

Challenges and Solution Approaches for the Distribution with Multi-Compartment Vehicles

(“Herausforderungen und Lösungsansätze für die Distribution mit
Mehrkammerfahrzeugen ”)

Zusammenfassung der Einzelbeiträge der kumulativen Dissertation
gemäß §5 Abs. 3 S. 3 der Promotionsordnung der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt vom 1. Oktober 2015

Manuel Ostermeier

Referent

Prof. Dr. Alexander Hübner

Koreferent

Prof. Dr. Heinrich Kuhn



Ingolstadt

Tag der mündlichen Prüfung: 03.05.2018

Zusammenfassung

Überblick

Gegenstand der vorliegenden kumulativen Dissertation ist das Thema der Distributionsplanung mit Mehrkammerfahrzeugen im Einzelhandel. Die Arbeit umfasst die folgenden fünf Beiträge:

1. Ostermeier, Manuel (2018): **Grocery Distribution with Multi-Compartment Vehicles**, *Working paper*
2. Hübner, Alexander und Ostermeier, Manuel (2018): **A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs**, in *Transportation Science* (VHB: A) akzeptierter Beitrag
3. Ostermeier, Manuel und Hübner, Alexander (2018): **Vehicle Selection for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem**, in *European Journal of Operational Research* (VHB: A) akzeptierter Beitrag
4. Ostermeier, Manuel, Martins, Sara, Hübner, Alexander und Amorim, Pedro (2018): **Loading Constraints for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem**, unter Begutachtung bei *OR Spectrum* (VHB: A) nach Wiedereinreichung
5. Martins, Sara, Ostermeier, Manuel, Hübner, Alexander, Amorim, Pedro und Almada-Lobo, Bernardo (2018): **Product-Oriented Time Window Assignment for MCVRP**, *eingereicht bei European Journal of Operational Research* (VHB: A)

Eine effektive Distributionsplanung ist ein zentraler Punkt für den Erfolg von Einzelhandelsunternehmen. Auf einem sehr kompetitiven Markt sind Einzelhändler gezwungen, ihre Prozesse entlang der Lieferkette immer weiter zu optimieren, um den hohen Ansprüchen gerecht zu werden. Auf der einen Seite, erwarten Kunden die ständige Verfügbarkeit zahlreicher Produkte bei gleichzeitig hohen Qualitätsansprüchen. Auf der anderen Seite, besteht ein immer größer werdender Preisdruck. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen die beteiligten logistischen Abläufe höchst effizient gestaltet sein. Ein wichtiger Teil hierbei ist die Lieferung der Güter an die Filialen, wo sie dem Endkunden zur Verfügung gestellt werden. Große Einzelhändler versorgen ihre Filialen dabei i.d.R. von zentralen bzw. regionalen Warenhäusern. Eine effiziente Distribution zeichnet sich vor allem durch abgestimmte Prozesse in den Distributionszentren und den Filialen sowie insbesondere durch die Gestaltung möglichst optimaler Auslieferungstouren. Für diese Touren wurden in der Vergangenheit ausschließlich Einkammerfahrzeuge genutzt, die jeweils ein Sortiment transportieren können. Ein Sortiment lässt sich hierbei als eine Gruppe von Produkten beschreiben, die den gleichen Lieferbedingungen unterliegen. Im Lebensmitteleinzelhandel sind jedoch die Temperaturanforderungen der verschiedenen Produkte von Bedeutung. Ein Einkammerfahrzeug ist demnach in der Lage, auf einer Tour ausschließlich Produkte einer Temperatur (wie etwa Tiefkühlprodukte) auszufahren. Neben diesen herkömmlichen Fahrzeugen stehen Einzelhändlern mittlerweile auch sogenannte Mehrkammerfahrzeuge zur Verfügung. Diese technisch fortgeschritteneren Fahrzeuge sind in der Lage, mehrere Temperaturzonen gleichzeitig zu transportieren. Dies geschieht über die Einteilung der Ladefläche des Fahrzeugs in verschiedene Kammern, die jeweils unabhängig voneinander temperiert werden können. In dieser Dissertation wird der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen in der Distribution von Lebensmitteln untersucht. Durch die Möglichkeit, mehrere Sortimente auf einem Fahrzeug zu transportieren und somit auf einer Tour auszufahren, ergeben sich zahlreiche neue Chancen und Herausforderungen für die Planung und Distribution.

Beitrag 1:**“Grocery Distribution with Multi-Compartment Vehicles”**

(Ostermeier [2018])

Bei der Nutzung von Mehrkammerfahrzeugen ist das Verständnis der Funktionalität dieser modernen Fahrzeuge sowie der Unterschiede zum herkömmlichen Einkammerfahrzeuge von zentraler Bedeutung. Wesentliches Merkmal der Mehrkammerfahrzeuge ist die Aufteilung der Ladefläche in verschiedene Kammern. Die Anordnung und Größe der Kammern ist dabei flexibel. Eine einzelne Kammer kann so gestaltet sein, dass die komplette Ladefläche eingenommen wird (dies entspricht dann der Nutzung eines Einkammerfahrzeugs) oder, dass lediglich eine Transporteinheit umfasst wird. Die Kammern werden dabei durch längliche Trendwende entlang der Ladefläche gebildet und durch verschiebbare Türen geschlossen. Jede der gebildeten Kammern kann auf eine beliebige Temperaturzone angepasst werden. Die Nutzung von Mehrkammerfahrzeugen und der damit verbundene simultane Transport mehrerer Temperaturzonen erfordert jedoch auch die Betrachtung veränderter Be- und Entladeprozesse. Da Warenhäuser nach Temperaturzonen aufgeteilt sind, muss ein Mehrkammerfahrzeug mehrere Warenausgänge anfahren, um verschiedene Sortimente aufzuladen. Andererseits ermöglicht der gleichzeitige Transport verschiedener Sortimente auch deren gemeinsame Anlieferung für ein und denselben Kunden. Auf diese Weise muss ein Kunde, der mehrere Sortimente bestellt hat nicht mehr von verschiedenen Fahrzeugen bedient werden.

Der Beitrag “Distributionplanung with Multi-Compartment Vehicles” beschäftigt sich detailliert mit den Anforderungen an die Distribution durch den Einsatz von Mehrkammerfahrzeuge. Aufbauend auf den allgemeinen Bedingungen an die Distributionsplanung im Lebensmitteleinzelhandel wird der Einsatz von Mehr- und Einzelkammerfahrzeugen erläutert und abgegrenzt. Darüber hinaus beschäftigt sich der Beitrag mit der vorhandenen Literatur zum Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen im Lebensmitteleinzelhandel. Insbesondere werden aktuelle Problemstellungen und Lösungsansätze zu diesem Thema detailliert beschrieben. Auf diese Weise wird ein breiter Überblick über den Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen sowie die aktuellen Herausforderungen, welche dieser mit sich bringt, gegeben.

Beitrag 2:**“A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs”**

(Hübner and Ostermeier [2018])

Die Anforderungen bei einem Einsatz von Mehrkammerfahrzeuge an die Distribution und deren Auswirkungen werden im Beitrag 1 dieser Dissertation ausführlich erläutert. Diese veränderten Prozesse bedeuten jedoch auch, dass der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen Einfluss auf die entstehenden Kosten in der Distribution hat. Auf der einen Seite erhöhen sich die Kosten der Beladung. Durch die Anfahrt mehrerer Warenausgänge kommt es zu einem zusätzlichen Belade- und Rüstaufwand im Distributionszentrum. Diese Kosten sind abhängig von der Anzahl der Sortimente, die im Rahmen einer Tour ausgefahren werden sollen und damit auf ein Mehrkammerfahrzeug geladen werden müssen. Je mehr Kammern also auf einem Fahrzeug benötigt werden, desto größer sind auch die Beladekosten. Auf der anderen Seite können Kunden gleichzeitig mit mehreren Segmenten beliefert werden. Dies bedeutet, dass eine wiederholte Anfahrt eines Kunden mit verschiedenen Sortimenten nicht mehr zwingend notwendig ist. Dadurch können Transportkilometer gespart und der Entladeaufwand reduziert werden. Diese Faktoren führen zu einem Trade-Off zwischen erhöhten Beladekosten und gesenkten Entladekosten bzw. reduzierten Transportkilometern.

In der vorhandenen Literatur werden diese unterschiedlichen Prozesskosten beim Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen bisher nicht berücksichtigt. Im Beitrag “A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs” werden daher Kostenfaktoren für die Be- und Entladung eingeführt und somit eine realistischere Betrachtung der Distributionskosten ermöglicht. Die ermittelten Kostensätzen basieren dabei auf einer Studie mit einem führenden deutschen Einzelhändler. Es wird ein erweitertes Modell zur Tourenplanung mit Mehrkammerfahrzeugen präsentiert. Zur Lösung des Tourenplanungsproblem wird ein geeignetes Lösungsverfahren entwickelt, dass in der Lage ist, dass Problem für praxisrelevante Größen schnell und mit hoher Lösungsgüte zu lösen. In Tests wird aufgezeigt, unter welchen Bedingungen der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen besonders lohnenswert ist und welche Faktoren hierfür verantwortlich sind. Grundsätzlich zeigt sich, dass der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen zu besseren Ergebnissen führt als die Verwendung von Einkammerfahrzeugen. Belegt werden diese Ergebnisse zudem durch eine Fallstudie, welche auf einem Datensatz aus der Praxis basiert.

Beitrag 3:

“Vehicle Selection for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem”

(Ostermeier and Hübner [2018])

In Beitrag 2 dieser Dissertation wurde bereits auf die veränderten Prozesskosten bei der Nutzung von Mehrkammerfahrzeugen eingegangen. Bisher wurde dabei jedoch vorausgesetzt, dass lediglich Mehrkammerfahrzeuge für die Distribution zur Verfügung stehen. In der Praxis besteht für Einzelhändler die Möglichkeit, sich für die Nutzung von beiden Fahrzeugtypen - also Ein- und Mehrkammerfahrzeugen - zu entscheiden. Es stellt sich folglich die Frage, unter welchen Bedingungen der jeweilige Fahrzeugtyp eingesetzt werden sollte.

Im Beitrag “Vehicle Selection for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem” wird dieser Fragestellung nachgegangen. Der Beitrag untersucht den gemeinsamen Einsatz von Ein- und Mehrkammerfahrzeugen für die Distributionsflotte. Für jede gebildete Tour wird dabei der passende Fahrzeugtyp ausgewählt und somit der optimale Flottenmix ermittelt. Die Wahl zwischen Ein- und Mehrkammerfahrzeuge benötigt dabei eine genaue Abgrenzung der jeweiligen Kosten. Hierfür werden neben den unterschiedlichen Be- und Entladekosten (siehe Beitrag 2) zusätzliche Kosten für die Anschaffung und Nutzung des jeweiligen Fahrzeugtyps betrachtet. Diese Kosten umfassen u.a. Anschaffungs-, Instandhaltungs-, Versicherungs- und Verbrauchskosten. Die ermittelten zusätzlichen Kosten werden dabei auf Basis der Lebensdauer der Fahrzeuge (d.h. zu erwartende Fahrkilometer) im Kostenfaktor “Transportkosten” zusammengefasst. Das erweiterte Modell zur Fahrzeugauswahl wird in diesem Beitrag vorgestellt und mit Hilfe eines geeigneten heuristischen Verfahrens gelöst. Die Ergebnisse der umfangreichen numerischen Tests zeigen, dass eine Flotte, die sowohl aus Ein- als auch Mehrkammerfahrzeugen besteht in allen Szenarien die beste Option ist. Eine gemischte Flotte ist folglich einer Flotte, die ausschließlich aus Ein- bzw. Mehrkammerfahrzeugen besteht, überlegen. Die Kosteneinsparungen belaufen sich abhängig vom jeweiligen Szenario auf bis zu 30%. Darüber hinaus zeigt der Beitrag anhand einer Fallstudie, dass in der Praxis bis zu 2% Einsparungen pro Liefertag möglich sind.

Beitrag 4:

“Loading Constraints for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem”

(Ostermeier et al. [2018])

Aufgrund der gesteigerten Komplexität bei der Konfiguration und Beladung von Mehrkammerfahrzeugen (siehe Beitrag 1 & 2) stellt sich die Frage, ob zusätzliche Restriktionen bestehen, die in der Distributionsplanung berücksichtigt werden müssen. Dieser Frage widmet sich der dritte Beitrag der Dissertation. Da die Gestaltung der Ladefläche eines Mehrkammerfahrzeugs flexibel ist, muss auch berücksichtigt werden, wo sich die jeweiligen Kammern auf der Ladefläche befinden. Den unterschiedlichen Kammern werden Produkte der jeweiligen Segmente und damit auch die zugehörigen Kunden zugeordnet. Neben der klassischen Kundenreihenfolge, in welcher die Kunden einer Tour beliefert werden, gilt es zu beachten, dass die Produkte eines Kunden über mehrere Segmente hinweg für die Entladung zugänglich sind. Mehrkammerfahrzeuge werden dabei ausschließlich vom Heck be- und entladen. Wird die Reihenfolge der Kammern bzw. Segmente nicht berücksichtigt, kann es passieren, dass bei der Entladung Probleme auftreten. Etwa können Produkte in einer hinteren Kammer (aus Sicht des Hecks) nicht zugänglich sein, da eine weitere Kammer, die sich näher am Heck befindet, noch Produkte enthält und somit die Entladung blockiert.

Im Beitrag “Loading Constraints for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem” wird das Modell aus Beitrag 2 erweitert, um diese Beladebeschränkungen zu integrieren. Darüber hinaus werden sowohl ein exaktes als auch ein heuristisches Lösungsverfahren präsentiert, um das zugrundeliegende Planungsproblem zu lösen und somit Lösungen ohne Ladungsprobleme zu generieren. Beide Verfahren lösen dabei sequentiell das Tourenplanungs- und Beladeproblem. Die numerischen Tests zeigen, dass Beladerestriktionen bereits für kleine Problemgrößen und einer geringen Anzahl an betrachteter Segmente relevant sind. In vielen Fällen lassen sich die Ladeprobleme durch eine geringe Veränderung der Lösung und damit einem geringen Kostenanstieg auflösen. Weiterhin wird gezeigt, dass vor allem eine steigende Anzahl an Segmenten sowie spezielle Bestellstrukturen für Probleme bei der Beladung verantwortlich sind.

Beitrag 5:

“Product-Oriented Time Window Assignment for MCVRP”

(Martins et al. [2018])

Der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen beeinflusst neben der Planung und den Belieferungsoptionen auch die Abläufe in den Filialen vor Ort. Im Gegensatz zu den Lieferungen mit Einkammerfahrzeugen erhalten die Filialen nun statt einem einzigen Segment oftmals mehrere Segmente gleichzeitig. Dies bedeutet, dass die Filiale häufig mit einer einzigen Lieferung den täglichen Bedarf über mehrere Segmente hinweg abdecken kann. Damit ist jedoch auch eine Konzentration der Entladeaufwände und vor allem der Lagerung bzw. Regalplatzierung verbunden. Die Filialen müssen ihre Prozesse demnach auf die Belieferungen abstimmen können, um den erhöhten Aufwand gerecht zu werden. Die Mitarbeiter müssen für die Entladung und Verräumung der Ware zur Verfügung stehen bzw. externe Mitarbeiter eingeplant werden. Darüber hinaus ist es für die Filialen wichtig, den genauen Liefertermin zu wissen, um leere Regale und damit verlorenen Absatz zu verhindern. Letztlich muss berücksichtigt werden, dass insbesondere kleine Filialen nur bedingt Platz für die Zwischenlagerung von Produkten haben. Die Planbarkeit der Prozesse hängt folglich von dem Wissen über den Zeitpunkt der Lieferung für verschiedene Segmente ab.

Der Beitrag “Product-Oriented Time Window Assignment for MCVRP” widmet sich dieser The-

matik. Das Tourenplanungsproblem aus Beitrag 2 wird hierfür auf mehrere Perioden erweitert, um den gesamten Planungshorizont (z.B. eine Lieferwoche) abzudecken. Durch die Einführung von produkt-spezifischen Zeitfenstern für die Belieferung wird sichergestellt, dass die Anlieferung eines Segments an der Filiale innerhalb eines bestimmten zeitlichen Rahmens erfolgt. Darüber hinaus wird durch die Einführung einer “*Konsistenzbedingung*” erreicht, dass die Belieferung einer Filiale mit einem bestimmten Segment über den gesamten Planungshorizont in dem gleichen Zeitfenster stattfindet. Auf diese Weise bestimmt das erweiterte Modell zu welcher Zeit, welches Segment in der Filiale eintrifft. Zur Lösung des Verfahrens wird ein innovatives, heuristisches Lösungsverfahren verwendet, das sowohl spezialisierte Operatoren für die Tourenplanung als auch für die Optimierung der Zeitfenster verwendet. In den numerischen Tests werden die Folgen einer konsistenten Belieferung für den Lieferplan für unterschiedliche Szenarien aufgezeigt. Insbesondere wird herausgestellt, dass - unter Berücksichtigung von Strafkosten für eine zu späte/zu frühe Lieferung - die Gesamtkosten niedriger sind, falls der komplette Planungszeitraum betrachtet wird anstatt einer tagweisen Planung. In weiteren Analysen werden darüber hinaus zusätzliche Restriktionen für die Belieferzeiträume der einzelnen Segmente untersucht.

Fazit

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit praxisnahen Problemstellung bei der Distributionsplanung mit Mehrkammerfahrzeugen. Es werden praktische Herausforderungen identifiziert, die durch den Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen bestehen und geeignete Lösungsverfahren hierfür entwickelt. Dabei werden vor allem die Besonderheiten bei der Nutzung von Mehrkammerfahrzeugen herausgestellt (alle Beiträge, insbesondere Beitrag 1). Durch Prozessaufnahmen und Analysen wird gezeigt, dass die Distribution von Mehrkammerfahrzeugen die Berücksichtigung weiterer Kostenfaktoren erfordert (Beitrag 2 und 3) und zudem weiterführende Restriktionen für die Abwicklung des Transports bestehen (Beitrag 4). Abschließend wird gezeigt, welche Faktoren für die Belieferung der Filialen berücksichtigt werden müssen, um eine effiziente Planung über mehrere Liefertage hinweg zu ermöglichen (Beitrag 5). Auf diese Weise wird eine umfangreiche Bewertung der Distribution mit Mehrkammerfahrzeugen ermöglicht und insbesondere erlaubt die detaillierte Betrachtung der einzelnen Herausforderungen die Ableitung von Richtlinien für den Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen im Einzelhandel.

Grocery Distribution with Multi-Compartment Vehicles

Manuel Ostermeier

Abstract. This article discusses the use of multi-compartment vehicles in grocery distribution. In grocery distribution, special characteristics of available products, i.e., nutrients in particular, have to be considered for transportation. Retailers offer a wide range of products from frozen over fresh to ambient goods. The distribution therefore asks for specialized vehicles that offer the required temperature control. This can be addressed with single-compartment vehicles, each dedicated to exactly one temperature, or multi-compartment vehicles (MCVs). Multi-compartment vehicles offer the possibility to separate the loading area of the vehicle into multiple chambers (compartments), each with a different temperature setting. The implication of this multiple compartments for the use in distribution, the technical configuration possibilities of MCVs, and both advantages and disadvantages are discussed in detail in this article. Further, current literature that addresses the use of MCV in the field of grocery distribution is presented. The corresponding publications and their research topic are summarized and the main findings are given. In this way, this article provides a detailed overview of the use of MCVs in grocery retailing and the relevant problems discussed in literature.

SSRN

A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs

Alexander Hübner and Manuel Ostermeier

Abstract. This paper discusses a multi-compartment vehicle routing problem (MCVRP) that occurs in the context of grocery distribution. Different temperature-specific product segments (e.g., frozen or ambient) are transported from a retail warehouse to outlets. Different temperature-specific product segments can be transported together using multi-compartment vehicles. These trucks are technically able to have different temperature zones on the same truck by separating the capacity of a vehicle flexibly into a limited number of compartments. On the one hand, this leads to a cost saving as different product segments ordered by one outlet can be delivered jointly using only one truck. This impacts the routing and the number of stops, i.e., the transportation costs and unloading costs. On the other hand more than one shipping gate has to be approached at the warehouse to collect and load different product segments. As a consequence, the number of segments on each truck and therefore the number of compartments impact loading, transportation and unloading costs.

An extended MCVRP with flexible compartments is presented to account for these loading and unloading costs. To solve the problem that arises, a large neighborhood search (LNS) tailored to the extended model is defined. The LNS includes problem-specific extensions in terms of the removal and reinsert operators as well as the termination criteria. It is tested using a case study with a retailer, benchmark data and randomly generated data. Results are also compared to existing approaches. In line with the analyses performed for the model introduced, it is shown that the integration of loading and unloading costs into the model impacts routing considerably, and ultimately results in significant savings potential for retailers.

Accepted in: *Transportation Science*

Vehicle Selection for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem

Manuel Ostermeier and Alexander Hübner

Abstract. This paper addresses the vehicle routing and selection problem of single and multi-compartment vehicles for grocery distribution. Retailers used to rely on single-compartment vehicles (SCV), and transported only one temperature-specific product segment with this vehicle type. Retailers now have the option of using multi-compartment vehicles (MCV) due to technological advances. Products requiring differing temperature zones can be transported jointly as the loading area is split into separate compartments. Both vehicle types cause different costs for loading, transportation and unloading. In literature either the use of SCVs or MCVs has been considered without a distinction between vehicle-dependent costs and the use of both vehicle types in the fleet to achieve a cost-optimal fleet mix. We therefore identify vehicle-dependent costs within empirical data collection and present an extended multi-compartment vehicle routing problem (MCVRP) for the vehicle selection. We solve the problem with a Large Neighborhood Search. Our numerical experiments are based on the insights we draw from a real-life case with a retailer. In further experiments we show that the mixed fleet is always better than an exclusive fleet of SCVs or MCVs and state which factors influence the cost reduction. A mixed fleet can reduce costs by up to 30%. As a result, mixed fleets are advisable in grocery distribution and vehicle selection should be part of the MCVRP.

Accepted in: *European Journal of Operational Research*

Loading Constraints for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem

Manuel Ostermeier, Sara Martins, Alexander Hübner and Pedro Amorim

Abstract. Multi-compartment vehicles (MCV) can transport several product segments jointly. Each product segment has certain characteristics that mean the products cannot be mixed during transport, and require separate compartments. Using flexible compartments allows tailoring of the compartment size and position for each tour. However, this requires that the compartments can be accessed for loading and unloading. Orders have to be positioned with regard to the customer and compartment sequence so that no blocking occurs during loading/unloading processes. Routing and loading layout are interdependent for MCVs. This paper addresses such loading/unloading issues raised in distribution planning when using MCVs with flexible compartments, loading from the rear, and standardized transportation units. As such, it is a two-dimensional loading and multi-compartment vehicle routing problem (2L-MCVRP). We address the problem of obtaining feasible MCV loading with cost-optimal routing. We define the loading problem that configures the compartment setup, and develop a branch-and-cut algorithm as an exact approach, and extend a large neighborhood search (LNS) as a heuristic approach. In both cases, we use the loading model to check the feasibility of the tours and operate by decomposing the problem into a routing and loading problem. The loading model dictates the cuts to be performed in the branch-and-cut, and in the LNS it is used as a repair mechanism.

Numerical studies show that the heuristics reaches the optimal solution for small instances and can be applied efficiently to larger problems. Additionally, further tests on large instances helped to derive general rules regarding the influence of loading constraints. Our results were validated in a case study with a European retailer. We identified that loading constraints matter even for small instances. Feasible loading can often be achieved via only minor changes to the routing solution and therefore with limited additional costs. Further, the importance to integrate loading constraints grows as the problem sizes increase, especially when a heterogeneous mix of segments is ordered.

Under review after minor revision with: *OR Spectrum*

Product-Oriented Time Window Assignment for MCVRP

Sara Martins, Manuel Ostermeier, Alexander Hübner, Pedro Amorim and Bernardo Almada-Lobo

Abstract. Besides fuel and waste distribution, one core application of multi-compartment vehicles (MCVs) is the distribution of groceries. Retailers can jointly transport products with different temperature requirements and thus reduce the number of visits to a store. Grocery stores usually define preferable time windows that depend on the temperature of products (e.g., fresh products such as fruits and vegetables in the morning), to indicate when deliveries should occur to better plan their in-store operations. Distribution planning therefore should take these preferences into consideration to obtain consistent delivery times. This work extends the research on multi-compartment vehicle routing problems (MCVRPs) by tackling a multi-period setting with a product-oriented time window assignment. In this problem, a fleet of MCVs is used for distribution and a unique time window for the delivery of each product segment to each store is defined consistently throughout the planning horizon. An adaptive large neighborhood search is proposed to solve the product-oriented time window assignment for MCVRP. Daily operators focusing on the improvement of routing aspects of the problem on each day, and weekly operators designed to align the time window assignment consistently throughout the planning horizon are developed. The approach is tested on benchmark instances from literature as well as on randomly generated instances to demonstrate its effectiveness. Numerical experiments show that planning a consistent distribution leads to better overall solutions than an ex-post time window assignment of daily plans, facilitating more on-time deliveries.

Under review with: *European Journal of Operational Research*

References

- Hübner, A., Ostermeier, M., 2018. A multi-compartment vehicle routing problem with loading and unloading costs. *Transportation Science*, forthcoming, doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0775>.
- Martins, S., Ostermeier, M., Amorim, P., Hübner, A., Almada-Lobo, B., 2018. Product-Oriented Time Window Assignment for MCVRP. Working Paper.
- Ostermeier, M., 2018. Grocery Distribution with Multi-Compartment Vehicles. Working Paper CU Eichstätt-Ingolstadt.
- Ostermeier, M., Hübner, A., 2018. Vehicle selection for a multi-compartment vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, forthcoming, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.059>.
- Ostermeier, M., Martins, S., Amorim, P., Hübner, A., 2018. Loading Constraints for a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem. Working Paper.