

2 Grundlagen der Kommissionierung

Dieses Kapitel beinhaltet die Darstellung der wichtigsten allgemeinen Grundlagen der Kommissionierung, die für das weitere Verständnis der Arbeit benötigt werden. Zu diesem Zweck wird in Unterkapitel 2.1 die Kommissionierung zunächst als wichtige Lagerhausfunktion in den Kontext des Lagerhausmanagements eingeordnet, anschließend wird auf die betriebswirtschaftliche Bedeutung der Kommissionierung eingegangen. Das darauffolgende Unterkapitel 2.2 hat die Beschreibung der grundlegenden Struktur von Kommissioniersystemen zum Inhalt. In ihm werden zuerst unterschiedliche Kommissioniersysteme vorgestellt und voneinander abgegrenzt, bevor der Aufbau und das Layout von manuellen Kommissioniersystemen ausführlich beschrieben werden. Anschließend folgen Erläuterungen zum grundsätzlichen Ablauf der Kommissionierung und eine Beschreibung der Optimierungsziele in der Kommissionierung. Im Unterkapitel 2.3 werden dann die drei wichtigsten operativen Planungsprobleme der manuellen Kommissionierung, nämlich die Artikelanordnung, die Tourenplanung und die Auftragsbildung, ausführlich vorgestellt. Den Abschluss des Kapitels bilden in Unterkapitel 2.4 eine zusammenfassende Darstellung der Ausgestaltungsmöglichkeiten von Kommissioniersystemen und eine Einordnung des Inhalts der vorliegenden Arbeit in diesen Kontext.

2.1 Kommissionierung als Lagerhausfunktion

2.1.1 Einordnung der Kommissionierung in das Lagerhausmanagement

Innerhalb eines Lagerhauses lassen sich grundsätzlich die elementaren Funktionen Warenannahme, Lagerung, Kommissionierung und Versand identifizieren.³ Üblicherweise spiegeln sich die genannten Lagerhausfunktionen auch im Aufbau eines Lagerhauses wider. Abbildung 2.1 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Lagerhauses. Die skizzierten Pfeile zwischen den verschiedenen Lagerhausbereichen symbolisieren den innerbetrieblichen Warenfluss.

³ Vgl. Gu et al. (2007), S. 2f.

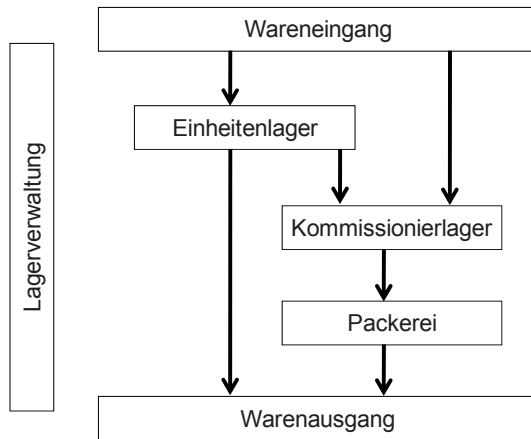


Abbildung 2.1: Darstellung der Lagerhausbereiche⁴

Im Wareneingang finden die Annahme, die Registrierung und die Kontrolle aller eingehenden Lieferungen statt. Von dort gelangen die Waren in das Einheitenlager oder direkt in das Kommissionierlager. Im Einheitenlager werden die Waren in homogenen, d. h. artikelrein zusammengesetzten Lagereinheiten (z. B. auf Paletten, in Kartons oder auf Tablaren) vorgehalten. Hierbei steht die eigentliche Lagerfunktion im Vordergrund.⁵ Die Waren des Einheitenlagers stehen dem Kommissionierlager als Nachschub zur Verfügung oder werden ggf. direkt an Kunden weiterversendet, sofern größere Mengen einzelner Waren geordert wurden. Im Kommissionierbereich werden die homogenen Lagereinheiten in kleinere Teilmengen aufgelöst, um von Kunden gewünschte Warenbündel aus verschiedenen Artikeln bedarfsgerecht zusammenstellen zu können.⁶

In einem Lagerhaus ist die Kommissionierungsfunktion notwendig, da die eingehenden Waren artikelrein in großen Gebindegrößen angeliefert werden, Kunden jedoch üblicherweise einen geringen Bedarf an unterschiedlichen Artikeln haben.⁷ Das Ziel der Kommissionierung besteht dementsprechend darin, aus einer Gesamtmenge an Artikeln (dem Sortiment) bestimmte Teilmengen zusammen-

⁴ In Anlehnung an Bowersox, Closs (1996), S. 397.

⁵ Vgl. Pfohl (2010), S. 118.

⁶ Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 386.

⁷ Vgl. Wäscher (2004), S. 324.

zustellen, die vorhandenen Kundenaufträgen entsprechen.⁸ Es findet folglich eine Transformation der Artikelzusammenstellung von einem lagerspezifischen in einen verbrauchsspezifischen Zustand statt.⁹

Die erstellten Kundensendungen werden in der Packerei versandfertig gemacht und verlassen über den Warenausgang das Lagerhaus. Alle administrativen Aufgaben im Rahmen des Lagerhausmanagements werden in der Lagerhausverwaltung durchgeführt.

2.1.2 Betriebswirtschaftliche Bedeutung der Kommissionierung

Die Kommissionierung wird häufig als die wichtigste der Lagerhausfunktionen angesehen, da sie die kostenintensivsten Tätigkeiten im Lagerhaus beinhaltet.¹⁰ Verschiedene Studien haben den Anteil der Kommissionierung an den gesamten (operativen) Lagerhauskosten geschätzt: Dieser Anteil variiert je nach Studie zwischen 50 % bei Frazelle (2002), 60 % bei Drury (1988) und 65 % bei Coyle et al. (2003).¹¹

Neben dem beschriebenen Kostenaspekt hat die Kommissionierung auch einen wesentlichen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit, da eine schlechte Planung und Steuerung der Kommissionierungsprozesse zu langen Bearbeitungs- und Lieferzeiten sowie zu fehlerhaften Sendungen führen kann.¹² Einen wichtigen Indikator für die Kundenzufriedenheit stellt der Servicegrad der Kommissionierung dar. Der Servicegrad beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kundenauftrag vollständig, korrekt und termingerecht durchgeführt wird. Entscheidende Einflussfaktoren sind dabei die Lieferbereitschaft, die Sendungsqualität und die Termintreue.¹³ Eine effiziente Kommissionierung kann durch die Verhinderung falscher und unvollständiger Lieferungen und die Verkürzung der Bearbeitungszeiten der Kundenaufträge wesentlich zu einem guten Servicegrad beitragen.

Der Einfluss auf die beiden Aspekte „Kosten“ und „Kundenzufriedenheit“ verdeutlicht die betriebswirtschaftliche Bedeutung der Kommissionierung und ihren hohen

⁸ Vgl. VDI (1994), VDI-Richtlinie 3590 Blatt1, S. 2; Petersen, Schmenner (1999), S. 481.

⁹ Vgl. Schulte (2009), S. 252.

¹⁰ Vgl. Tompkins et al. (2010), S. 432.

¹¹ Vgl. Frazelle (2002), S. 148; Drury (1988), S. 7; Coyle et al. (2003), S. 329.

¹² Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 387; Henn et al. (2010), S. 82.

¹³ Vgl. Gudehus (2012a), S. 72.

Stellenwert im Lagerhausmanagement. Im Bereich der Kommissionierungsprozesse existiert zudem noch ein signifikantes Optimierungspotential, wie aus verschiedenen Praxisberichten ersichtlich ist.¹⁴ Der Einsatz von Methoden des Operations Research kann hier wesentlich dazu beitragen, die Kommissionierprozesse effizienter zu gestalten und das gesamte Lagerhausmanagement zu verbessern. Gerade in der Distributionslogistik mit geringen Margen können dabei bereits kleine Veränderungen zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil führen.¹⁵

2.2 Struktur von Kommissioniersystemen

2.2.1 Abgrenzung verschiedener Kommissioniersysteme

Bei der Ausgestaltung von Kommissioniersystemen existiert eine große Bandbreite verschiedener Realisierungsmöglichkeiten, die anhand der folgenden, in Abbildung 2.2 dargestellten Klassifizierung verdeutlicht werden soll. Grundsätzlich kann danach unterschieden werden, ob die Kommissionierung automatisch erfolgt, mit einem hohen Automatisierungsgrad und geringem Personaleinsatz, oder manuell durchgeführt wird, mit niedriger Automatisierung und hohem Personaleinsatz.

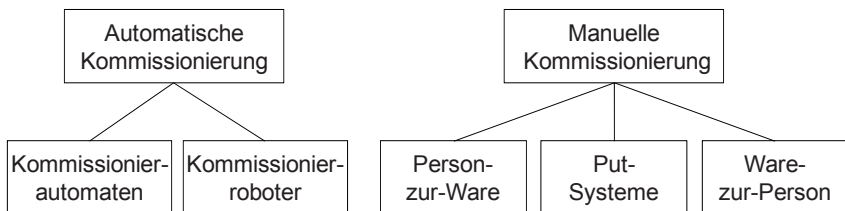


Abbildung 2.2: Klassifikation von Kommissioniersystemen¹⁶

Die *automatische Kommissionierung* kann dabei über Kommissionierautomaten, sogenannte Dispenser, oder über Kommissionierroboter erfolgen. Die vollständige Automatisierung des Kommissionierprozesses wird jedoch nur sehr selten angewendet, wenn z. B. sehr kleine oder sehr teure Waren zu kommissionieren sind.¹⁷

¹⁴ Vgl. de Koster et al. (1999a), S. 233; Dekker et al. (2004), S. 312f.; Renaud, Ruiz (2008), S. 1612.

¹⁵ Vgl. Henn et al. (2010), S. 103.

¹⁶ In Anlehnung an de Koster et al. (2007), S. 484.

¹⁷ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 485.

Bei *manueller Kommissionierung* kann in die drei Untergruppen Person-zur-Ware-Systeme, Ware-zur-Person-Systeme und Put-Systeme unterschieden werden. Ein Person-zur-Ware-System ist so aufgebaut, dass die Waren an festen Lagerorten im Lagerhaus vorgehalten werden und die Mitarbeiter sich zu den Waren bewegen, um diese einzusammeln. Bei Ware-zur-Person-Systemen ist das genau umgekehrt; hier sind die Mitarbeiter an festen Arbeitsplätzen stationiert und die Waren werden über Fließbänder zu den Mitarbeitern transportiert und dann je nach Bedarf vom Fließband entnommen. Put-Systeme stellen eine Mischform der beiden erstgenannten Kategorien dar.¹⁸

In Person-zur-Ware-Kommissioniersystemen wird zusätzlich auch danach unterschieden, ob die Waren ebenerdig bzw. auf Griffhöhe der Mitarbeiter gelagert werden (das sogenannte low-level picking) oder ob die Waren auf mehreren, übereinander geordneten Ebenen gelagert werden (high-level picking). Diese Unterscheidung ist deshalb wichtig, da für das high-level picking zusätzliche Betriebsmittel in Form von Gabelstaplern oder sogenannten Man-on-Board-Systemen notwendig sind. Umsetzungsvarianten des Ware-zur-Person-Konzeptes beinhalten u. a. Automatische Ein- und Auslagersysteme sowie Karussell- und Paternostersysteme.¹⁹

Die weiteren Betrachtungen in dieser Arbeit beziehen sich auf den Bereich der manuellen Person-zur-Ware-Kommissionierung.

2.2.2 Aufbau und Layout von manuellen Kommissioniersystemen

In der einfachsten Form besteht das Kommissionierlager aus einem rechteckigen Kommissionierbereich mit mehreren parallel zueinander angeordneten Regalreihen, zwischen denen jeweils ein Kommissioniergang existiert. Die Kommissioniergänge wiederum sind an den beiden Enden der Regalreihen durch sogenannte Quergänge miteinander verbunden. Ein entsprechendes Lagerlayout ist in Abbildung 2.3 dargestellt und wird allgemein als Ein-Block-Layout bezeichnet.²⁰

¹⁸ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 484.

¹⁹ Vgl. ten Hompel et al. (2011), S. 76ff.

²⁰ Vgl. Wäscher (2004), S. 325.

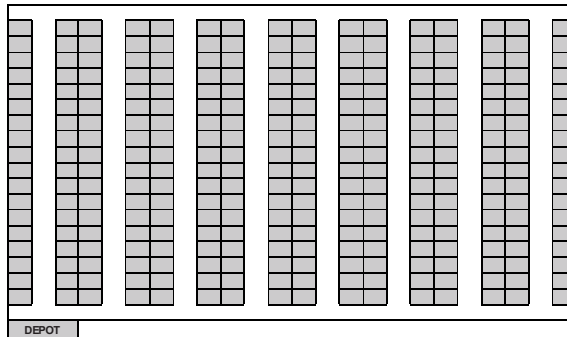


Abbildung 2.3: Darstellung eines Lagerhauses im Ein-Block-Layout

Die einzelnen Regalreihen bestehen aus einer identischen Anzahl an Stellplätzen (in der Abbildung durch Rechtecke symbolisiert), in welchen die Waren des Lagerhaus-sortiments artikelrein vorgehalten werden. Das zentrale Element des Kommissionier-bereichs ist das Depot (auch Input/Output-Punkt bzw. I/O-Punkt genannt), wo die Kommissionierer den Kommissionierbereich betreten und wieder verlassen. Das Depot ist üblicherweise am vorderen Quergang angeordnet und kann sich entweder an den Enden oder der Mitte desselbigen befinden.²¹

Bei der Planung und Dimensionierung des Kommissionierbereichs sind verschiedene Aspekte zu beachten. So sollten z. B. die Kommissioniergänge breit genug ausgelegt werden, damit die Kommissionierer sich in einem Gang überholen können, und damit ein Gang gleichzeitig in beide Richtungen benutzt werden kann.²² Eine ausreichende Gangbreite stellt sicher, dass die Mitarbeiter sich bei ihrer Arbeit nicht gegenseitig behindern. Andererseits dürfen die Kommissioniergänge aber auch nicht zu breit sein, da bei breiten Kommissioniergängen eine insgesamt größere Kommissionier-fläche benötigt würde, was wiederum zu höheren Gebäudekosten und längeren Wegen führt. Schmale Gänge ermöglichen zudem auch das Erreichen der Artikel auf beiden Seiten eines Kommissionierganges ohne großen zusätzlichen Bewegungs-aufwand.

Das beschriebene Ein-Block-Layout wird in der Literatur als Basislayout betrachtet.²³ Daneben existieren verschiedene Erweiterungen des Basislayouts, bei denen

²¹ Vgl. Petersen (1997), S. 1100.

²² Vgl. Wäscher (2004), S. 326.

²³ Vgl. Roodbergen, de Koster (2001a), S. 32; Dukic, Oluic (2007), S. 452.

zusätzliche Quergänge hinzugefügt werden. Diese teilen das Lagerhaus in mehrere Blöcke und erleichtern den Kommissionierern damit den Wechsel zwischen den Kommissioniergängen. Abhängig von der Anzahl an Blöcken wird hierbei zwischen 2-Block, 3-Block oder allgemein Multi-Block-Layout unterschieden. Der Einfluss zusätzlicher Quergänge wird in Vaughan und Petersen (1999) und Ertek et al. (2008) untersucht. Gänzlich neue Arten von Lagerhauslayouts, die auf die klassische Blockstruktur verzichten, sind beispielsweise das Flying-V Layout und das Fishbone Layout von Gue und Meller (2009), das U-Shaped Layout von Henn et al. (2011) sowie das Chevron Layout von Öztürkoğlu et al. (2012). Grundlage für die weiteren Betrachtungen ist jedoch das Ein-Block-Layout.

2.2.3 Ablauf der manuellen Kommissionierung

Die Abläufe in der Kommissionierung werden über die sogenannten Picklisten gesteuert, welche die Mitarbeiter am Depot ausgehändigt bekommen. Eine Pickliste besteht aus mehreren Auftragspositionen. Eine Auftragsposition enthält alle notwendigen Informationen für die Kommissionierung eines Artikels, d. h. die genaue Angabe, in welcher Quantität ein Artikel einzusammeln ist und an welchem Stellplatz er im Lagerhaus lokalisiert ist.²⁴ Die Auftragspositionen sind üblicherweise schon in einer bestimmten Sequenz vorsortiert, die den Kommissionierern eine Bearbeitungsreihenfolge vorgibt.²⁵ Die Picklisten können dabei klassisch als Papierliste vorliegen oder den Mitarbeitern mit Hilfe elektronischer Kommunikationsmittel zur Verfügung gestellt werden. Dies kann über elektronische Bedienterminals oder auch in zunehmendem Maße per Pick-by-Voice geschehen.²⁶ Bei Pick-by-Voice bekommen die Mitarbeiter ihre Arbeitsanweisungen über Kopfhörer übermittelt, was den Vorteil mit sich bringt, dass sie im Gegensatz zur Arbeit mit Papierlisten und Bedienterminals die Hände komplett für die Arbeit frei haben.²⁷

Der Inhalt einer Pickliste stellt einen Kommissionierauftrag dar. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Kundenauftrag und Kommissionierauftrag können im Wesentlichen drei Fälle unterschieden werden²⁸:

²⁴ Vgl. ten Hompel et al. (2011), S. 8f.

²⁵ Vgl. Henn et al. (2010), S. 83.

²⁶ Vgl. ten Hompel et al. (2011), S. 55ff.

²⁷ Vgl. Spee (2009), S. 50.

²⁸ Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 387.

- (a) Ein Kundenauftrag muss aufgrund seiner Größe auf mehrere Kommissionieraufträge aufgeteilt werden.
- (b) Kundenauftrag und Kommissionierauftrag sind identisch.
- (c) Ein Kommissionierauftrag enthält mehrere Kundenaufträge.

Das wichtigste Arbeitshilfsmittel für die Kommissionierer ist das Kommissioniergerät, z. B. ein Rollwagen oder ein Trolley. Es dient als Förder- und Lastaufnahmemittel und ermöglicht den Kommissionierern, die eingesammelten Artikel auf ihrem Weg durch das Lagerhaus zwischenzulagern.²⁹ Je nach Größe des Kommissioniergerätes können dabei unterschiedlich viele Artikel zwischengelagert werden.

Der Arbeitsablauf eines Kommissionierers kann wie folgt beschrieben werden: Zu Beginn nimmt der Kommissionierer die Pickliste und ein Kommissioniergerät am Depot in Empfang. Entsprechend der auf der Pickliste vorgegebenen Reihenfolge bewegt er sich anschließend durch das Lagerhaus und entnimmt dabei die angegebenen Artikel aus den Regalen. Sobald alle auf der Pickliste aufgeführten Artikel eingesammelt worden sind, begibt sich der Kommissionierer zurück ins Depot, um die gesammelten Artikel abzugeben und eine neue Pickliste und ein leeres Kommissioniergerät entgegenzunehmen. Für jeden Kommissionierauftrag ergibt sich folglich eine Kommissioniertour, die im Depot startet, die Lagerorte aller im Kommissionierauftrag angegebenen Artikel enthält und anschließend wieder im Depot endet.

2.2.4 Optimierungsziele in der Kommissionierung

Für den Bereich der Kommissionierung werden unterschiedliche Zielsetzungen in der Literatur formuliert. Dazu gehören unter anderem die Maximierung der Lagerplatzauslastung oder die Maximierung der Mitarbeiterauslastung.³⁰ Die beiden wichtigsten und am häufigsten genannten Ziele sind jedoch die Maximierung des Lieferservices und die Minimierung der (operativen) Kosten.³¹

Der Lieferservicegrad ist abhängig von den bereits beschriebenen Faktoren, wie Vollständigkeit der Lieferung, Fehlerfreiheit der Lieferung, kurze Lieferzeiten und Pünktlichkeit der Lieferung. Insbesondere der Aspekt der kurzen Lieferzeiten kann

²⁹ Vgl. ten Hompel et al. (2011), S. 46.

³⁰ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 486.

³¹ Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 387; Goetschalckx, Ashayeri (1989), S. 100.

durch eine Optimierung der Kommissionierungsprozesse beeinflusst werden, da die für das Kommissionieren der nachgefragten Artikel benötigte Zeit ein wesentlicher Bestandteil der Durchlaufzeit eines Kundenauftrages ist und sich damit unmittelbar auf dessen Lieferzeit auswirkt. Lange Durchlaufzeiten aufgrund schlecht organisierter oder ausgeführter Kommissionierungsprozesse haben zudem auch hohe Kapitalbindungskosten im Umlaufvermögen und hohe Personalkosten durch einen vergrößerten Bedarf an Arbeitskräften zur Folge.³²

Um die Durchlaufzeiten der Kundenaufträge im Lagerhaus zu minimieren, ist es notwendig, vorab die Teilprozesse der Kommissionierung und ihre zeitlichen Anteile zu analysieren. Tompkins et al. (2010) geben dazu an, dass ca. 50 % der täglichen Arbeitszeit eines Kommissionierers dem Überwinden von räumlichen Entfernungen im Lagerhaus zugeordnet werden kann. Hierunter fallen die Zeiten für die Bewegung des Kommissionierers vom Depot zum Lagerstellplatz des ersten Artikels und zu den weiteren Lagerstellplätzen sowie die benötigte Zeit für die Rückkehr zum Depot. Die gesamte benötigte Zeit für das Überwinden der räumlichen Entfernungen innerhalb einer Kommissioniertour wird im Weiteren mit Bewegungszeit bezeichnet. Weiterhin sind nach Tompkins et al. (2010) 20 % der täglichen Arbeitszeit für das Suchen und Identifizieren der einzusammelnden Artikel notwendig, weitere 15 % entfallen auf den eigentlichen Greifprozess. Ca. 10 % der täglichen Arbeitszeit sind Rüstzeiten am Anfang und Ende der Tour. Dieses sind hauptsächlich administrative Tätigkeiten, wie z. B. Entgegennahme/Rückgabe von Pickliste und Kommissioniergerät oder Vollständigkeitskontrolle. Die verbleibenden 5 % entfallen auf sonstige Tätigkeiten.³³ Die Verteilung der Arbeitszeit eines Kommissionierers ist in Abbildung 2.4 nochmals zusammengefasst.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass einige der Komponenten, wie die Such- bzw. Identifikationszeit und die Greifzeit, als nahezu konstant und unveränderlich angesehen werden können. Andere Komponenten, wie die Rüstzeiten und die sonstigen Zeiten, können wiederum als vernachlässigbar klein betrachtet werden. Damit kommt der Bewegungszeit eine besondere Bedeutung zu, da sie nicht nur den

³² Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 387.

³³ Vgl. Tompkins et al. (2010), S. 434.

größten Anteil an der Kommissionierzeit hat, sondern von allen Faktoren auch als einzige wirklich beeinflussbar ist.³⁴

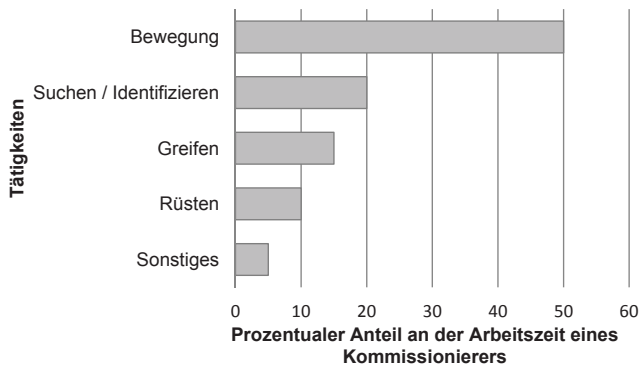


Abbildung 2.4: Aufteilung der Arbeitszeit eines Kommissionierers³⁵

Eine Minimierung der Bewegungszeit und eine damit einhergehende Reduzierung der Durchlaufzeit von Kundenaufträgen wirkt sich in mehrfacher Hinsicht positiv in Bezug auf die beschriebenen Optimierungsziele der Kommissionierung aus. Zum einen bedeutet eine Verringerung der notwendigen Bewegungszeit, dass sich die zur Bearbeitung der Kundenaufträge erforderliche Arbeitszeit des Kommissionierpersonals verringert und ggf. auf kostenintensive Überstunden verzichtet werden kann. Langfristig kann dies unter Umständen sogar zu einer Reduzierung des notwendigen Personals führen. Zum anderen ist die Durchlaufzeit im Kommissionierbereich ein wesentlicher Bestandteil der Lieferzeit. Wenn die Bewegungszeiten verringert werden, führt dies zu kürzeren Lieferzeiten, was in einer Erhöhung der Kundenzufriedenheit resultieren kann.

Für die hier betrachteten manuellen Person-zur-Ware-Kommissioniersysteme kann angenommen werden, dass bei einer konstanten Bewegungsgeschwindigkeit der Kommissionierer (und unter Vernachlässigung von Beschleunigungs- und Bremsbewegungen) die Bewegungszeit linear abhängig von der zurückgelegten Weglänge ist. Dies hat zur Folge, dass die Minimierung der Bewegungszeit, die zum Ein-

³⁴ Vgl. Henn et al. (2010), S. 85.

³⁵ In Anlehnung an Tompkins et al. (2010), S. 434.

sammeln aller Artikel eines Kommissionierauftrages notwendig ist, gleichbedeutend ist mit der Minimierung der Länge der zugehörigen Kommissioniertour.³⁶

Im weiteren Verlauf der Arbeit liegt der Fokus auf der Minimierung der Weglängen. Das Optimierungsziel ist folglich die Minimierung der Gesamtlänge aller Kommissioniertouren (Gesamttourlänge), die erforderlich sind, um einen vorgegebenen Bestand an Kundenaufträgen abzuarbeiten.

2.3 Operative Planungsprobleme der Kommissionierung

Auf operativer Ebene können im Wesentlichen drei Planungsprobleme identifiziert werden, die in der Kommissionierung gelöst werden müssen: Das Artikelanordnungsproblem, das Tourenplanungsproblem und das Auftragsbildungsproblem.³⁷ Beim Artikelanordnungsproblem (Storage Location-Problem) wird die Fragestellung betrachtet, welcher Artikel an welchem Stellplatz gelagert werden soll. Beim Tourenplanungsproblem (Picker Routing-Problem) geht es darum, in welcher Reihenfolge die Artikel eines Kommissionierauftrages eingesammelt werden sollen, d. h. welchen Weg der Mitarbeiter durch das Lagerhaus nehmen soll. Im dritten Teilproblem, dem Auftragsbildungsproblem (Order Batching-Problem), wird abschließend die Frage geklärt, welche Kundenaufträge zu einem Kommissionierauftrag zusammengefasst und damit gemeinsam kommissioniert werden sollen.

2.3.1 Artikelanordnung (Storage Location)

Beim Artikelanordnungsproblem wird von einem festgelegten Lagerlayout mit gegebenen potentiellen Stellplätzen sowie von vorgegebenen Kundenaufträgen ausgegangen. In diesem Rahmen ist für jeden Artikel des Sortiments zu bestimmen, welchem Stellplatz er zugeordnet werden soll. Dies geschieht unter der Zielsetzung, die Gesamttourlänge zu minimieren.

Üblicherweise wird beim Artikelanordnungsproblem jedem Stellplatz nur ein Artikel zugewiesen und ein Artikel kann auch nur genau einem Stellplatz zugeordnet

³⁶ Vgl. Jarvis, McDowell (1991), S. 94.

³⁷ Vgl. Caron et al. (1998), S. 713.

werden.³⁸ Das Artikelanordnungsproblem (Storage Location-Problem) kann damit wie folgt definiert werden:

Wie soll – bei gegebenem Lagerlayout, gegebenen potentiellen Stellplätzen und gegebenen Kundenaufträgen – die Zuordnung von Artikeln auf Lagerstellplätze erfolgen, damit die zum Bearbeiten aller Kundenaufträge benötigte Gesamttourlänge minimiert werden kann?³⁹

Das Artikelanordnungsproblem ist ein NP-schweres Problem, weshalb es üblicherweise durch heuristische Verfahren gelöst wird.⁴⁰ Hierbei sind drei grundsätzliche Zuordnungsprinzipien möglich: die feste Lagerplatzvergabe, die chaotische Lagerplatzvergabe und die klassenbasierte Lagerplatzvergabe.⁴¹

Beim Anordnungsprinzip der *festen Lagerplatzvergabe* wird jedem Artikel ein gleichbleibender Lagerplatz zugeordnet. Die heuristischen Verfahren zur Vergabe dieser Lagerplätze lassen sich dabei in drei Klassen aufteilen, abhängig davon, ob sie Nachfrageintensitäten, Verbundintensitäten oder Kontaktintensitäten berücksichtigen.⁴²

Bei einer *Lagerplatzvergabe unter Auswertung der Nachfrageintensitäten* werden Artikel mit großer Nachfrage nah am Depot und Artikel mit geringer Nachfrage weiter von diesem entfernt positioniert. Eine erweiterte Form der beschriebenen Nachfrageintensität stellt der Cube-per-Order-Index (COI) dar.⁴³ Der COI eines Artikels berechnet sich dabei als Quotient aus Platzbedarf des Artikels und Anzahl der Zugriffe auf den Artikel. Folgt die Anordnung einer Verteilung nach dem COI, so werden Artikel mit einem kleinen COI nah am Depot und Artikel mit einem großen COI weiter entfernt positioniert.

Die Lagerplatzvergabe unter Auswertung von Verbund- oder Kontaktintensitäten kann unter dem Oberbegriff *family grouping* zusammengefasst werden.⁴⁴ Bei diesen beiden Strategien geht es nicht nur um die Nachfrageintensität einzelner Artikel, sondern auch darum, ob verschiedene Artikel Gemeinsamkeiten in der Nachfrage

³⁸ Vgl. Reschke, Wäscher (2000), S. 137.

³⁹ Vgl. Wäscher (2004), S. 330.

⁴⁰ Vgl. Reschke, Wäscher (2000), S. 138.

⁴¹ Vgl. Hausman et al. (1976), S. 631ff.

⁴² Vgl. Wäscher (2004), S. 331.

⁴³ Vgl. Heskett (1963), zitiert nach de Koster et al. (2007), S. 489.

⁴⁴ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 491.

zeigen. Grundidee dabei ist, Artikel, die vielfältige Gemeinsamkeiten aufweisen, im Lagerhaus möglichst nah beieinander zu positionieren.

Die *Lagerplatzvergabe unter Auswertung von Verbundintensitäten* vollzieht sich in zwei Schritten: Im ersten Schritt werden Gruppen von Artikeln mit großer Gemeinsamkeit gebildet. Gemeinsamkeit kann z. B. durch gemeinsames Auftreten in einem Kundenauftrag definiert sein. Zudem muss die Anzahl an Gruppen, sowie die Zuordnung von Artikeln zu Gruppen festgelegt werden. Im zweiten Schritt werden die Artikel dann gruppenweise im Lagerhaus platziert.⁴⁵

Bei der *Lagerplatzvergabe unter Auswertung von Kontaktintensitäten* dagegen wird nicht nur geprüft, ob zwei Artikel gemeinsam in einem Kundenauftrag nachgefragt werden, sondern auch, ob diese Artikel Kontakt zueinander haben. Zwei Artikel haben Kontakt miteinander, wenn sie in einer Kommissioniertour direkt nacheinander eingesammelt werden.⁴⁶ Das Besondere an dieser Anordnungsstrategie ist, dass zur Bestimmung der Kontakte jeweils das zugehörige Tourenplanungsproblem gelöst werden muss, wofür aber wiederum die Lagerplatzvergabe feststehen muss. Dies hat zur Folge, dass in einem iterativen Prozess zwischen den beiden Teilproblemen Auftragsbildung und Tourenplanung gewechselt werden muss. Verfahren zur Lagerplatzvergabe unter Auswertung von Kontaktintensitäten werden in van Oudheusden et al. (1988) beschrieben.

Die feste Lagerplatzvergabe weist den grundsätzlichen Vorteil auf, dass sich die Kommissionierer die Lagerstandorte der Artikel langfristig merken können, was eine Reduzierung der Such- und Identifikationszeiten zur Folge hat. Nachteilig bei diesem Anordnungsprinzip ist die geringe Lagerplatzauslastung, da zu jedem Zeitpunkt ein Lagerplatz für jeden Artikel im Sortiment reserviert sein muss, selbst wenn dieser Artikel gerade nicht verfügbar ist.⁴⁷

Bei der *chaotischen bzw. zufälligen Lagerplatzvergabe* haben die Artikel dagegen keine langfristig festen Lagerplätze. Stattdessen werden neu eingehende Artikel auf die zu diesem Zeitpunkt freien Stellplätze verteilt. Die Lagerplatzvergabe kann dabei entweder vollkommen zufällig erfolgen (Random Storage), d. h. jeder Lagerplatz kann mit der gleichen Wahrscheinlichkeit ausgewählt werden, oder es wird derjenige

⁴⁵ Vgl. Reschke, Wäscher (2000), S. 139f.

⁴⁶ Vgl. Reschke, Wäscher (2000), S. 137.

⁴⁷ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 489.

freie Stellplatz ausgewählt, der die kürzeste Entfernung zum Depot besitzt (Closest Open Location Storage). Bei dieser Art der Lagerplatzvergabe wird eine hohe Lagerplatzauslastung erzielt, jedoch mit dem Nachteil längerer Kommissioniertouren.⁴⁸ Auch die Zeiten für das Suchen und Identifizieren von Artikeln können durch ständig wechselnde Lagerplätze ansteigen.

Eine in vielen Lagerhäusern anzutreffende Anordnungsstrategie ist die *klassenbasierte Lagerplatzvergabe*, die eine Mischform aus der festen und der chaotischen Lagerplatzvergabe darstellt.⁴⁹ Hierfür wird das Artikelsortiment zunächst in verschiedene Klassen aufgeteilt, denen jeweils feste Bereiche im Lagerhaus zugewiesen werden. Innerhalb eines Bereiches werden die Artikel der zugehörigen Klasse dann wiederum chaotisch bzw. zufällig auf die Stellplätze verteilt. Grundlage für die klassenbasierte Lagerplatzvergabe ist die Beobachtung, dass die Nachfrageintensität verschiedener Artikel nicht identisch ist, sondern sich sehr stark unterscheiden kann.⁵⁰ Typischerweise entfällt dabei ein großer Anteil der gesamten Nachfrage auf eine geringe Anzahl von Artikeln des Sortiments.⁵¹ Bei der klassenbasierten Lagerplatzvergabe werden die Artikel des Sortiments dementsprechend anhand ihrer Nachfrageintensität (oder eines anderen Maßes, z. B. dem COI) verschiedenen Klassen zugeordnet. Die gängigste Variante ist dabei die Dreiteilung in A-, B- und C-Artikel, wobei A-Artikel die Waren mit der größten Nachfrage darstellen, B-Artikel die mit einer mittleren Nachfrage und C-Artikel die mit der geringsten Nachfrage. Die Einteilung ist dabei nicht auf drei Klassen beschränkt, sondern kann je nach Lagerhaus und Situation variiert werden. Für den Extremfall einer einzigen Klasse entspricht die klassenbasierte Lagerplatzvergabe der chaotischen Lagerplatzvergabe. Je größer die Anzahl eingeführter Klassen ist, umso ähnlicher wird die klassenbasierte Lagerplatzvergabe wiederum der festen Lagerplatzvergabe. Im Extremfall, dass jeder Artikel eine eigene Klasse bildet, sind klassenbasierte und feste Lagerplatzvergabe identisch.⁵²

Die klassenbasierte Lagerplatzvergabe sieht vor, dass Artikel mit hoher Nachfrage möglichst dicht am Depot platziert werden und die Artikel mit der geringsten

⁴⁸ Vgl. Choe, Sharp (1991), Abschnitt 4.1.

⁴⁹ Vgl. de Koster et al. (1999b), S. 1500; de Koster et al. (2007), S. 489.

⁵⁰ Vgl. Petersen, Schmenner (1999), S. 490.

⁵¹ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 489.

⁵² Vgl. van den Berg (1999), S. 754.

Nachfrage den vom Depot am weitesten entfernten Lagerplätzen zugeordnet werden. Diese Lagerplatzvergabe kann durch verschiedene Artikelanordnungsmuster abgebildet werden, z. B. durch die Längs-, die Quer- oder die Radialanordnung.⁵³ Alle drei Artikelanordnungsmuster sind in der folgenden Abbildung 2.5 dargestellt.

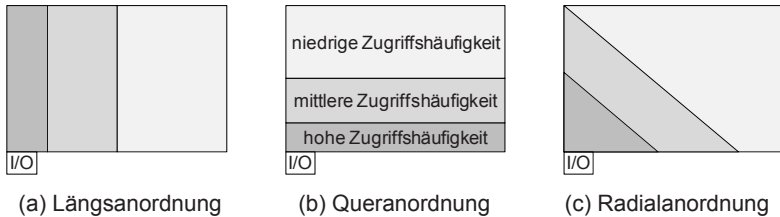


Abbildung 2.5: Darstellung verschiedener Artikelanordnungsmuster

Bei der Längsanordnung (vgl. Abbildung 2.5a) werden den Kommissioniergängen dicht am Depot Artikel mit hoher Nachfrage zugeordnet, den nachfolgenden Kommissioniergängen die Artikel mit mittlerer Nachfrage und den Artikeln mit geringer Nachfrage die verbleibenden Gänge. Bei der Queranordnung (vgl. Abbildung 2.5b) werden die Artikel mit hoher Nachfrage unmittelbar am vorderen Quergang angeordnet und die mit geringer Nachfrage am hinteren Quergang. Bei der Radialanordnung wird für die Zuordnung die Entfernung eines Stellplatzes zum Depot betrachtet. Stellplätzen mit geringer Entfernung zum Depot werden die Artikel mit hoher Nachfrage zugeordnet, den Artikeln mit mittlerer und niedriger Nachfrage dann die jeweils vom Depot weiter entfernten Stellplätze. Dies führt zur charakteristischen Dreiecksform, wie in Abbildung 2.5c verdeutlicht. Für die Dimensionierung der klassenbasierten Lagerplatzvergabe, d. h. für die Festlegung der Anzahl an Klassen, der Anzahl an Artikeln pro Klasse und der Nachfrage je Klasse, gibt es keine einheitlichen Empfehlungen in der Literatur.⁵⁴

2.3.2 Tourenplanung (Picker Routing)

Die Weglänge, die zum Einsammeln aller Artikel eines Kommissionierauftrages benötigt wird, hängt nicht nur von der Artikelanordnung, sondern ganz wesentlich auch von der Reihenfolge ab, in welcher die zu den Artikeln gehörenden Stellplätze

⁵³ Vgl. Petersen, Schmenner (1999), S. 487ff.

⁵⁴ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 490.

angesteuert werden. Um die benötigte Weglänge zu minimieren, muss dementsprechend das zugehörige Tourenplanungsproblem (Picker Routing-Problem) gelöst werden, das durch die folgende Fragestellung formuliert werden kann:

In welcher Reihenfolge sollen die Artikel gegebener Kommissionieraufträge – in einem Lagerhaus mit festgelegter Artikelanordnung – eingesammelt werden, damit die zum Bearbeiten aller Kundenaufträge benötigte Gesamttourlänge minimiert wird?⁵⁵

Die Minimierung der für alle Kommissionieraufträge benötigten Gesamttourlänge ist dabei gleichbedeutend mit der separaten Minimierung der Weglängen der einzelnen Kommissionieraufträge. Die Struktur dieses Problems entspricht dabei der eines symmetrischen Travelling Salesman-Problems (TSP), wobei für jeden Kommissionierauftrag ein eigenes TSP gelöst werden muss. Beim TSP wird allgemein eine Rundreise minimaler Länge gesucht, in der eine gegebene Anzahl an Orten jeweils genau einmal besucht werden soll und bei der Start- und Zielort identisch sind.⁵⁶ Das allgemeine TSP gehört zur Klasse der NP-schweren Probleme. Im konkreten Fall der Tourenplanung in der Kommissionierung konnten Ratliff und Rosenthal (1983) für ausgewählte Lagerhauslayouts (u. a. für das rechteckige Ein-Block-Layout aus Abbildung 2.3) jedoch einen Algorithmus entwickeln, der das Problem mit polynomialem Aufwand optimal löst.

Trotz der Existenz dieses Algorithmus werden in der Praxis hauptsächlich heuristische Lösungsverfahren – sogenannte Routingstrategien – für das Tourenplanungsproblem in der Kommissionierung angewendet.⁵⁷ Dies ist im Wesentlichen dadurch begründet, dass der exakte Algorithmus von Ratliff und Rosenthal (1983) sehr verzweigte Routen liefert, die für die Kommissionierer nur schwer nachvollziehbar sind.⁵⁸ Dies führt in der Praxis oft dazu, dass die Kommissionierer die vorgegebenen optimalen Routen ignorieren, um vermeintliche Abkürzungen zu nehmen. Die heuristischen Routingstrategien dagegen liefern klar verständliche Ablaufschemata, denen die Kommissionierer leicht folgen können. Das Risiko, einen Artikel auf der Tour zu vergessen, sinkt daher deutlich.⁵⁹ Dieser Aspekt

⁵⁵ Vgl. Wäscher (2004), S. 340.

⁵⁶ Vgl. Domschke, Scholl (2010), S. 95f.

⁵⁷ Vgl. Renaud, Ruiz (2008), S. 1603f.; Chen et al. (2010), S. 73.

⁵⁸ Vgl. de Koster et al. (1999a), S. 231.

⁵⁹ Vgl. Petersen (1999), S. 1054; Henn et al. (2010), S. 83.

erweist sich als sehr wichtig für die Praxis, da die Vollständigkeit eines Kundenauftrages ein elementares Kriterium für den Lieferservice und die daraus abgeleitete Kundenzufriedenheit ist.⁶⁰

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Routingstrategien, von denen einige im Folgenden kurz vorgestellt werden. Abbildung 2.6 zeigt hierfür beispielhaft den schematischen Ablauf der Routingstrategien an einem Ein-Block-Layout. Die schwarz markierten Rechtecke symbolisieren Stellplätze, an denen ein Artikel zu entnehmen ist, die Linien markieren die aus den Routingstrategien resultierenden Kommissioniertouren.

Bei der S-Shape-Strategie (auch als Traversal-Strategie⁶¹, Durchgangs-⁶² oder Schleifenstrategie⁶³ bezeichnet) wird jeder Gang, der betreten wird, auch vollständig durchlaufen. Der erste Kommissioniergang, der einen zu entnehmenden Artikel enthält, wird dabei vom vorderen Quergang betreten, die weiteren Kommissioniergänge mit zu entnehmenden Artikeln dann jeweils abwechselnd vom hinteren und vorderen Quergang aus. Dabei entsteht der für diese Routingstrategie namensgebende S-förmige Verlauf. Kommissioniergänge, aus denen kein Artikel entnommen werden muss, werden ausgelassen. Sofern eine ungerade Anzahl von Kommissioniergängen besucht werden muss, gilt für den letzten zu besuchenden Kommissioniergang eine abweichende Regelung: In einem solchen Fall wird der entsprechende Kommissioniergang vom vorderen Quergang aus betreten, der Kommissionierer dreht am letzten zu entnehmenden Artikel um und verlässt den Kommissioniergang wieder über den vorderen Quergang (vgl. Abbildung 2.6a).⁶⁴

Bei der Return-Strategie (auch unter dem Namen Stichgangstrategie⁶⁵ bekannt) werden alle Kommissioniergänge, in denen ein Artikel zu entnehmen ist, über den vorderen Quergang betreten und auch wieder über diesen verlassen. Innerhalb eines Kommissioniergangs geht der Kommissionierer jeweils bis zum hintersten zu entnehmenden Artikel und dreht danach um. Nach dem Besuch des letzten

⁶⁰ Vgl. Gudehus (2012a), S. 72.

⁶¹ Vgl. Petersen, Schmenner (1999), S. 485.

⁶² Vgl. Kunder, Gudehus (1975), S. B55.

⁶³ Vgl. Sadowsky (2007), S. 41.

⁶⁴ Vgl. Kunder, Gudehus (1975), S. B56; Hall (1993), S. 78.

⁶⁵ Vgl. Kunder, Gudehus (1975), S. B55.

Kommissionierungsganges mit einem zu entnehmenden Artikel kehrt er wieder zum Depot zurück (vgl. Abbildung 2.6b).⁶⁶

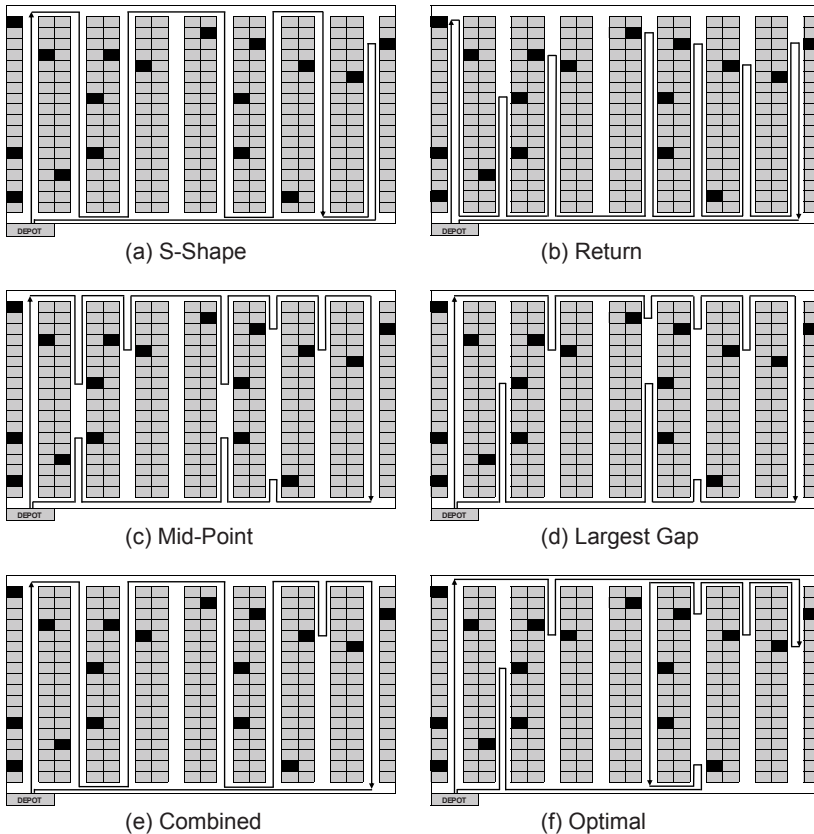


Abbildung 2.6: Kommissioniertouren für verschiedene Routingstrategien

Eine Erweiterung der Return-Strategie ist die Mid-Point-Strategie, bei der ein Kommissionierungsgang von beiden Quergängen aus betreten werden kann (vgl. Abbildung 2.6c). Hierzu wird das Lagerhaus auf halber Länge der Kommissionierungsgänge in eine obere und eine untere Hälfte geteilt. Alle Artikel werden nun mittels der Return-Strategie eingesammelt: die Artikel in der oberen Hälfte vom hinteren Quergang aus und alle Artikel in der unteren Hälfte vom vorderen Quergang aus.

⁶⁶ Vgl. Petersen (1997), S. 1100f.; Gudehus (2012b), S. 759.

Ausnahmen bilden lediglich der erste und der letzte zu besuchende Gang, da diese jeweils komplett durchquert werden müssen.⁶⁷

Eine Verbesserung der Mid-Point-Strategie ist die Largest Gap-Strategie, bei der die Kommissioniergänge ebenfalls von beiden Quergängen aus betreten werden können. Hierzu werden der erste und der letzte Kommissioniergang, aus denen Artikel zu entnehmen sind, wieder vollständig durchlaufen. Alle anderen Gänge werden jeweils nur als Stichgang vom unteren und/oder vom oberen Quergang betreten. Anders als bei der Mid-Point-Strategie werden die Wendepunkte in den inneren Kommissioniergängen nun aber so bestimmt, dass die nicht durchquerte Entfernung zwischen zwei Entnahmepunkten maximiert wird (vgl. Abbildung 2.6d).⁶⁸

Die Combined-Strategie ist eine Kombination aus S-Shape-Strategie und Return-Strategie, bei der jeder Kommissioniergang mit einem zu entnehmenden Artikel genau einmal betreten wird (vgl. Abbildung 2.6e). Die Entscheidung, ob die Kommissionierer einen Gang komplett durchlaufen oder nur als Stichgang betreten, wird mit Hilfe eines dynamischen Programmierungsansatzes gefällt.⁶⁹

Die optimale Lösung für das verwendete Tourenplanungsbeispiel ist in Abbildung 2.6f dargestellt. Hier zeigt sich noch einmal, dass der Algorithmus von Ratliff und Rosenthal (1983) verwinkelte und ggf. nur schwer nachvollziehbare Kommissioniertouren generiert, wohingegen die heuristischen Routingstrategien zu relativ einfachen und gut einprägsamen Touren führen.

In der industriellen Praxis dominieren die heuristischen Routingstrategien, insbesondere die S-Shape-Strategie.⁷⁰

2.3.3 Auftragsbildung (Order Batching)

Das dritte Teilproblem der Kommissionierung, welches den Untersuchungsschwerpunkt dieser Arbeit bildet, ist die Auftragsbildung, das sogenannte Order Batching. Darunter wird das Zusammenfassen (das „batching“) mehrerer Kundenaufträge zu Kommissionieraufträgen (den „Batches“) verstanden. Als Ziel wird die Minimierung der Gesamttourlänge verfolgt. Dem Zusammenfassen der

⁶⁷ Vgl. Hall (1993), S. 78f.

⁶⁸ Vgl. Hall (1993), S. 79f.

⁶⁹ Vgl. Roodbergen, de Koster (2001b), S. 1871f.

⁷⁰ Vgl. Dekker et al. (2004), S. 307; Albareda-Sambola et al. (2009), S. 667; Roodbergen, de Koster (2001a), S. 32.

Kundenaufträge sind allerdings Grenzen gesetzt, da die Kommissioniergeräte üblicherweise ein begrenztes Fassungsvermögen aufweisen. Das Auftragsbildungsproblem (das Order Batching-Problem) kann dementsprechend wie folgt formuliert werden:

Wie sollen gegebene Kundenaufträge – bei gegebener Artikelanordnung und festgelegter Kapazität des Kommissioniergerätes – zu Kommissionieraufträgen zusammengefasst werden, damit die zum Bearbeiten aller Kundenaufträge benötigte Gesamttourlänge minimiert werden kann?⁷¹

Dass ein gemeinsames Kommissionieren von Kundenaufträgen sinnvoll ist und die benötigten Tourlängen verkürzen kann, wird in Abbildung 2.7 verdeutlicht. Für die beispielhafte Darstellung wurden jeweils durch Anwendung der S-Shape-Strategie bestimmte Kommissioniertouren verwendet.

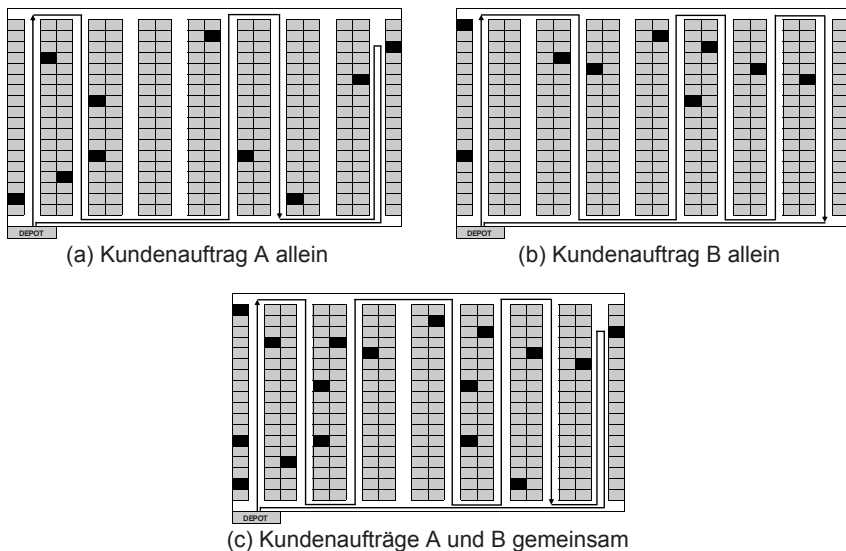


Abbildung 2.7: Verkürzung der Gesamttourlänge durch Order Batching

In Abbildung 2.7a und Abbildung 2.7b sind die entsprechenden Kommissioniertouren dargestellt, die sich ergeben, wenn zwei Kundenaufträge A und B jeweils separat kommissioniert werden (pick-by-order). In Abbildung 2.7c ist die resultierende Kommissioniertour für den Fall einer gemeinsamen Kommissionierung der beiden

⁷¹ Vgl. Wäscher (2004), S. 337.

Kundenaufträge (pick-by-batch) gezeigt. Die Länge der Kommissioniertour bei gemeinsamer Kommissionierung ist dabei kürzer als die Summe der Tourlängen der beiden separaten Kommissioniertouren. Dies veranschaulicht die Wegeinsparungen, die durch Order Batching erzielt werden können.

Basierend auf der Verfügbarkeit der Informationen über die Kundenaufträge können zwei Situationen unterschieden werden: das statische und das dynamische Order Batching. Beim *statischen Batching* sind die Anzahl der Kundenaufträge und ihre genaue Zusammensetzung vorab bekannt, beim *dynamischen Batching* ist zu Beginn dagegen nur eine Teilmenge der Kundenaufträge bekannt und alle weiteren gehen erst im Zeitverlauf im Lagerhaus ein.⁷²

Das Zusammenfassen von Kundenaufträgen kann nach zwei verschiedenen Prinzipien erfolgen: Im statischen Fall dominiert das *proximity batching*, bei dem die Aufträge anhand der Lagerplatzverteilung der betroffenen Artikel zusammengefasst werden, d. h. es werden die Kundenaufträge kombiniert, die viele identische Artikel besitzen oder deren Artikel im Lagerhaus nah beieinander angeordnet sind. Im dynamischen Fall wird üblicherweise das *time window batching* angewendet, bei dem die Ankunftszeitpunkte der Kundenaufträge im Lagerhaus für das Order Batching entscheidend sind, d. h. es werden die Kundenaufträge kombiniert, die zeitnah zueinander im Lagerhaus eingeht.⁷³ Das *time window batching* kann weiterhin in *variable time window batching* und *fixed time window batching* unterschieden werden. Beim *variable time window batching* wird ein neuer Kommissionierauftrag begonnen, sobald nach Auslösen des vorherigen Kommissionierauftrages eine festgelegte Anzahl an Kundenaufträgen im Lagerhaus eingetroffen ist, unabhängig von der dafür benötigten Zeit. Beim *fixed time window batching* wird ein Kommissionierauftrag dagegen gestartet, wenn seit dem Auslösen des vorherigen eine festgelegte Zeitspanne vergangen ist, unabhängig von der Anzahl der bis dahin eingetroffenen Kundenaufträge.⁷⁴

Weiterhin ist beim Order Batching festzulegen, wann die zu einem Kommissionierauftrag zusammengefassten Kundenaufträge wieder vereinzelt werden. Geschieht dies erst im Depot, also nach Abschluss der Kommissionierung,

⁷² Vgl. Yu, de Koster (2009), S. 481.

⁷³ Vgl. Choe, Sharp (1991), Abschnitt 4.2.

⁷⁴ Vgl. van Nieuwenhuysse, de Koster (2009), S. 655.

wird von einer *Pick-and-Sort-Strategie* gesprochen. Werden die Artikel dagegen bereits während des Kommissioniervorgangs auf die einzelnen Kundenaufträge verteilt, wird dies als *Sort-While-Pick-Strategie* bezeichnet.⁷⁵ Bei der ersten Variante ist die Kapazitätsauslastung der Kommissioniergeräte üblicherweise sehr hoch, bei der zweiten Variante wird dagegen der zusätzliche Sortieraufwand am Ende der Tour eingespart. Für die Sort-While-Pick-Strategie ist zu beachten, dass die Kommissioniergeräte technische Vorkehrungen (Trennwände oder verschiedene Behälter) besitzen müssen, damit die Kundenaufträge bereits im Kommissioniergerät voneinander separiert werden können.⁷⁶

Bei der Verteilung von Kundenaufträgen auf Kommissionieraufträge sind drei grundlegende Varianten möglich: ein Kundenauftrag kann auf mehrere Kommissionieraufträge verteilt werden, ein Kundenauftrag ist identisch mit einem Kommissionierauftrag oder mehrere Kundenaufträge werden zu einem Kommissionierauftrag zusammengefasst.⁷⁷ Der erste Fall wird dabei oft ausgeschlossen, um die zusätzlichen Sortierprozesse im Anschluss an die Kommissionierung zu vermeiden.⁷⁸ Dies bedeutet, dass ein Kundenauftrag immer eindeutig einem Kommissionierauftrag zugeordnet sein muss. Folglich darf kein Kundenauftrag größer als die Kapazität der Kommissioniergeräte sein. In dem Fall, dass ein Kundenauftrag doch die Kapazitätsgrenze überschreitet, muss er in zwei oder mehrere separate Kundenaufträge geteilt werden.⁷⁹

Die Kapazität der Kommissioniergeräte kann dabei in zwei unterschiedlichen Einheiten gemessen werden. In einigen Studien wird die Kapazität in Aufträgen gemessen, d. h. ein Kommissioniergerät kann nur eine begrenzte Anzahl von Kundenaufträgen fassen, unabhängig von der Größe dieser Aufträge.⁸⁰ In der Mehrzahl der Studien wird die Kapazität dagegen in Artikeln gemessen, d. h. ein Kommissioniergerät kann nur eine begrenzte Anzahl an Artikeln fassen, unabhängig davon, wie viele Aufträge dahinterstehen.⁸¹

⁷⁵ Vgl. Rouwenhorst et al. (2000), S. 518.

⁷⁶ Vgl. Gademann, van de Velde (2005), S. 63.

⁷⁷ Vgl. Dörner et al. (2004), S. 49.

⁷⁸ Vgl. Gibson, Sharp (1992), S. 58f.

⁷⁹ Vgl. Albareda-Sambola et al. (2009), S. 658.

⁸⁰ Vgl. Gademann et al. (2001), S. 386; Gademann, van de Velde (2005), S. 65.

⁸¹ Vgl. de Koster et al. (1999b), S. 1482; Albareda-Sambola et al. (2009), S. 661; Henn et al. (2010), S. 91; Hsieh, Huang (2011), S. 623.

Die drei beschriebenen operativen Planungsprobleme sind interdependent, was grundsätzlich eine simultane Lösung der Teilprobleme notwendig machen würde.⁸² Bislang gibt es aber in der Literatur keinen solchen Lösungsansatz für alle drei Planungsprobleme. Stattdessen werden die drei Teilprobleme üblicherweise sukzessiv gelöst.

2.4 Zusammenfassung: Grundlagen der Kommissionierung

Die vorausgegangenen Darstellungen haben verdeutlicht, dass es sowohl bei der Ausgestaltung der Systemcharakteristika von Kommissioniersystemen als auch bei der Lösung der operativen Planungsprobleme bestimmte Freiheitsgrade und verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten gibt. In der folgenden Abbildung 2.8 sind die wesentlichen Gestaltungsmöglichkeiten von Kommissioniersystemen und ihre Ausprägungsmerkmale zusammenfassend dargestellt. Hervorgehoben sind jeweils die Merkmale, die das für den weiteren Verlauf der Arbeit zugrundegelegte Kommissioniersystem charakterisieren.

In der oberen Hälfte der Abbildung sind die Kriterien Automatisierungsgrad, Informationsbereitstellung und Lagerhauslayout abgetragen. Hinsichtlich des Automatisierungsgrades wird im Folgenden ein manuelles Person-zur-Ware-Kommissioniersystem mit low-level picking betrachtet. Es erscheint sinnvoll, sich auf diese Art des Kommissioniersystems zu konzentrieren, da mehr als 80 % der Lagerhäuser in Westeuropa nach diesem Prinzip aufgebaut sind.⁸³ In Bezug auf die Informationsbereitstellung wird in dieser Arbeit der statische Fall zu Grunde gelegt, bei dem vollständige Informationen über die Kundenaufträge existieren – die Anzahl der Kundenaufträge und ihre genaue Zusammensetzung sind folglich vorab bekannt. Dementsprechend erfolgt das Order Batching nach dem Prinzip des proximity batchings. Als Lagerhauslayout findet ein Ein-Block-Layout Berücksichtigung, wie es in Abbildung 2.3 dargestellt ist.

⁸² Vgl. Koch, Wäscher (2008), S. 389.

⁸³ Vgl. de Koster et al. (2007), S. 485.

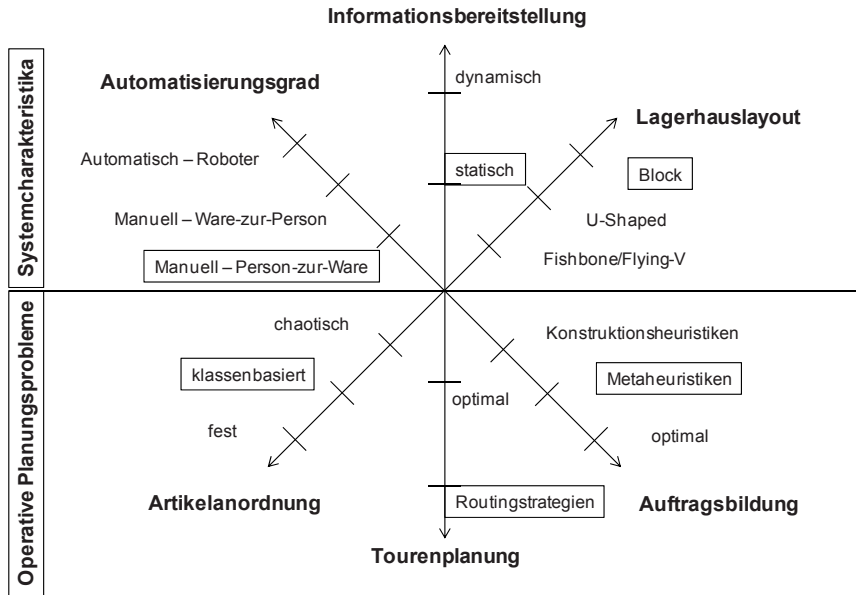


Abbildung 2.8: Einordnung des Dissertationsthemas in die Systemcharakteristika und die operativen Planungsprobleme der Kommissionierung⁸⁴

In der unteren Hälfte der Abbildung sind die drei vorgestellten operativen Planungsprobleme der Kommissionierung, nämlich Artikelanordnung, Tourenplanung und Auftragsbildung jeweils mit verschiedenen Lösungsansätzen aufgeführt. Hinsichtlich der Artikelanordnung wird eine klassenbasierte Artikelanordnung unterstellt, bei der die Klasseneinteilung anhand der Nachfrageintensität der Artikel durchgeführt wird. Die Lösung des Tourenplanungsproblems erfolgt in dieser Arbeit heuristisch mit Hilfe verschiedener Routingstrategien. Die Konzentration auf Routingstrategien entspricht dabei sowohl der üblichen Annahme in wissenschaftlichen Untersuchungen als auch dem Stand der Technik in der Praxis.⁸⁵

Der Fokus dieser Arbeit liegt im Weiteren auf der Entwicklung neuer Lösungsverfahren für das Order Batching-Problem. Dieses Problem wurde ausgewählt, da es sich als besonders bedeutsam für eine effiziente Kommissionierung herausgestellt

⁸⁴ In Anlehnung an Goetschalckx, Ashayeri (1989), S. 102.

⁸⁵ Vgl. Roodbergen, de Koster (2001a), S. 32; Dekker et al. (2004), S. 303; Albareda-Sambola et al. (2009), S. 667.

hat⁸⁶ und von allen drei operativen Planungsproblemen den größten Einfluss auf die Kommissionierung besitzt.⁸⁷ Eine optimierte Auftragsbildung trägt entscheidend zur Verringerung der Kommissioniertourlängen bei, was wiederum – wie bereits beschrieben – eine direkte Auswirkung auf die operativen Kosten der Kommissionierung und den Kundenservice hat.⁸⁸

Im folgenden Kapitel 3 wird zunächst der Stand der Technik hinsichtlich verschiedener Lösungsansätze für das Order Batching-Problem beschrieben, bevor anschließend neue Lösungsverfahren präsentiert werden.

⁸⁶ Vgl. de Koster et al. (1999a), S. 233; Hsieh, Huang (2011), S. 618.

⁸⁷ Vgl. Petersen, Aase (2004), S. 19; Dukic, Oluic (2007), S. 459.

⁸⁸ Vgl. Henn et al. (2010), S. 83.

Genetische Algorithmen für das Order
Batching-Problem in manuellen Kommissioniersystemen

Koch, S.

2014, XXV, 191 S. 54 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-05345-1