

Planung des Lieferservices eines Online-Lebensmittelhändlers

Jörg Homberger und Hermann Gehring

1 Einleitung

Die Logistikkette, auch bezeichnet als Supply-Chain, die Teilelieferanten, Produzenten, Handelsunternehmen, Logistikdienstleister und Endverbraucher durch Material-, Informations- und Zahlungsflüsse miteinander verbindet, ist schon seit vielen Dekaden Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Der Betrachtungsschwerpunkt hat sich im Zeitverlauf allerdings sukzessive vom Kettenanfang zu ihrem Ende, der sogenannten „letzten Meile“, verschoben. Entsprechend standen z. B. bei der Diskussion von Managementstrategien für Lieferketten unterschiedliche Logistikkonzepte im Vordergrund: So etwa die Lean-Production in den 1970er Jahren, das Cross-Docking und Vendor-Managed-Inventory in den 1980er und 1990er Jahren sowie Konzepte für die Last-Mile-Supply-Chain seit etwa der Jahrtausendwende (vgl. Boyer et al., 2004). Abbildung 1 veranschaulicht diese Schwerpunktverschiebung der wissenschaftlichen Diskussion in Anlehnung an Boyer et al. (2004).

Die besondere Bedeutung der „Last-Mile-Supply-Chain“ kommt dadurch zum Ausdruck, dass ihr etwa eine Schlüsselrolle mit Blick auf den Unternehmenserfolg zugebilligt wird. So führen Boyer et al. (2004) das Scheitern vieler BtC-Geschäftsmodelle auf das Versäumnis der Unternehmen zurück, ihre Lieferkette nicht bis zum Endverbraucher erweitert zu haben. Zur Behebung dieses Defizits wurden inzwischen

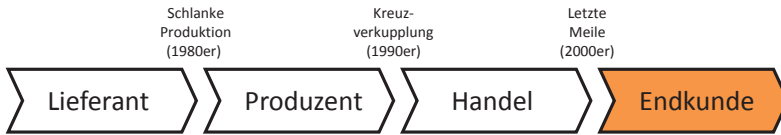


Abbildung 1: Zeitliche Einordnung einiger Konzepte des Supply-Chain-Managements (vgl. Boyer et al., 2004).

verschiedene Logistikstrategien und Planungsansätze entwickelt, die auf die effiziente und kostengünstige Belieferung von Endverbrauchern abzielen (vgl. Siebel und Ten Hompel, 2001).

Die Gestaltung des letzten Abschnitts der Lieferkette, die als Last-Mile-Supply-Chain Unternehmen und Endverbraucher verbindet, ist keinesfalls eine triviale Aufgabe. Vielmehr sind besondere Herausforderungen zu bewältigen, die vor allem die Prozesse der Kommissionierung und Belieferung betreffen. Sie resultieren u. a. aus der Vielzahl von Ladungseinheiten (viele Päckchen an Stelle weniger Paletten), der relativ schlechten Erreichbarkeit der Kunden, den nicht seltenen Retouren, den heterogenen Sendungen, den hohen Bedarfsschwankungen und den wechselnden Anlieferungspunkten (vgl. Klaus, 2000). Diesen Herausforderungen kann auf zwei Ebenen begegnet werden: Einerseits durch die Wahl einer geeigneten Strategie für die Kommissionierung und Belieferung, sowie andererseits durch den Einsatz eines leistungsfähigen Planungsverfahrens für das mit der Kommissionierung und Belieferung verbundene Planungsproblem.

Hinsichtlich der Gestaltung der Kommissionierung und Belieferung unterscheiden Boyer et al. (2004) folgende Strategien:

- Kommissionierung der auszuliefernden Waren entweder in den Filialen des Unternehmens oder aber in einem Zentrallager.
- Belieferung der Endverbraucher direkt, auch bezeichnet als „Home-Delivery“, oder aber indirekt über Abholstationen (vgl. z. B. Punakivi und Saranen, 2001; Punakivi et al., 2001).

Speziell für den Online-Lebensmittelhandel, der im vorliegenden Beitrag im Vordergrund steht, wird eine zentrale Kommissionierung in Kombination mit einer direkten Belieferung empfohlen. Demnach werden die Online-Bestellungen in einem Zentrallager kommissioniert und von dort aus werden die zusammengestellten Sendungen direkt an die Kunden ausgeliefert. Diese Strategie ermöglicht eine besonders schnelle Belieferung der Kunden, was im Falle verderblicher Waren auch geboten ist. In Kauf zu nehmen sind allerdings hohe Lagerinvestitionen sowie die relativ hohen Kosten der Direktlieferung.

Das mit der Kommissionierung und (Direkt-)Belieferung verbundene Planungsproblem umfasst zwei Teilprobleme: Einerseits die Bildung von Kundengruppen, die je mit einem Transportmittel zu bedienen sind (Gruppierungsproblem), und andererseits die Bestimmung der Reihenfolge der Bedienung der Kunden für jede Kundengruppe (Reihenfolgeproblem). Beide Probleme bilden zusammen ein Tourenplanungsproblem. Praktische Tourenplanungsprobleme stellen äußerst komplexe Optimierungsprobleme dar, die sich einer exakten Lösung hartnäckig widersetzen. Insofern hängt die Erschließung von Verbesserungspotenzialen innerhalb der Last-Mile-Supply-Chain in Bezug auf Transportkosten und Termineinhaltung unmittelbar von der Qualität des Planungsverfahrens ab. Als Verfahren kommen in der Regel nur Metaheuristiken in Frage, bei geringeren Problemgrößen ggf. auch exakte Verfahren wie etwa das Branch-and-Bound-Verfahren (vgl. z. B. Zimmermann, 2008, S. 252) oder die vollständige Enumeration.

Die skizzierte Problemstellung der Gestaltung der Last-Mile-Supply-Chain wird im vorliegenden Beitrag für ein der Praxis entnommenes Beispiel konkretisiert und einer Lösung zugeführt. Das Beispiel betrifft ein Lebensmittel-Einzelhandelsunternehmen, das in einer Großstadt für seine Kunden zwar einen Lieferservice für Online-Bestellungen anbietet, jedoch das mit der Kommissionierung und der Belieferung verbundene Planungsproblem noch manuell löst. Um vorhandene Verbesserungspotenziale aufzuzeigen und ihre Ausschöpfung zu ermöglichen, wurde ein metaheuristischer Planungsansatz entwickelt und einer Evaluation unterzogen. Der Rest des Beitrags behandelt dieses Vorgehen. Im folgenden Abschnitt 2 wird die Ausgangssituation, d. h.

die bislang praktizierte Abwicklung des Lieferservices, beschrieben. In Abschnitt 3 wird der entwickelte Planungsansatz vorgestellt, der das formulierte Planungsproblem und das auch formal notierte Lösungsverfahren umfasst. Abschnitt 4 befasst sich mit der Verfahrensevaluation und Abschnitt 5 enthält einige Schlussbetrachtungen.

2 Ausgangssituation

Ein in einer Großstadt ansässiges Lebensmittel-Einzelhandelsunternehmen betreibt die Einrichtung eines neuen Vertriebsweges und bietet seinen Kunden die Möglichkeit der Bestellung per Internet sowie einen Lieferservice an. Dieser innovative Bestell- und Lieferservice, der den klassischen Vertrieb über Filialen ergänzt, richtet sich z. B. an berufstätige, ältere oder behinderte Personen. Aufgegebene Bestellungen werden gebündelt und gegen eine geringe Gebühr zu einer vereinbarten Zeit am Arbeitsplatz oder an der Wohnung ausgeliefert. Dieser Lieferservice wird in Kombination mit einem Einsammeldienst angeboten. Kunden wird also die Möglichkeit eingeräumt, Waren, Transportbehälter, Leergut usw. zurückzugeben. Das Liefern und Einsammeln wird durch beauftragte Frachtführer gegen eine pauschale Vergütung pro eingesetztem Transportmittel bzw. Fahrzeug besorgt.

Für das Handelsunternehmen stellt sich das Problem, den Bestell- und Lieferservice in effizienter Weise und in Abstimmung mit den Kundenbedürfnissen zu organisieren. Der Service wurde zunächst wie folgt eingerichtet (hier bezeichnet als Ausgangssituation):

Den Kunden werden drei mehrstündige Bedienungszeitfenster für die Belieferung und das Einsammeln angeboten: am Morgen, über Mittag und am Abend. Eingehende Bestellungen der Kunden werden von einem Disponenten gesammelt, nach Zeitfenstern sortiert und zu Gruppen von Kundenbestellungen, im Folgenden bezeichnet als Kundengruppen, gebündelt. Die Bildung der Kundengruppen für jedes der drei Zeitfenster erfolgt manuell unter Anwendung des Nearest-Neighbor-Kriteriums auf der Basis der aus den Kundenadressen entnommenen Postleitzahlen. Jede der so gebildeten Kundengruppen

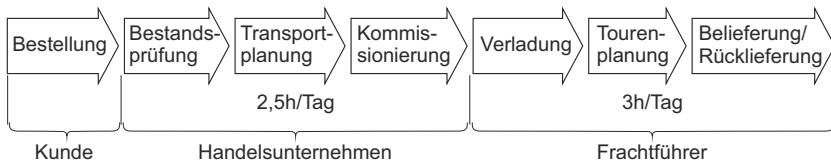


Abbildung 2: Lieferkette der Ausgangssituation

repräsentiert eine ungeordnete Menge von Kunden, die durch ein Auslieferungsfahrzeug zu bedienen sind, und wird daher auch als Tour bezeichnet (vgl. Domschke und Scholl, 2010). Die tägliche Planung der Touren für etwa 300 Kunden pro Zeitfenster erfordert einen Zeitaufwand von rund 2,5 Stunden.

Die von dem Disponenten gebildeten Kundengruppen bzw. Touren werden nun als Lieferaufträge an Frachtführer übergeben. Diese übernehmen die Lieferung der bestellten Waren von dem Zentrallager des Handelsunternehmens an die Kunden sowie das Einsammeln von Retouren, Leergut usw. einschließlich des Rücktransports zu dem Zentrallager. Die Frachtführer erhalten pro Tour eine Pauschalvergütung. Um ihre Transportkosten möglichst gering zu halten, planen die Frachtführer kostengünstige Touren. Dies geschieht manuell mit einem Zeitaufwand von 10 bis 15 Minuten pro Tour.

Die Lieferkette der Ausgangssituation wird in Abbildung 2 veranschaulicht. Sie weist Schwachstellen bzw. ungenutzte Verbesserungspotenziale auf:

- Die manuelle Transportplanung und die manuelle Tourenplanung sind mit einem Zeitaufwand von etwa 5,5 Stunden pro Tag ineffizient und führen zu Ergebnissen mit mäßiger Qualität.
- Die beiden Teilprobleme der Bildung von Kundengruppen (Gruppierungsproblem) und der Bestimmung der Bedienungsreihenfolge (Reihenfolgeproblem) werden sequentiell gelöst. Die damit verbundene Einschränkung des Suchraums hat Einbußen hinsichtlich der Lösungsqualität zur Folge.

3 Planungsansatz

3.1 Planungsproblem

Zwecks Behebung der genannten Schwachstellen wird auf einen zentralen Planungsansatz zurückgegriffen, der ausschließlich in der Verantwortung des Handelsunternehmens liegt und die bisherige von zwei Instanzen nacheinander ausgeführten manuellen Planungsschritte (Transportplanung und Tourenplanung) in einer computergestützten Simultanplanung bzw. Tourenplanung zusammenfasst. Die von dem Handelsunternehmen automatisiert geplanten Touren werden folglich künftig zusammen mit den auszuführenden Aufträgen an die Frachtführer übergeben. Der Übergang zu einer automatisierten und zentralisierten Simultanplanung eröffnet mehrfache Kostensenkungspotenziale. Sie ergeben sich aus dem Wegfall manueller Planungstätigkeiten bei dem Handelsunternehmen und den Frachtführern sowie aus der automatisierten Berechnung kostengünstiger Touren für die Warendistribution. Von der Senkung der reinen Distributionskosten kann auch das Handelsunternehmen profitieren, indem es mit den Frachtführern eine reduzierte Pauschalvergütung pro Belieferungs-/Einsammeltour vereinbart. Die Lieferkette für den Fall der zentralen Simultanplanung durch das Handelsunternehmen ist in Abbildung 3 dargestellt.

Das Planungsproblem, das sich im Fall der zentralen Simultanplanung dem Handelsunternehmen stellt, ist eine spezielle Ausprägung des Tourenplanungsproblems mit Zeitfensterrestriktionen, auch bezeichnet als Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) (vgl. zum VRPTW z. B. Gambardella et al. (1999), Homberger (2000) und

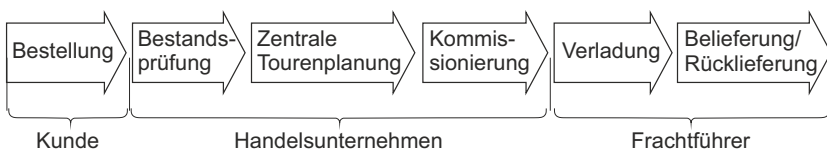


Abbildung 3: Lieferkette bei zentraler Simultanplanung

Gehring und Homberger (2002)). Es wird im Folgenden als VRPTW* bezeichnet.

Das VRPTW* ist – wie das VRPTW – ein Eindepotproblem, d. h. alle Belieferungs- und Einsammelfahrten starten und enden an einem Ort, dem das Depot darstellenden Zentrallager. Neben reinen Belieferungsfahrten und reinen Einsammelfahrten können auch Kombinationen beider Arten von Fahrten auftreten. In Analogie zum VRPTW wird die Verfügbarkeit einer nicht begrenzten Anzahl von Fahrzeugen unterstellt. Das ist insofern realitätskonform, als für das Besorgen von Liefer-/Einsammelaufträgen unter Berücksichtigung der Zeitfenster (am Morgen, über Mittag und am Abend) eine hinreichend große Anzahl von Frachtführern mit entsprechenden Transportkapazitäten zur Verfügung steht. Zielfunktion und Restriktionen des VRPTW* können nun wie folgt beschrieben werden.

Das VRPTW umfasst üblicherweise eine zweistufige Zielfunktion. Mit erster Priorität wird die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge minimiert und mit zweiter Priorität die von allen Fahrzeugen zurückzulegende Gesamtentfernung. Dem VRPTW* liegt ebenfalls eine zweistufige Zielfunktion zugrunde, allerdings in einer modifizierten Ausprägung hinsichtlich der ersten Stufe.

Dem mit erster Priorität verfolgten Ziel der Minimierung der Fahrzeugzahl sind in der gegebenen Situation durch die Vorgabe einer maximalen Anzahl $n_{\max}$ von Kunden pro Tour Grenzen gesetzt. Die Vorgabe beruht auf praktischen Erfahrungen im großstädtischen Belieferungsgeschäft und geht davon aus, dass eine sichere und pünktliche Bedienung nur für eine Anzahl von bis zu $n_{\max}$ Kunden zu gewährleisten ist. Im Falle der Überschreitung von $n_{\max}$ kann es zu Einbußen hinsichtlich der Servicequalität und damit auch hinsichtlich der Kundenzufriedenheit kommen. Dies soll unbedingt vermieden werden.

Dem mit zweiter Priorität angestrebten Ziel der Minimierung der von allen eingesetzten Fahrzeugen zurückzulegenden Gesamtentfernung stehen dagegen keine einschränkende Vorgaben entgegen. Durch die Minimierung der Gesamtentfernung eröffnete Möglichkeiten der Kosteneinsparung sind, wie bereits erwähnt, für die Vereinbarung der

Pauschalvergütung für Belieferungs-/Einsammelfahrten von Bedeutung.

Was die Restriktionen betrifft, liegen bei dem VRPTW* teils Unterschiede im Vergleich zum VRPTW vor.

Bei dem VRPTW geht die Kapazität der Fahrzeuge unmittelbar in die Kapazitätsrestriktion ein. Nicht so bei dem VRPTW*, das lediglich eine indirekte Berücksichtigung der Fahrzeugkapazität vorsieht. Dies geschieht durch die Vorgabe der maximalen Anzahl $n_{\max}$ von Kunden pro Tour. Damit wird sichergestellt, dass die pro Tour auszuliefernden/einzusammelnden Waren erfahrungsgemäß nicht zu einer volumen- oder gewichtsmäßigen Überladung der Fahrzeuge führen. Die Vorgabe von $n_{\max}$ ermöglicht darüber hinaus ein flexibles Eingehen auf Kundenwünsche, sowohl in zeitlicher als auch örtlicher Hinsicht.

Bei dem VRPTW können für einige oder alle Kunden Bedienungszeitfenster vorgegeben werden, die einzuhalten sind. Häufig müssen auch Belade- und Entladezeiten bei den Kunden berücksichtigt werden. Im Fall des VRPTW* sind dagegen lediglich drei relativ große Zeitfenster für die Bedienung je aller Kunden einer Tour einzuhalten. Kundenindividuelle Bedienungszeitfenster finden ebenso keine Berücksichtigung wie Belade- und Entladezeiten. Bezüglich der Letzteren wird unterstellt, dass die Vorgabe der maximalen Kundenzahl $n_{\max}$ pro Tour die Bedienung sämtlicher Kunden der Tour innerhalb des jeweiligen Zeitfensters gewährleistet.

Vorgegeben sind zudem für jedes der drei Zeitfenster ein Zeitpunkt t_0 , zu dem ein Fahrzeug das Depot verlässt, sowie ein Zeitpunkt $t_{\max}$, zu dem ein Fahrzeug das Depot wieder erreicht haben muss. Die Beladung von Fahrzeugen findet unmittelbar vor t_0 und die Entladung unmittelbar nach $t_{\max}$ statt.

Jeder Kundenauftrag, schließlich, wird in genau einer Tour bedient. Mehrere Aufträge eines Kunden, die in ein Zeitfenster fallen, werden zu einem Belieferungsauftrag zusammengefasst und als ein konsolidierter Auftrag geplant und ausgeführt.

3.2 Lösungsverfahren

Aufgrund der hohen Problemkomplexität des VRPTW* – es handelt sich um ein NP-schweres Problem – können mit exakt-optimierenden Verfahren keine großen Probleminstanzen mit z. B. mehreren hundert Kunden in akzeptabler Rechenzeit gelöst werden. Dies motiviert den Einsatz von Heuristiken und Metaheuristiken. Speziell mit metaheuristischen Verfahren können für große Probleminstanzen des VRPTW zumindest gute Lösungen bei akzeptablen Rechenzeiten ermittelt werden. Mit dem Ziel, eine hohe Lösungsqualität zu erzielen, wird im Folgenden eine hybride Metaheuristik vorgestellt, die ein Tabu-Search-Verfahren mit einem (einfachen) exakt-optimierenden Verfahren kombiniert. Die entwickelte hybride Metaheuristik umfasst drei Komponenten: einen Nearest-Neighbor-Ansatz zur Generierung von Ausgangslösungen, ein Tabu-Search-Verfahren zur Lösungsverbesserung durch Variation von Touren und Kundengruppen, und eine in das Tabu-Search-Verfahren eingebettete vollständige Enumeration. Ausgehend von variierten Lösungen erzeugt Letztere optimale Touren und erfüllt damit eine Anforderung seitens des Online-Lebensmittelhändlers. Die Forderung nach entfernungsminimalen Touren ist vor dem Hintergrund der Vereinbarung von Pauschalvergütungen mit den ausführenden Frachtführern zu sehen. Ermöglicht wird die Anwendung der vollständigen Enumeration durch die bereits begründete Begrenzung der Anzahl der zu bedienenden Kunden pro Tour.

Das Gesamtverfahren, das in Abbildung 4 dargestellt ist, stellt eine Modifikation des in Homberger und Gehring (2004) beschriebenen Lösungsansatzes dar. Nachfolgend werden die wesentlichen Komponenten des hybriden Tabu-Search-Verfahrens grob skizziert.

Die Nearest-Neighbor-Heuristik

Nearest-Neighbor-Heuristiken werden in der Literatur häufig empfohlen, um für komplexe Tourenplanungsprobleme, wie z. B. dem hier betrachteten VRPTW*, eine Startlösung zu berechnen (vgl. u. a. Du und He, 2012).

Initialisiere die aktuelle Lösung L durch Ausführung der Nearest-Neighbor-Heuristik ;
Initialisiere die beste Lösung B mit der aktuellen Lösung: $B := L$;
Solange nicht $k_{\max}$ Iterationen durchgeführt worden sind:
Initialisiere die Nachbarschaft N der aktuellen Lösung L : $N(L) := \emptyset$;
Solange nicht α Prozent der möglichen Nachbarlösungen generiert wurden:
Wähle zwei Kunden i und j aus verschiedenen Touren r_i und r_j (mit $r_i \neq r_j$) der aktuellen Lösung L aus;
Tausche die beiden Kunden i und j gemäß dem Move von Osman (1993) und berechne so die neuen Touren r'_i und r'_j ;
Berechne die beiden Touren r''_i und r''_j , indem für die Kunden der Touren r'_i und r'_j jeweils eine vollständige Enumeration durchgeführt wird;
Berechne eine Nachbarlösung von L , indem die beiden ursprünglichen Touren r_i und r_j durch die beiden neu berechneten Touren r''_i und r''_j ersetzt werden;
Berechne den Zielfunktionswert der erzeugten Nachbarlösung und füge diese in $N(L)$ ein;
Wähle die beste Lösung L^* aus der Nachbarschaft $N(L)$ von L unter Berücksichtigung des Tabu-Status und des Aspirationskriteriums aus;
Aktualisiere die aktuelle Lösung: $L := L^*$;
Aktualisiere die beste Lösung $B := L^*$, falls die Gesamtentfernung von L^* kleiner ist als die Gesamtentfernung der bisherigen besten Lösung B ;
Gebe die beste Lösung B aus;

Abbildung 4: Ablauf des hybriden Tabu-Search-Verfahrens. Bemerkung: Mit r_i, r'_i, r''_i werden jeweils Touren bezeichnet, die den Kunden i enthalten.

Die Idee der hier verwendeten Nearest-Neighbor-Heuristik lässt sich wie folgt zusammenfassen: Ausgehend vom Depot wird sukzessive der nächstgelegene Kundenort bzw. der nächstgelegene, noch nicht belieferte Kunde ausgewählt, und am Ende der bislang konstruierten Tour eingefügt. Die Konstruktion einer Tour ist beendet, sobald diese eine vorgegebene Anzahl von $n_{\max}$ Kunden umfasst oder alle Kunden eingeplant worden sind. Nach der Konstruktion einer Tour werden solange weitere Touren konstruiert, bis alle zu beliefernden Kunden in Touren eingefügt wurden. Jede so konstruierte Tour repräsentiert

Zukunftsperspektiven des Operations Research

Erfolgreicher Einsatz und Potenziale

Lübbecke, M.; Weiler, A.; Werners, B. (Hrsg.)

2014, XI, 365 S. 82 Abb., 6 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-05706-0