischen rechnergestützter und herkömmlicher manueller Disposition nicht möglich erschien.

Da auch aus sonstigen Quellen keine Benchmark-Testinstanzen für das beschriebene Problem verfügbar waren, mussten Test-Problemdaten für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung eigens generiert werden. Dies geschah auf der Basis eines eng an die reale Situation in der betrachteten Kooperation angelehnten Szenarios.

Analog zur Realsituation werden vier Unternehmen betrachtet, die hier als A, B, C und D bezeichnet werden. Eine Konsolidierung der Kundendatenbanken der kooperierenden Unternehmen führte zu einem bereinigten Gesamtbestand von 523 verschiedenen Kundenstandorten, von denen etwa 42 Prozent als gemeinsame Kunden mindestens zweier Lieferanten identifiziert werden konnten. Insgesamt wurden 30 Test-Instanzen mit jeweils 185 Transportaufträgen generiert, was einem als realistisch angenommenen Bestellaufkommen pro Liefertag entspricht. Jede Instanz repräsentiert somit das Transportaufkommen eines durchschnittlichen Liefertages. Als vereinfach-

chende Annahme wird für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen, dass alle Aufträge einheitlich bis zwölf Uhr mittags zugestellt werden müssen. Die folgenden Abschnitte informieren über weitere Einzelheiten der Problem-  
instanzerzeugung.

**Bestimmung von Auftragsgewichten.** Die Grundlage für die Bestimmung von Auftragsgewichten bildeten die für jedes Unternehmen individuell ermittelten empirischen Häufigkeitsverteilungen der Auftragsgewichte. Die verteilungsgerechte Erzeugung von Auftragsgewichten aus den empirischen Verteilungsdaten erfolgte mit Hilfe eines Pseudozufallszahlengenerators nach dem in der Literatur als Table-Lookup-Methode bezeichneten Verfahren [8]. Bedingt durch die Verwendung branchentypischer Lademittel (normierte, desinfizierbare Kunststoff-Gitterboxen mit einer üblichen Warenbelastung von ca. 12 kg), lässt sich bei Bedarf das Sendungsvolumen unmittelbar aus dem Auftragsgewicht ableiten.

**Berechnung der Distanzmatrix.** Die alle Standorte umfassende Distanzmatrix wurde mit Hilfe des kartographischen Visualisierungswerkzeugs Microsoft MapPoint in der Version 2006 berechnet, das neben der Komponente für die geographische Aufbereitung von Geschäftsdaten auch über einen Algorithmus zur Berechnung von kürzesten Wegen verfügt. Aufgrund der rechenintensiven Wegebestimmung auf der Grundlage des tatsächlichen Straßennetzes wurde lediglich eine symmetrische Entfernungsmatrix berechnet. Aus der Verwendung realer Daten, die aus den ERP-Systemen der beteiligten Unternehmen exportiert wurden, ergaben sich vereinzelt Datenqualitätsprobleme aufgrund nicht korrekt hinterlegter Ortsbestimmungsmerkmale. Insbesondere Kundenstandorte auf Flughafen-Arealen (z.B. Catering-Betriebe der Luftfahrtgesellschaften) bereiteten Schwierigkeiten, da solche Adressen dem Verwendungszweck entsprechend (Lokalisierung durch Auslieferungsfahrer) häufig nicht im Standard-Adressenschema hinterlegt, sondern durch die Angabe eines Gebäudekomplexes gekennzeichnet waren. In den meisten Fällen konnten diese Probleme durch eine manuelle Korrektur behoben werden.

**Transportmittel.** Im betrachteten Szenario unterhalten zwei Unternehmen (A und B) eigene Auslieferungsfahrzeuge (10 bzw. 3 Fahrzeuge), die jeweils über eine maximale Nutzlast von ca. 1 t und je nach Fahrzeugtyp über ein Laderaumvolumen von ca. 150 bis 200 Gitterboxen verfügen. Da sämtliche Fahrer festangestellt sind, konnten die regelmäßigen Personalaufwendungen aufgrund der in kurzfristiger Sichtweise weitestgehend unveränderlichen Höhe unberücksichtigt bleiben; neben den kilometerabhängigen Kosten fanden daher lediglich mögliche Überstundenvergütungen als zeitabhängige Kostenkomponente Eingang in die Kostenbewertung. Bezüglich der gegenseitigen Bereitstellung der Fahrzeuge werden zwei Teilszenarien unterschieden:

Als „isoliertes Szenario“ wird der gegenwärtige Zustand ohne Kooperation bezeichnet, in dem sich die Unternehmen A und B ihre Transport-Ressourcen weder gegenseitig noch den übrigen Unternehmen zur Verfügung stellen. Das isolierte Sze-

nario dient als Referenz-Szenario zur Ermittlung des kooperationsbedingten Einsparpotentials.

Zu einer ersten Abschätzung des Einsparpotentials wird angenommen, dass zunächst nur das Unternehmen mit dem größten eigenen Fuhrpark (Unternehmen A) seine Ressourcen vollständig in den Dienst der gesamten Kooperation stellt. Dieser Zustand wird im Folgenden als „kooperatives Szenario“ bezeichnet. Bezüglich der Fremdvergabe der direkten Haus-zu-Haus-Sendungen wurde vereinfachend angenommen, dass nur ein Logistkdienstleister mit einem nach Sendungsgewichten gestaffelten Tarif zur Verfügung stand.

## 5.2 Verfahrensparametrisierung

Der Operator zur Erzeugung einer Nachbarschaftslösung wurde so eingestellt, dass bei jeder Anwendung 25 Prozent der in eigene Fahrzeuge und 75 Prozent der in fremdvergebene Direktsendungen verplanten Aufträge aus der Ausgangslösung entfernt werden. Hinter der vergleichsweise hohen Zerstörungsrate für die fremdvergebenen Aufträge steht die Absicht, zur Vermeidung unnötiger Direktsendungen die beständige Prüfung der Eigentransport-Alternative für diese Aufträge zu forcieren.

Einziger Parameter für das Verbesserungsverfahren ist das Terminationskriterium, für das die jeweils gültige Laufzeitschranke (60, 260 oder 600 Sekunden) gewählt wurde. Um geeignete Parameter für die Metaheuristik zu finden, wurde eine Reihe von Pilotläufen mit einer Auswahl der erzeugten Probleminstanzen durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde auch mit verschiedenen Alternativen zur herkömmlichen, streng-monotonen Absenkung der Schwellenwerte experimentiert. Dabei erwies sich ein sägezahnartiger Threshold-Verlauf als vorteilhaft, dem zur beschleunigten Verbesserung der Startlösung eine kurze Phase mit negativen Thresholds vorangestellt wurde. Die Anzahl der Threshold-Stufen und die Anzahl der Iterationen pro Threshold-Stufe wurden so gewählt, dass die jeweils geforderten Laufzeitschranken eingehalten wurden.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden wird die Kombination aus einem bestimmten Teilszenario (isoliert oder kooperativ) und einer bestimmten Laufzeitschranke (60, 260 oder 600 Sekunden) als *Testkonfiguration*, die Kombination einer Testkonfiguration mit einer bestimmten Probleminstanz wiederum als *Testfall* bezeichnet. Ein *Testlauf* ist dann die einmalige Anwendung eines bestimmten Verfahrens (V1 oder V2, vgl. Kap. 4) auf einen bestimmten Testfall. Insgesamt ergibt sich somit eine Anzahl von sechs Testkonfigurationen, 180 Testfällen und 360 Testläufen. Alle Testläufe wurden auf einem PC mit Intel® Core™ Duo CPU (2.33 GHz) und 2 GB RAM durchgeführt, wobei ein Testlauf immer nur einen Prozessorkern belegte.

Für jedes der beiden Verfahren und pro Testfall wurden die unter den Annahmen des kooperativen Szenarios erzielten Ergebnisse den korrespondierenden Ergebnissen des isolierten Szenarios gegenübergestellt. Aus den instanzweise berechneten Dif-

ferenzen wurde die bei Verwendung von V1 bzw. V2 erzielbare durchschnittliche kooperationsbedingte Einsparung ermittelt.

Zum Zweck einer ersten Leistungsbeurteilung der entwickelten Heuristiken wurde darüber hinaus für jeden Testfall durch direkten Vergleich der beiden zugehörigen Testläufe (mit V1 bzw. V2) die beste gefundene Lösung ermittelt und anschließend für jedes Verfahren die Abweichung des jeweiligen Zielfunktionswertes vom Zielfunktionswert dieser Bestlösung bestimmt.

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Jeder Eintrag in einer Tabellenzelle der ersten vier Wertspalten gibt den über alle Testfälle einer bestimmten Testkonfiguration berechneten Mittelwert der Abweichungen des betrachteten Verfahrens von der jeweiligen Bestlösung wieder (in Prozent). Die beiden letzten Spalten geben für jedes der beiden Verfahren Auskunft über die jeweils erzielte mittlere kooperationsbedingte Einsparung (in Prozent).

Wie die Werte der beiden letzten Spalten zeigen, konnten im kooperativen Szenario erhebliche Gesamt-Kosteneinsparungen (zwischen etwa 23 und etwa 25 Prozent gegenüber dem isolierten Vorgehen) erzielt werden. Die Ursache hierfür ist vor allem in einer erheblichen Verbesserung der durchschnittlichen Kapazitätsauslastung der nunmehr gemeinsam genutzten Auslieferungsfahrzeuge zu sehen. Zahlreiche Fremdtransporte, die im isolierten Szenario insbesondere bei den Partnern ohne eigenen Fuhrpark (C und D) beträchtliche Kosten verursachen, lassen sich einsparen – einerseits durch Verlagerung auf die vorhandenen Auslieferungsfahrzeuge, andererseits aufgrund der in der Kooperation erweiterten Möglichkeit, Sendungen in dieselbe Zielregion zu bündeln und auf diese Weise die Degression in den Tarifen der Fernverkehrs-spediture auszunutzen. Weiterhin wird deutlich, dass die erzielte relative Einsparung weitgehend unabhängig von dem verwendeten Lösungsverfahren ist.

**Tab. 1.** Aggregierte Ergebnisse über alle 30 Testinstanzen.

Laufzeit	mittlere Abweichung von der besten gefundenen Lösung (in Prozent)				mittlere durch Kooperation erzielte Einsparung ggü. isoliertem Szenario (in Prozent)	
	isoliertes Szenario		kooperatives Szenario		V1	V2
	V1	V2	V1	V2		
max. 60 s	0,24	0,03	2,14	1,40	22,98	23,38
max. 260 s	0,09	0,06	0,46	1,52	24,98	24,17
max. 600 s	0,14	0,02	1,17	0,80	25,01	25,20

Den Werten der Tabelle ist außerdem zu entnehmen, dass beide Verfahren von längeren Rechenzeiten im kooperativen Szenario stärker profitieren als im isolierten Szenario, was sich in einer entsprechenden Erhöhung der mittleren Einsparungen niederschlägt.

Im direkten Vergleich der mittleren Abweichungen von der besten gefundenen Lösung schneidet V2 etwas besser ab als V1. Eine Ausnahme bilden die Ergebnisse der Testläufe im kooperativen Fall bei 260 Sekunden Laufzeit. Eine statistische Signifi-

kanz dieser Beobachtungen konnte allerdings nur für die Ergebnisse nachgewiesen werden, die bei einer Laufzeit von 60 und 600 Sekunden im isolierten Szenario erzielt wurden (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon;  $\alpha=0,1$ ). Die Ursache für die vergleichsweise geringen Vorteile der anspruchsvolleren Heuristik V2 ist möglicherweise in der Größe der Nachbarschaft zu suchen, die der Dekonstruktions-/Rekonstruktions-Operator definiert. Offenbar bietet diese auch einem einfachen Abstiegsverfahren wie der Heuristik V1 über lange Zeit noch Möglichkeiten, dem Festlaufen in einem lokalen Optimum auszuweichen.

## 6 Ausblick

Der Schwerpunkt laufender Arbeiten zur Weiterentwicklung des vorgestellten Ansatzes liegt derzeit auf der Gestaltung geeigneter Mechanismen zur Lösung des Kostenallokationsproblems unter Fairness-Gesichtspunkten. Für den nachhaltigen Erfolg der Kooperation ist dieser Aspekt von besonders hoher Relevanz. Eine Besonderheit der vorliegenden Situation, die in bisherigen (meist spieltheoretisch ausgerichteten) Arbeiten auf diesem Gebiet kaum Berücksichtigung findet, ist die asymmetrische Ressourcenausstattung der Kooperationsteilnehmer, die nach einer expliziten Einbeziehung des Fixkosten-Verteilungsproblems verlangt.

Darüber hinaus sind Arbeiten geplant, die eine weitere Annäherung der Planungssituation an die tatsächlichen betrieblichen Gegebenheiten zum Ziel haben. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Einbeziehung von Leergut-Rücktransportaufträgen, die Berücksichtigung differenzierter Zeitfenster für den Wareneingang sowie die Möglichkeit der Einplanung dynamisch eintreffender Aufträge in Echtzeit.

Im Sinne eines langfristig angelegten, wertorientierten Managementverständnisses sollte ein weiteres Ziel in der Etablierung einer koordinierten strategischen Planung in Bezug auf die Fuhrparkkapazitäten der Kooperationspartner bestehen. Eine solche Planung sollte sich auch auf die Standortwahl und die Auswahl geeigneter Logistik-Dienstleister erstrecken.

## Literaturverzeichnis

1. Bahrami, K.: Horizontale Transportlogistik-Kooperationen – Synergiepotenzial für Hersteller kurzlebiger Konsumgüter. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2003.
2. Berg, C.: Teile und herrsche. Logistik heute, Heft 10/1998, Seiten 102–106.
3. Dueck, G.; Scheuer, T.: Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appearing Superior to Simulated Annealing. Journal of Computational Physics, Band 90, Heft 1, 1990, Seiten 161–175.
4. Fleischmann, B.: Kooperation von Herstellern in der Konsumgüterdistribution. In: Engelhard, J.; Sinz, Elmar J. (Hrsg.): Kooperation im Wettbewerb – Neue Formen und Gestaltungskonzepte im Zeichen von Globalisierung und Informationstechnologie. Gabler, Wiesbaden 1999, S. 167–186.
5. <http://www.foodregio.de>

6. Kopfer, H.; Pankratz, G.: Das Groupage-Problem kooperierender Verkehrsträger. In: Kall, P.; Lüthi, H.-J. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1998, Springer, Berlin u.a. 1999, S. 453–462.
7. Krajewska, M.; Kopfer, H.; Laporte, G.; Ropke, S.; Zaccour, G.: Horizontal cooperation of freight carriers: request allocation and profit sharing. Les Cahiers du GERAD G - 2007 - 6, Montreal 2007.
8. Morgan, B.J.T.: Elements of Simulation. University of Kent, Canterbury (UK), Mathematical Institute. Chapman & Hall, London 1984.
9. Müschen, J.; Schneider, P.: Die Herstellermarken GmbH (HEMA) – Unternehmensübergreifende Distributionslogistik im Markenartikelbereich. Newsletter Business Computing: Wirtschaftsinformatik in Forschung und Praxis, Nr. 7 (20.06.1994) S. 4.
10. Pankratz, G.: Speditionelle Transportdisposition. Modell- und Verfahrensentwicklung unter Berücksichtigung von Dynamik und Fremdvergabe. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2002.
11. Pankratz, G.: Dynamic vehicle routing by means of a genetic algorithm. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management (IJPDL) Vol. 35 No. 5, 2005, S. 362–383.
12. Potvin, J.-Y.; Xu, Y.; Benyahia, I.: A Hybrid Ant Colony Optimisation Technique for Dynamic Vehicle Routing. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin et al. 2004, S. 48–59.
13. Schönberger, J.: Operational Freight Carrier Planning - Investigations on Basic Concepts, Optimization Models and Advanced Memetic Algorithms. Springer, Berlin u.a. 2005.