

**Jochen Deuse (Hrsg.)**

**Philipp Scholl**

## **Skalierbare Kommissioniersysteme**

**Entwicklung eines Instrumentariums zur Auswahl eines kostenoptimalen skalierbaren Kommissioniersystems unter Berücksichtigung prognostizierter Auslastungsschwankungen**

Ein aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



gefördertes Forschungsvorhaben

## Durchführende Forschungsstelle

Forschungsstelle:

Lehrstuhl für Arbeits- und  
Produktionssysteme  
Leonhard-Euler-Straße 5  
44227 Dortmund

Leiter der Forschungsstelle:

Prof. Dr.-Ing. J. Deuse

Projektleiter:

Dipl.-Ing. Philipp Scholl  
Telefon: 0231-755-5767  
Fax: 0231-755-2649

Förderhinweis:

Das Forschungsvorhaben (Forschungsvorhaben Nr.: 15359 N) ist aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. gefördert worden.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Kommissioniersysteme im Unternehmensumfeld.....	2
1.2	Struktur und Folgen von Nachfrageschwankungen und Markt.....	6
1.3	Aufbau des Berichts .....	10
2	Aufgabe im Forschungsvorhaben .....	12
2.1	Herausforderungen an Kommissioniersysteme und Ableitung eines Lösungsansatzes .....	12
2.2	Ziel des Forschungsvorhaben .....	18
3	Grundlagen der Kommissioniersystem-, Flexibilitäts- und Kapazitätsplanung	19
3.1	Grundlagen von Kommissioniersystemen.....	19
3.2	Ansätze zur Flexibilitätsplanung .....	35
3.3	Kapazitätsplanung .....	42
3.4	Zusammenfassende Darstellung und Bewertungsschema für Flexibilitätspotenziale .....	48
4	Bewertung des Flexibilitätspotenzials in konventionellen Kommissioniersystemen .....	51
4.1	Kapazitätsbelastungsrechnung in Kommissioniersystemen.....	52
4.2	Flexibilitätspotenziale in konventionellen Kommissioniersystemen .....	64
4.3	Zusammenfassende Betrachtung der Flexibilitätspotenziale .....	75
5	Kommissioniersysteme als Entscheidungsmodell .....	76
5.1	Grundlagen der Dynamischen Optimierung.....	77
5.2	Formale Beschreibung der Dynamischen Optimierung .....	78
5.3	Beispiel: Flexible Personalkapazität .....	81
5.4	Konzept des Entscheidungsmodells für konventionelle Kommissioniersysteme .....	89
6	Entwickelte Software .....	94
6.1	Eingesetzte Programmierwerkzeuge .....	94
6.2	Anwendung der Software .....	94
6.3	Praxisbeispiel.....	99
7	Zusammenfassung.....	107

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteil der Logistikkosten an den Gesamtkosten in Unternehmen.....	4
Abbildung 2: Betriebskosten in Lager- und Warenverteilsystemen .....	5
Abbildung 3: Charakterisierung von Absatzveränderungen .....	7
Abbildung 4: Komponenten einer Zeitreihe .....	8
Abbildung 5: Aufbau des Berichts .....	11
Abbildung 6: Schwankender Auftragseingang (Realdaten).....	13
Abbildung 7: Schematische Darstellung des exemp. Entscheidungsproblems.....	16
Abbildung 8: Planungssituation .....	17
Abbildung 9: Zuordnung zentraler Begriffe des Kommissionierens .....	20
Abbildung 10: Morphologischer Kasten Materialflusssystem .....	24
Abbildung 11: Systematik verschiedener Ablauforganisationsformen beim Kommissionieren .....	26
Abbildung 12: Morphologischer Kasten Organisationssystem .....	27
Abbildung 13: Morphologischer Kasten Informationssystem .....	28
Abbildung 14: Einflussgrößen auf Kommissioniersysteme.....	29
Abbildung 15: Strukturbaum Materialfluss .....	30
Abbildung 16: Typischer Aufbau eines konventionellen Kommissioniersystems ....	32
Abbildung 17: Kommissionieren in der Logistischen Kette.....	34
Abbildung 18: Beeinflussung der spezifischen Kommissionierkosten durch gezielte Nutzung von Anpassungsmaßnahmen .....	38
Abbildung 19: Kapazitätsabgleich .....	45
Abbildung 20: Maßnahmen zur Kapazitätsabstimmung.....	46
Abbildung 21: Formen der Kapazitätsabstimmung .....	48
Abbildung 22: Bewertung von Anpassungsmaßnahmen .....	50
Abbildung 23: Elemente von Kommissioniersystemen.....	51
Abbildung 24: Zeitarten und Kommissionierprozesse.....	55
Abbildung 25: Wegstrategien .....	57
Abbildung 26: Bezeichnungen in konventionellen Kommissioniersystemen. ....	58
Abbildung 27: Vorgehen zur Berechnung des Kapazitätsbedarfs .....	60
Abbildung 28: Bildung eines Sammelauftrags .....	62
Abbildung 29: Bildung von Auftragsklassen .....	63
Abbildung 30: Fachbodenregalmodul der Firma Schulte Lagertechnik .....	65
Abbildung 31: Handwagen in der Kommissionierung. Beispiel bei Stapels .....	67
Abbildung 32: Qualifikationen von Mitarbeitern .....	71
Abbildung 33: Übersicht über die analysierten Flexibilitätspotenziale .....	75
Abbildung 34: Entwicklung des Entscheidungsmodells.....	76
Abbildung 35: Zeitliche Stufenstruktur eines diskret deterministischen Modells .....	78

Abbildung 36: Baum zulässiger Entscheidungen mit $k = 1 \dots, n$ und $n = 3$ .....	80
Abbildung 37: Ausgangssituation zu Planungsbeginn.....	82
Abbildung 38: Systemzustände und Entscheidungsmengen für die Planung der Personalstärke. ....	85
Abbildung 39: Optimale Entscheidungen .....	88
Abbildung 40: Kostenverlauf der optimalen Strategie.....	89
Abbildung 41: Systemspezifische Kommissionierdauer in Abhängigkeit von der Anzahl Positionen .....	90
Abbildung 42: Periodenbezogener Kapazitätsbedarf.....	91
Abbildung 43: Startbildschirm und Eingabemaske.....	95
Abbildung 44: Leistungsbestimmende Parameter des Kommissioniersystems.....	96
Abbildung 45: Auftragsdaten .....	96
Abbildung 46: Entscheidungsmodell für Kommissioniersysteme .....	97
Abbildung 47: Zulässige Zustände und Entscheidungen als Graph.....	98
Abbildung 48: Visualisierung der optimalen Strategie .....	98
Abbildung 49: Typischer Auftragsverlauf über eine Woche im Beispieluntern.....	99
Abbildung 50: Layout im Beispielunternehmen .....	100
Abbildung 51: Szenarien im Praxisbeispiel .....	103
Abbildung 52: Optimale Strategien der Experimente .....	104

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schema zur Beschreibung von Flexibilitatspotenzialen .....	49
Tabelle 2: Zeitanteile an der Kommissionierzeit .....	53
Tabelle 3: Bewertung des Flexibilitatspotenzials von Kommissionierauftragen.....	64
Tabelle 4: Bewertung des Flexibilitatspotenzials des Kommissionierlagers .....	67
Tabelle 5: Richtwerte zu Arbeitsgangbreiten.....	69
Tabelle 6: Bewertung des Flexibilitatspotenzials des Transportmittels.....	70
Tabelle 7: Bewertung des Flexibilitatspotenzials des Menschen.....	74
Tabelle 8: Kommissioniersysteme als Entscheidungsproblem modellieren .....	80
Tabelle 9: Einstellungskosten .....	82
Tabelle 10: Berechnung der optimalen Entscheidung fur $k = 3$ .....	86
Tabelle 11: Berechnung der optimalen Entscheidung fur $k = 2$ .....	87
Tabelle 12: Berechnung der optimalen Entscheidung fur $k = 1$ .....	88
Tabelle 13: Wichtige Randbedingungen im untersuchten Kommissioniersystem ..	101
Tabelle 14: Experimente zur Anwendung der Software .....	102
Tabelle 15: Untersuchte Kapazitatsbedarfsverlaufe.....	103
Tabelle 16: Auswertung der Experimente.....	105
Tabelle 17: Differenz zwischen den beiden optimalen Strategien.....	106

# 1 Einleitung

Zur wettbewerbsfähigen Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte in Deutschland sind kleine Losgrößen und kurze Durchlaufzeiten in der Leistungserstellung wesentliche Voraussetzungen (Deuse et al. 2007b, S. 291). Beide Faktoren zusammen steigern die Komplexität und die wirtschaftliche Bedeutung von Logistikprozessen in Unternehmen. Ein wirtschaftlicher und effizienter Materialfluss entlang der Wertschöpfungskette – innerhalb des Unternehmens und innerhalb der gesamten Supply Chain – ist für viele Produkte von wettbewerbsentscheidender Bedeutung. Das grundsätzliche Problem in der Gestaltung betrieblicher Systeme ist, dass die Anforderungen von Unternehmen oder Personen sich in Form von Nachfrageschwankungen verändern und zu keinem Zeitpunkt vollständig vorhergesehen werden können. Flexibilität erlaubt es Unternehmen, sich an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen anzupassen. Dazu müssen sowohl für den Betriebsmitteleinsatz als auch für die Personaleinsatzplanung Instrumente verfügbar sein, um auf Veränderungen zielgerichtet reagieren zu können (Deuse et al. 2007a, S. 286).

Für Unternehmen ist es erforderlich, die Logistikprozesse konsequent an den Anforderungen der Kunden auszurichten. Dieses gilt sowohl für produzierende Unternehmen als auch für Logistikdienstleister (vgl. Bauer 2008, S. 262; Droste et al. 2008, S. 594). Um die Anforderungen nach kürzeren Durchlaufzeiten und geringeren Losgrößen zu erfüllen, organisieren immer mehr produzierende Unternehmen ihre Produktion nach den Prinzipien der schlanken Produktion und verwenden unter anderem Kanban-Systeme oder Just-in-Sequence Konzepte zur Materialversorgung von Montagearbeitsplätzen. Die Folge für die innerbetriebliche Logistik sind höhere Umschlagsleistungen bei kürzeren Reaktionszeiten (vgl. Warmbold 2009, S. 58). Die Bedeutung der Kommissionierung steigt damit auch in der Produktionslogistik (vgl. Leinhäuser et al. 2008).

Die Gestaltung von Kommissioniersystemen ist die schwierigste Aufgabe der innerbetrieblichen Logistik (Gudehus 2005, S. 685). In Abhängigkeit der Branche weisen die Anforderungen an Kommissioniersysteme deutliche Unterschiede hinsichtlich zu erbringender Leistung, Auftragsdurchlaufzeit, Reaktionszeit, Flexibilität, Qualität und sonstiger Serviceleistungen auf (ten Hompel et al. 2007, S. 252; Potyka 1994, S. 44). Neben den typischen Einsatzgebieten von Kommissioniersystemen im Versandhandel, mit der auftragsbezogenen Zusammenstellung individueller Warensendungen und einem umfangreichen Warensortiment, werden Kommissioniersysteme auch in produzierenden Unternehmen eingesetzt. Damit werden

Kommissioniertätigkeiten in fast jedem Betrieb und fast jeder Branche durchgeführt (Arnold, Furmans 2005, S. 212; Heinz, Wichmann 1992, S. 6).

Das vorliegende Forschungsvorhaben konzentriert sich auf Kommissioniersysteme in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Gedanklicher Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit ist das Erfordernis das (kostenverursachende) Kapazitätsangebot in Kommissioniersystemen schnell und wirtschaftlich an Bedarfsveränderungen seitens des externen oder internen Kunden (Produktion) anpassen zu können. Das Ziel ist es beschäftigungsabhängige spezifische Kommissionierkosten. Die spezifischen Kommissionierkosten entsprechen den Stückkosten in der Produktion.

Das vorliegende Forschungsvorhaben konzentriert sich auf die Identifizierung und Nutzung von Flexibilitätspotenzialen in Kommissioniersystemen. Gelingt es, Kommissioniersysteme erstens wirtschaftlich zu betreiben und zweitens kostengünstig an Bedarfsschwankungen anzupassen, wird ein Beitrag geleistet, die Durchlaufzeit in der Leistungserstellung innerhalb der Supply Chain zu reduzieren und gleichzeitig die Kosten zu senken.

Im Rahmen der Einleitung erfolgt in den nächsten beiden Kapiteln 1.1 und 1.2 eine Vertiefung der skizzierten Ausgangssituation für das Forschungsprojekt. Zum Einen wird die Bedeutung des wirtschaftlichen Kommissionierens für Unternehmen vorgestellt (Kapitel 1.1) und zum Anderen die Folgen von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen diskutiert (Kapitel 1.2). In Kapitel 1.3 wird der Aufbau des Berichts beschrieben.

## **1.1 Kommissioniersysteme im Unternehmensumfeld**

Dieses Kapitel skizziert die Bedeutung der Kommissionierung aus Sicht der Unternehmen und beschreibt die Randbedingungen zur Planung und den Betrieb von Kommissioniersystemen in kleinen und mittleren Unternehmen.

### **1.1.1 Kommissioniersysteme als unternehmerischer Erfolgsfaktor**

Unerwartete Nachfrageschwankungen der Absatzmenge gehören zu den Geschäftsrisiken einer Unternehmung (Fricke 2006, S. 10). Verursacht werden die Absatzveränderungen durch das Kundenkaufverhalten und die schnellen Veränderungen des Sortiments (Verkürzung der Produktlebenszyklen und zunehmende Produktvarianz). Unternehmen werden so vor neue Herausforderungen gestellt. Innerhalb kürzester (Liefer-) Zeit müssen Kundenaufträge bei hohem Servicegrad erfüllt werden. Folglich kann das Unternehmen nur sehr kurzfristig auf Änderungen reagieren. Beispielsweise beträgt im Bereich der IT-Distribution der Anteil am Tagesgeschäft 80 % - 90 % des Gesamtauftragsvolumens eines Arbeitstags (A.S. 2009). Gleichzei-

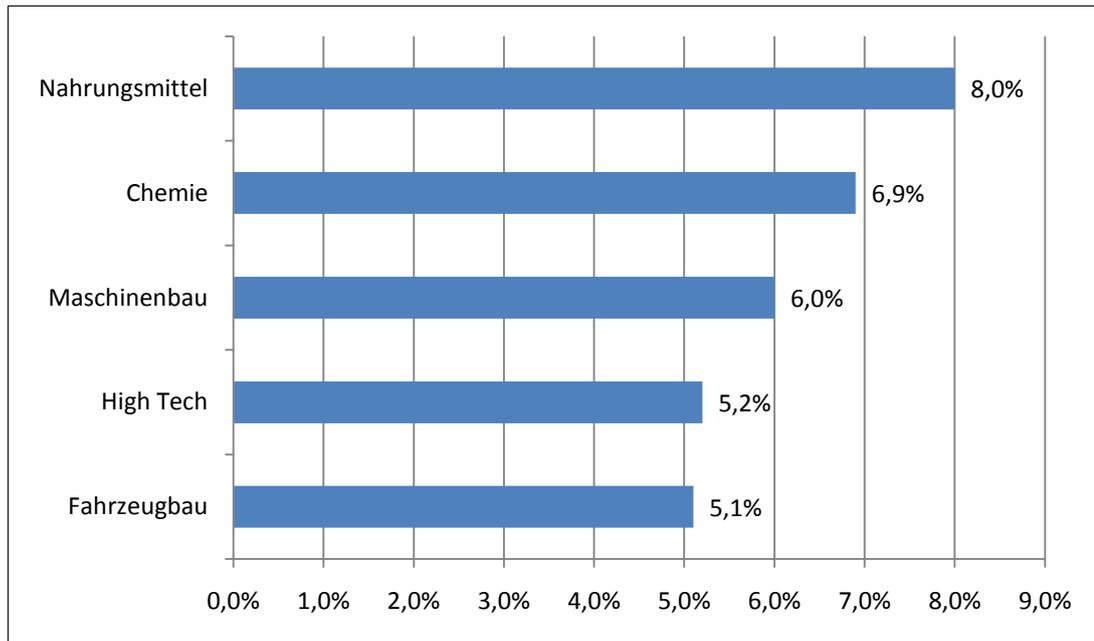
tig sind die Schwankungen derart stark, dass die Marktnachfrage kaum noch vorhergesehen werden kann.

Entwickelt ein Unternehmen die Fähigkeiten, über alle Unternehmensbereiche hinweg wirtschaftlich und schnell auf Marktveränderungen zu reagieren, erlangt es gegenüber seinen Wettbewerbern einen Vorteil. Allgemein gilt, dass die Differenzierung im Wettbewerb über Kosten nur zu einem kurzfristigen Erfolg führt, langfristig setzt sich die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens auf die veränderte Kundennachfrage als Erfolgsfaktor durch (Christopher, Towill 2002; ten Hompel 2008, S. 18).

Unternehmen robust gegenüber Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen einzustellen erfordert eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung von Handlungsmaßnahmen, ausgehend von jedem Unternehmensbereich, über die verschiedenen Unternehmensteile bis hin zu einer unternehmensübergreifenden Betrachtung (Yusuf et al. 1999, S. 37).

Heutzutage ist die Logistik eine der bedeutendsten wettbewerbsentscheidenden Variablen in Unternehmen (Hanssmann 1990, S. 255). Die Logistikziele zur Verbesserung der Servicequalität, Zuverlässigkeit, Reaktionsfähigkeit und Flexibilität rücken zunehmend in den Fokus der Unternehmensführung. Über viele Branchen hinweg ist deutlich zu erkennen, dass die Befriedigung der Kundenbedürfnisse, und damit ein zuverlässiges und reaktionsfähiges Logistiksystem, ein Kernziel der strategischen Unternehmensausrichtung geworden ist (Schulte 2005, S. 29).

Die Optimierung logistischer Zielgrößen im Einklang mit der Unternehmensstrategie bietet Potenziale zur Kostenreduzierung und Leistungsverbesserung, um die übergeordnete Unternehmensstrategie gezielt zu unterstützen (Jünemann 1989, S. 80; Schulte 2005, S. 29; Weber 2002, S. 29). Für kurze Auftragsdurchlaufzeiten, von der Bestellauslösung bis zur Auslieferung der Ware an den Kunden, bilden effiziente Logistiksysteme eine wichtige Säule des Unternehmenserfolges. Die Beherrschung der Logistikkosten ist ein notwendiger Faktor, um im alltäglichen Wettbewerb bestehen zu können (Straube, Pfohl 2008, S. 2). Die Höhe der Logistikkosten, gemessen an den Gesamtkosten, beträgt je nach Branche 5 % - 8 % (Straube, Pfohl 2008) (s. Abbildung 1). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch Frazelle (s. Frazelle 2001, S. 51).



**Abbildung 1: Anteil der Logistikkosten an den Gesamtkosten in Unternehmen (Straube, Pfohl 2008)**

Die verschiedenen in der Logistik eingesetzten Instrumente wie Supply Chain Management, Efficient Customer Response und Just-in-Sequence Konzepte führen zu einer steigenden Bedeutung von Lager- und Warenverteilsystemen (Frazelle 2001, S. 1). Die größte Herausforderung in Lager- und Warenverteilsystemen ist neben der Reduzierung der Bestände im Lager, der Verkürzung der Durchlaufzeit, der Minimierung der Kommissionierfehler vor allem der wirtschaftliche Betrieb des Kommissioniersystems (Frazelle 2001, S. 3).

Das Kommissioniersystem ist das logistische Schlüsselsystem in den Lager- und Warenverteilsystemen, welches maßgeblich die marktgerechte und an den Erwartungen des Kunden orientierte Versorgung sicherstellt. Es bildet im Warenfluss das Bindeglied zwischen dem Produzenten und dem Endverbraucher. Nicht-Verfügbarkeiten von Artikeln aus Sicht des Kunden (Stock-out oder zu lange Lieferzeiten) führen unmittelbar zu einem entgangenen Geschäft, dessen Umsatz nicht nachgeholt werden kann (Mason-Jones et al. 2000). ten Hompel beschreibt Kommissioniersysteme als die Kernelemente des Materialflusses (ten Hompel 2008, S. 1).

Vor diesem Hintergrund wächst die Bedeutung, effiziente Kommissioniersysteme zu gestalten und zu betreiben, die sich nahtlos in die Unternehmensaufbau- und -ablaufstruktur integrieren. Das Kommissionieren muss schnell, zuverlässig und zu möglichst geringen Kosten erfolgen. Die Bedeutung des wirtschaftlichen Betriebs in Kommissioniersystemen ist gekennzeichnet durch den hohen Kostenanteil, den das Kommissioniersystem innerhalb eines Lager- und Warenverteilsystems verursacht. Der exakte Anteil der Kommissionierkosten an den Logistikkosten ist über mehrere

Unternehmen hinweg jedoch nicht vergleichbar, da die Erfassung der Logistikkosten nicht einheitlich definiert ist (Weber 2002, S. 102). Für Lager- und Warenverteilsysteme ermittelt Frazelle die in Abbildung 2 dargestellte Kostenverteilung. Gründe für die hohen Kosten in der Kommissionierung liegen in den kapitalintensiven Ressourcen (Anlagen, Gebäude, Fläche), dem hohen Aufwand für den Personaleinsatz und dem hohen Aufwand für Material- und Informationshandhabung (Frazelle 2001, S. 148).

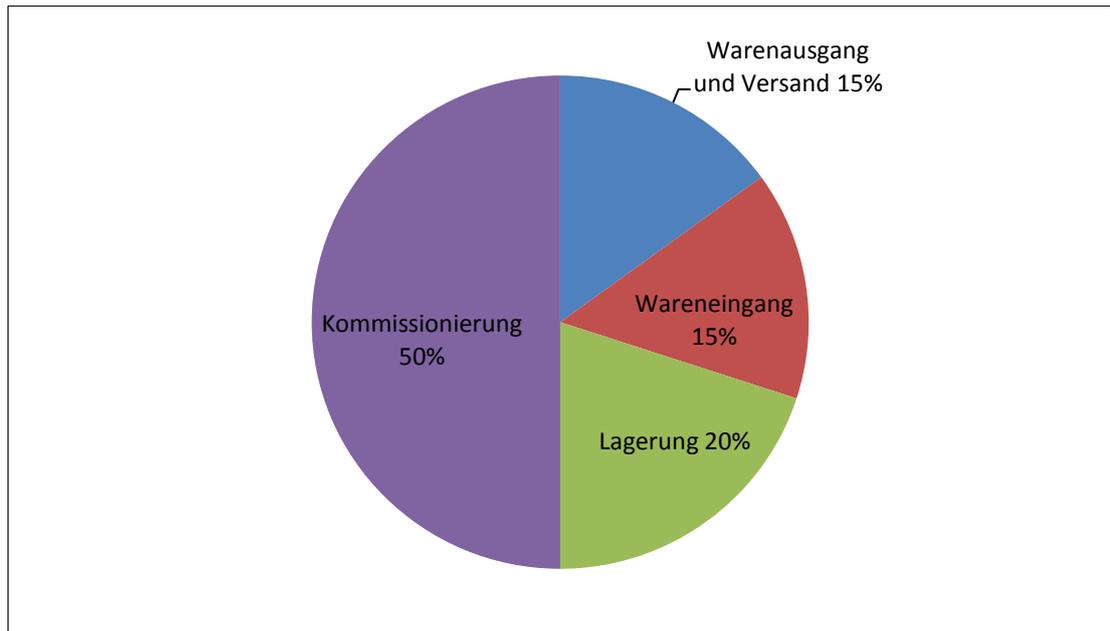


Abbildung 2: Betriebskosten in Lager- und Warenverteilsystemen (Frazelle 2001, S. 148)

### 1.1.2 Logistikplanung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)

Die meisten KMU haben die Bedeutung der Logistik als Wettbewerbsfaktor erkannt. Es fehlt allerdings häufig die Verankerung der Logistikkompetenz in der Aufbaustruktur. In der Regel verfügen KMU nicht über eine eigene Logistikabteilung. Vorhandene Logistikabteilungen konzentrieren sich auf operative Materialflussaufgaben. Entsprechend findet eine systematische Planung und Koordination von Logistikaktivitäten in der Regel nur auf operativer Handlungsebene statt (Pfohl 2006a, S. 269). Eine strategische oder ganzheitliche Logistikplanung wird in KMU selten durchgeführt. Geringe zeitliche, finanzielle und personelle Ressourcen zwingen KMU dazu, übergeordneten Steuerungs- und Planungsaktivitäten ohne unmittelbaren Beitrag zur Wertschöpfung wenig Aufmerksamkeit zu widmen. Die Ressourcen sind weitgehend durch das Tagesgeschäft erschöpft (Pfohl 2006c).

Umfragen zeigen, dass in KMU überwiegend konventionelle Kommissioniersysteme zum Einsatz kommen. In konventionellen Kommissioniersystemen findet eine statische Bereitstellung der Waren statt. Die Entnahme erfolgt manuell (s. Kapitel 3.1.4). Die eingesetzten Kommissioniersysteme sind durch einen geringen Grad an Automa-

tisierung gekennzeichnet. Automatisierte Kommissionierlösungen können in der Regel nicht wirtschaftlich betrieben werden. Logistische Tätigkeiten werden manuell oder teilmechanisiert ausgeführt. Gründe hierfür sind einerseits die hohen sensorischen Fähigkeiten, die Bewegungsgeschwindigkeit und die kurzen Greifzeiten des Menschen und andererseits die schnelle quantitative Anpassungsfähigkeit der Personalkapazität (vgl. (Goldscheid 2008, S. 23). Aus dem manuellen Kommissionieren resultiert ein hoher Personalbedarf (Pfohl 2006b, S. 271–273).

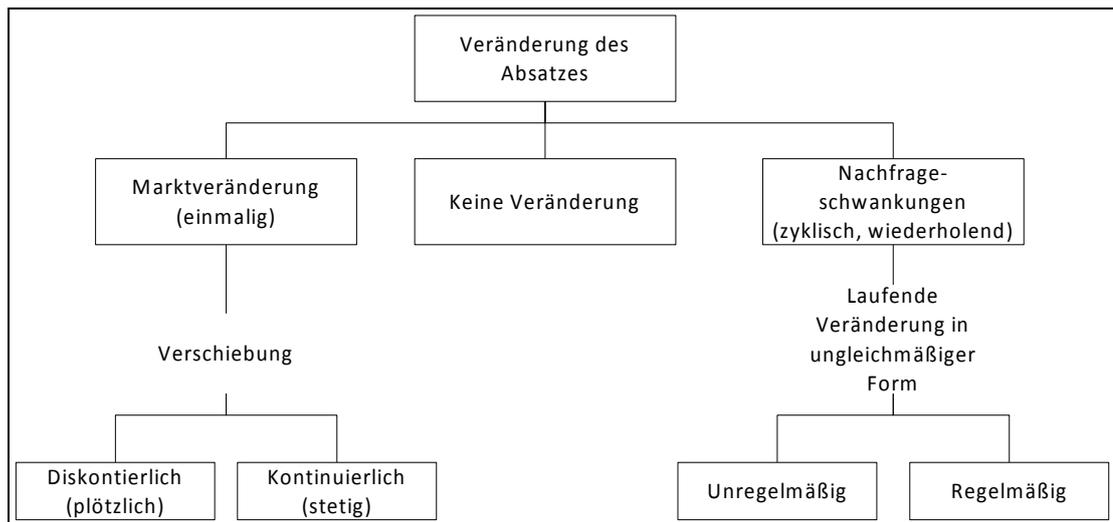
Da trotz der gegebenen Randbedingungen Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen auf KMU (wie auch auf größere Unternehmen) wirken, benötigen KMU Hilfsmittel, um den flexiblen und wirtschaftlichen Betrieb von Kommissioniersystemen bei Auslastungsschwankungen und Marktveränderungen sicherzustellen.

## **1.2 Struktur und Folgen von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen**

Ausgangspunkt für den Forschungsansatz sind Marktveränderungen und Nachfrageschwankungen. Dieses Kapitel charakterisiert beide Begriffe und stellt kostenseitig die Folgen dar.

### **1.2.1 Formen von Absatzveränderungen**

Auf jedes Unternehmen wirken unterschiedliche Formen von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. Die Ursachen können vielfältig sein und sind nicht immer klar erkennbar. Die Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen stellen auch Kommissioniersysteme vor immer neue Herausforderungen hinsichtlich Durchlaufzeit und Reaktionsgeschwindigkeit bei hoher Artikelverfügbarkeit (Deutsche Logistik Akademie gGmbH 2008). Zum besseren Verständnis des Absatzverhaltens entwickelt Krüger eine Beschreibungssystematik für Absatzverläufe (Krüger 2004, S. 18). Demnach lassen sich Absatzveränderungen in einmalige und schwankende Veränderungen unterscheiden (s. Abbildung 3). Einmalige Veränderungen (Marktveränderungen) resultieren aus einer Verschiebung der Marktnachfrage. Die Verschiebung kann unvorhersehbar oder kontinuierlich erfolgen (zum Beispiel Trendverlauf). Schwankende Nachfrageveränderungen verfügen über einen zyklischen und sich wiederholenden Charakter (Nachfrageschwankungen). Die Veränderungen sind unregelmäßig oder regelmäßig (zum Beispiel saisonaler Verlauf).



**Abbildung 3: Charakterisierung von Absatzveränderungen (in Anlehnung an Krüger 2004, S. 19)**

Unabhängig von der Art der Nachfrageschwankung und Marktveränderung können die Absatzveränderungen nach Höhe und Fristigkeit unterschieden werden. Während die Höhe der Schwankung einen absoluten Wert annimmt, wird die Fristigkeit unterschieden in kurz, mittel und lang. Zur systematischen Analyse des Absatzverhaltens, werden die Absatzzahlen (Wert  $r$ ) in zeitlich geordneter Reihenfolge in einem Diagramm dargestellt und die Zeitreihenanalyse qualitativ und quantitativ beschrieben. Den Analyseansatz bildet die additive Zeitreihenzerlegung. Komponenten der Zeitreihe sind Trend, Konjunktur, Saison und Zufallsabweichungen (s. Abbildung 4) (Mosler, Schmid 2004, S. 202; Chatfield 1982, S. 15). Der Trend ist eine langfristig steigende oder fallende Entwicklung. Die Konjunkturkomponente beschreibt zyklische Veränderungen, wobei die Länge eines Konjunkturzyklus größer ist als der betrachtete Zeitraum. Dieses Merkmal unterscheidet den Konjunkturzyklus von einem saisonalen Verlauf. Saisonale Anteile treten regelmäßig auf. Nicht erklärbare Schwankungsanteile werden in der Zufallskomponente zusammengefasst (Zufallsabweichungen). Die allgemeine Form des Komponentenmodells lautet für die Absatzzahlen  $r_k$  mit  $k = 1, \dots, T$  der Zeitreihe:

$$r_k = \text{Trend}_k + \text{Konjunktur}_k + \text{Saison}_k + \text{Zufall}_k$$

Die Zerlegung der Zeitreihe in einzelne Komponenten ermöglicht, systematische Aussagen über die Fristigkeit (kurz-, mittel-, langfristig) und über die Höhe der Absatzveränderung zu treffen. Die zukünftige Entwicklung der betrachteten Werte  $r$  kann darüber hinaus differenziert abgeschätzt werden.

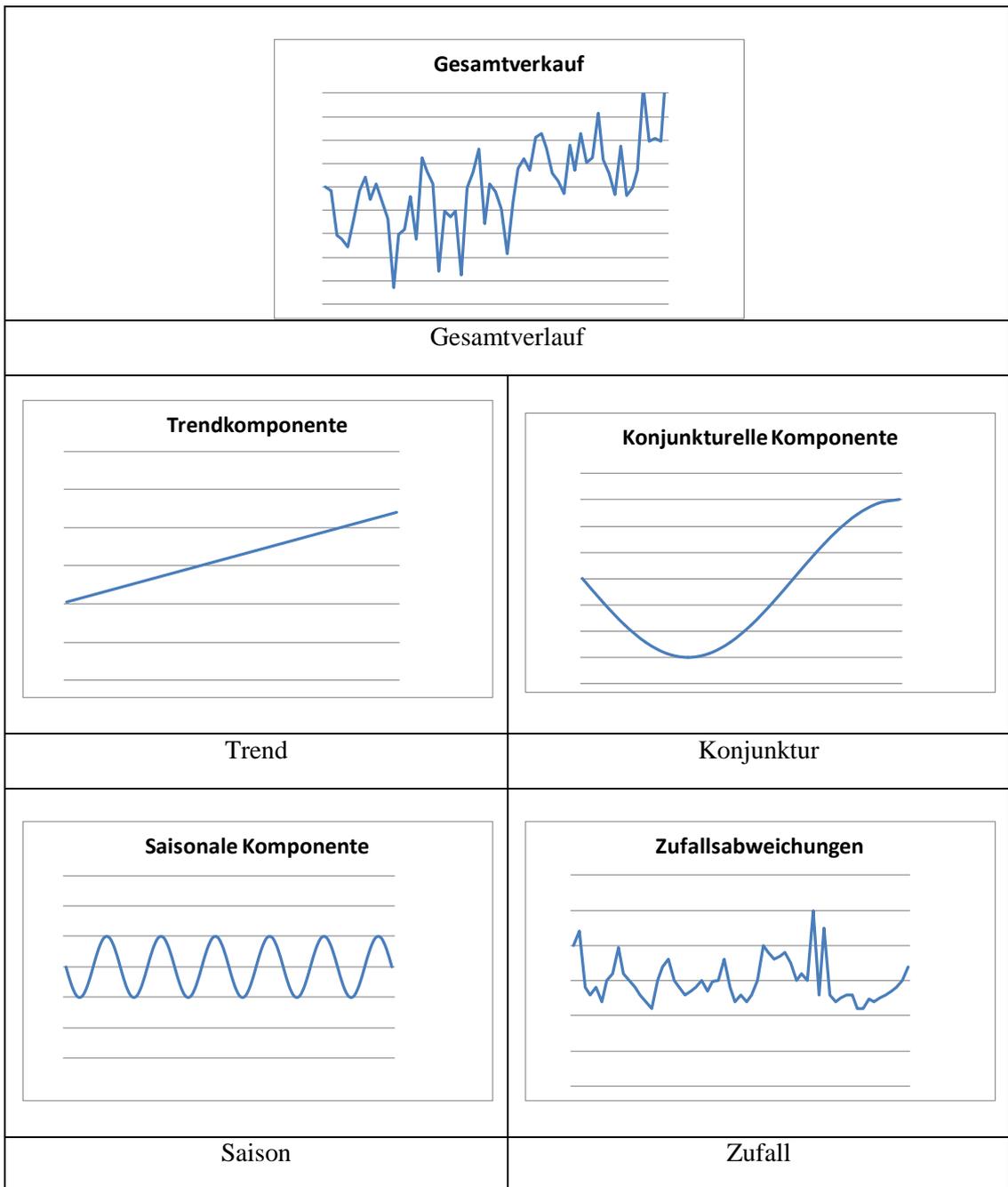


Abbildung 4: Komponenten einer Zeitreihe (vgl. Wiendahl 2004, S. 302)

### **1.2.2 Fixkosten als Ursache für mangelnde Flexibilität**

Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen führen ohne Anpassungsmaßnahmen in industriellen Unternehmen zu einem wirtschaftlichen Ungleichgewicht. Hohe Fixkostenanteile reduzieren die Fähigkeit der Unternehmen, sich an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen anzupassen und verhindern so die schnelle Herstellung eines wirtschaftlichen Gleichgewichts. Ursache ist die Unabhängigkeit der Fixkosten von der erbrachten Leistung pro Periode. Die Bedeutung hoher anteiliger Fixkosten an den Gesamtkosten und der Abhängigkeit von Beschäftigungsschwankungen hatte bereits Schmalenbach 1928 erkannt und beschrieben (Schmalenbach 1928).

Als Abgrenzungskriterium zwischen fixen und variablen Kosten wird in der Literatur häufig die Abhängigkeit des Kostenverlaufes von der Inanspruchnahme definiert. Variable Kosten fallen demnach nur während der Inanspruchnahme einer Leistungseinheit an. Der Kostenverlauf verhält sich mengenproportional zur Ausbringung und damit zur Beschäftigungslage. Variable Kosten werden auch als Leistungskosten bezeichnet (Funke 1995, S. 50). Das Gegenteil der Leistungskosten sind die Bereitschaftskosten, die den fixen Kosten entsprechen. Die fixen Kosten sind diejenigen Kosten, die aus den Aufwänden für die Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft beziehungsweise der zur Verfügung gestellten Kapazität resultieren (in Anlehnung an Gutenberg, Albach 1990, S. 348). „Die fixen Kosten werden hier zwar nicht unmittelbar als eine Funktion des Beschäftigungsgrades angesehen, aber sie werden doch von der jeweiligen Betriebsbereitschaft abhängig gemacht.“ (Gutenberg, Albach 1990, S. 350) Die Bezugsvariable für die Klassifikation der Kosten als „fix“ ist folglich nicht die Ausbringungsmenge sondern die Abhängigkeit von der Betriebsbereitschaft (Gutenberg, Albach 1990, S. 350). In Erweiterung der Definition sind fixe Kosten „solche Kosten, die innerhalb bestimmter Beschäftigungsgrenzen vom jeweiligen Beschäftigungsgrad unabhängig sind. Werden die Beschäftigungsgrenzen nach oben oder unten überschritten, so verändert sich auch die Höhe der Kosten, und zwar sprunghaft.“ (Schmalenbach et al. 1963, S. 49)

Der entscheidende Unterschied der Fixkosten zu variablen Kosten ist neben der Disponierbarkeit die zeitliche Verzögerung, mit der die Kosten abgebaut und nicht kontinuierlich den Beschäftigungsschwankungen angepasst werden können (Funke 1995, S. 32). Die Beeinflussung der fixen Kosten kann erfolgen, wenn es sich um geplante zukünftige Fixkosten handelt.

Kommissioniersysteme werden in der Planung für eine bestimmte Leistung ausgelegt. Durch die installierten Kapazitäten entstehen unabhängig von der Nutzung Fix-

kosten. Die Fixkosten resultieren aus der Notwendigkeit, für eine logistische Leistungsbereitschaft eine ausreichend dimensionierte Infrastruktur, bestehend aus Gebäuden, Anlagen, Regalen, Betriebsmitteln oder einer Mindestbesetzung vorzuhalten (Gudehus 2005, S. 164; Weber 2002, S. 118). Gelingt es, die bereitgestellten Kapazitäten und damit die Struktur der Fixkosten an die jeweilige Beschäftigungslage anzupassen, würden die anteiligen fixen Kommissionierkosten an den spezifischen Kommissionierkosten (auftragsbezogene oder positionsbezogene Kommissionierkosten) minimal werden.

Nach der Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Erfolgspotenziale eines effektiv betriebenen Kommissioniersystems und der Beschreibung des Nachfrageverhaltens und der damit verbundenen Kostenproblematik, erfolgt im nächsten Kapitel die Konkretisierung der Problemstellung für konventionelle Kommissioniersysteme. Aus der Konkretisierung der Problemstellung leiten sich die Handlungsbedarfe, die Zielstellung und die Vorgehensweise des vorliegenden Forschungsprojekts ab.

### **1.3 Aufbau des Berichts**

In Kapitel 1 ist die Wirkung fehlender Anpassungsfähigkeit von Kommissioniersystemen auf Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen diskutiert worden (s. Abbildung 5). Hauptursache sind die hohen anteiligen fixen Kosten in der Kommissionierung, die durch die Aufwände für die Betriebsbereitschaft der Kapazitäten verursacht werden. Kapitel 2 beschreibt die Zielsetzung des Forschungsvorhabens.

In Kapitel 3 werden die theoretischen Grundlagen zur Lösungsentwicklung vorgestellt. Auf Basis der allgemeinen Beschreibung von Kommissioniersystemen werden die Eigenschaften von konventionellen Kommissioniersystemen vertiefend betrachtet (Kapitel 3.1). Aus der Untersuchung der Forschungsansätze zur Flexibilitätsplanung werden Ansätze identifiziert, die auf die vorliegende Problemstellung in Kommissioniersystemen übertragbar sind. Eine Flexibilitätsdefinition für Kommissioniersysteme wird hergeleitet (Kapitel 3.2). Flexibilitätspotenziale werden auf Basis der Kapazitätsplanung ermittelt (Kapitel 0). Das Ergebnis des 3. Kapitels ist ein Bewertungsschema für Flexibilitätspotenziale in Kommissioniersystemen (Kapitel 3.4).

In Kapitel 4 werden die Flexibilitätspotenziale auf Grundlage der Ergebnisse aus Kapitel 3 für konventionelle Kommissioniersysteme erarbeitet. Die Flexibilitätspotenziale werden als Anpassungsmaßnahmen zur Reaktion auf kurzfristige Auslastungsschwankungen erläutert und bewertet.

Für die zielgerichtete Anwendung der Anpassungsmaßnahmen erfolgt in Kapitel 5 die allgemeine mathematische Formulierung als Entscheidungsproblem. Die Dyna-

mische Optimierung wird als Lösungsalgorithmus verwendet und ausführlich beschrieben.

Kapitel 6 verdichtet die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel in einer Software. Die Entwicklung der Software ermöglicht es, ein unternehmensspezifisches Kommissioniersystem abzubilden und für Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen eine optimale Anpassungsstrategie zu ermitteln.

Den Abschluss der Arbeit (Kapitel 7) bildet eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse.

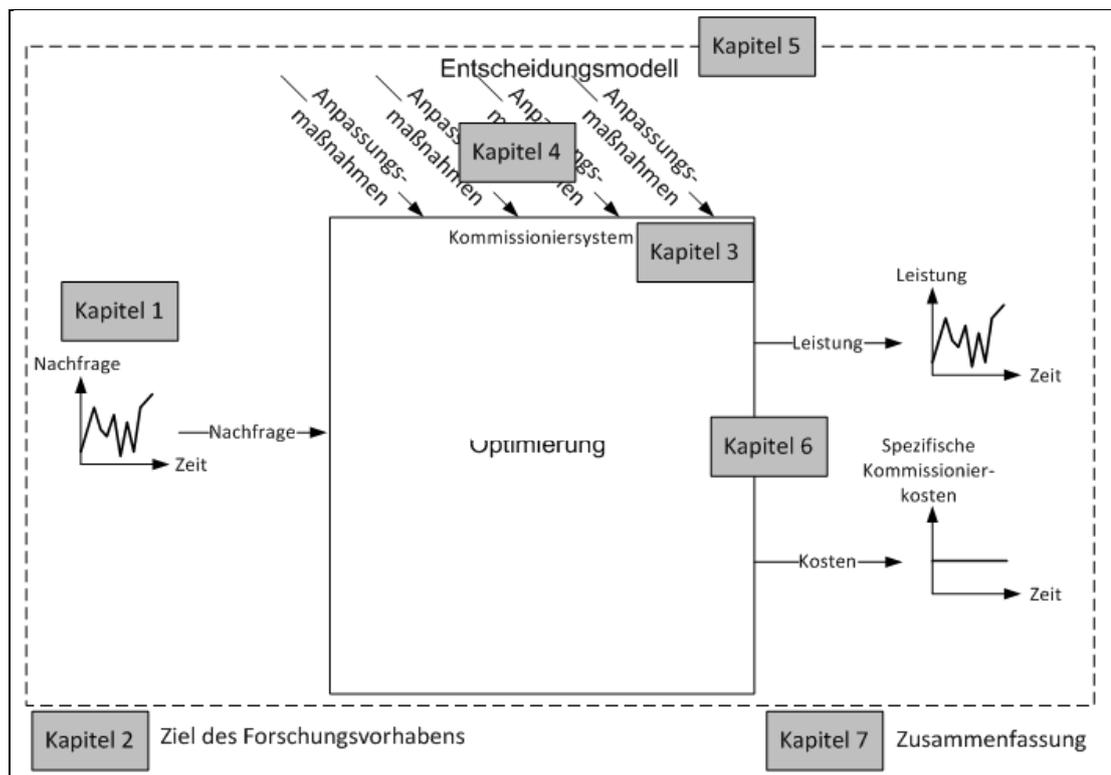


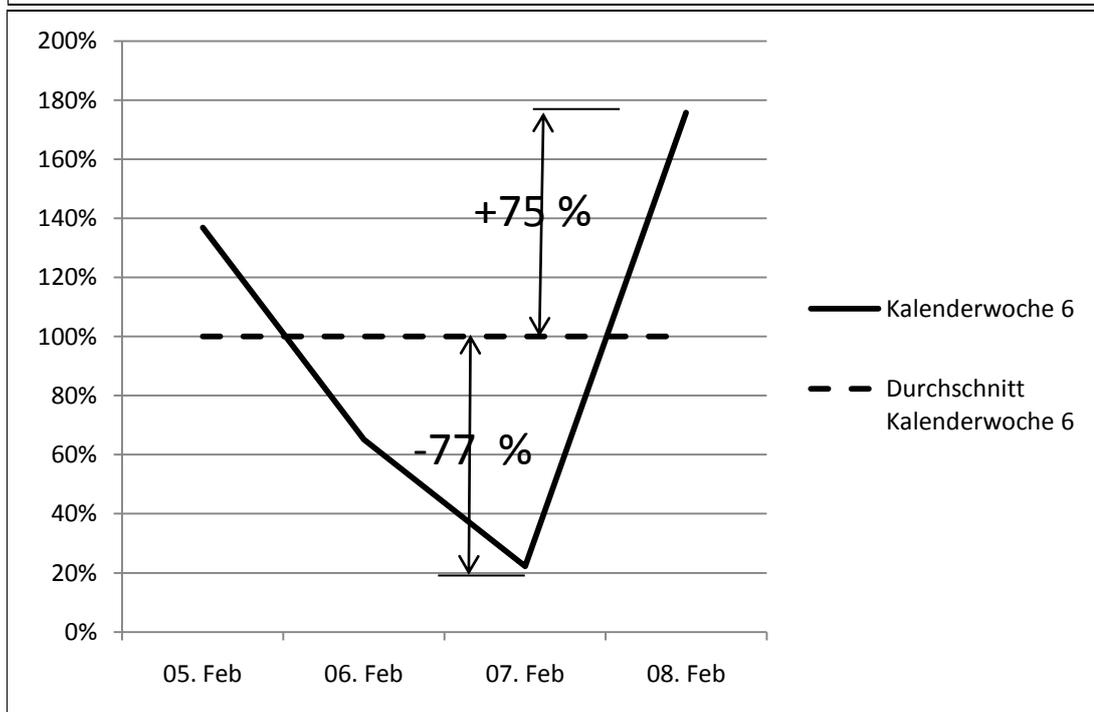
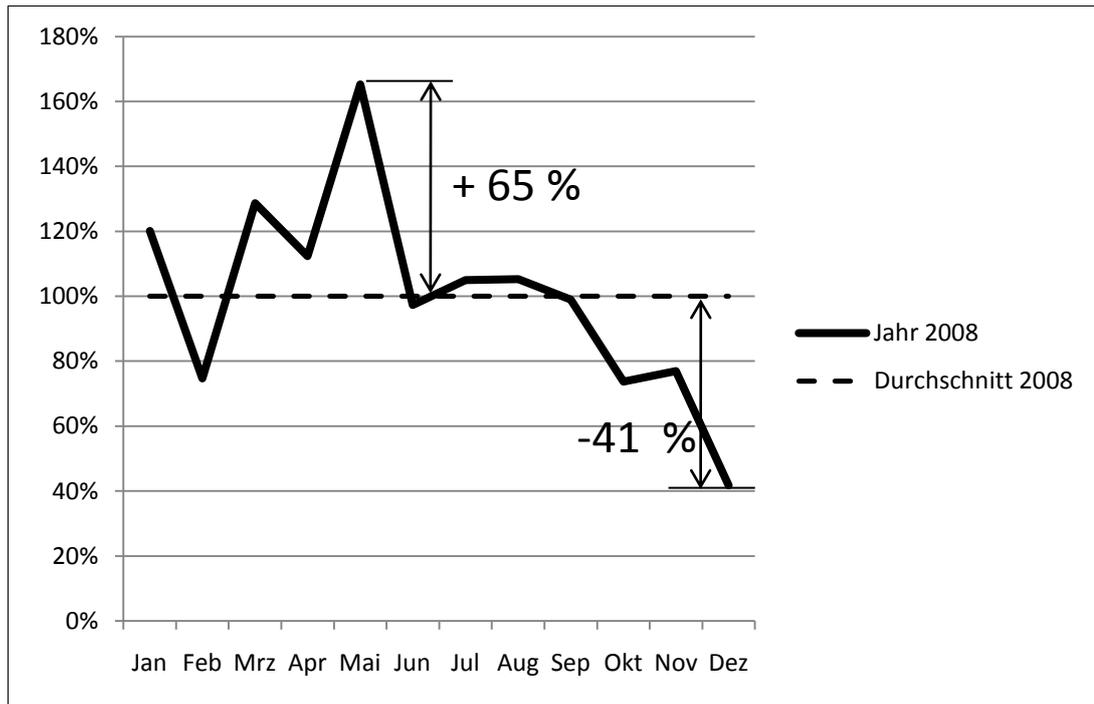
Abbildung 5: Aufbau des Berichts

## **2 Aufgabe im Forschungsvorhaben**

Die zielgerichtete Anpassung von Kommissioniersystemen an Absatzveränderungen ist bisher nur zum Teil Gegenstand wissenschaftlicher Ansätze gewesen. Das vorliegende Forschungsvorhaben leistet einen Beitrag, Kommissioniersysteme bei häufigen Absatzveränderungen wirtschaftlicher zu betreiben und kostengünstig anzupassen. Kapitel 2.1 stellt zusammenfassend die Anforderungen an die Kommissionierung heraus und leitet einen Lösungsansatz ab. Das Ziel des Forschungsvorhabens wird in Kapitel 0 konkretisiert.

### **2.1 Herausforderungen an Kommissioniersysteme und Ableitung eines Lösungsansatzes**

Die Anforderungen an Kommissioniersysteme verändern sich zunehmend durch die Entwicklung des Marktes. Diese beeinflussen die Auslastung von Kommissioniersystemen in hohem Maße (Lüning 2005). Nachfrageschwankungen können branchenabhängig durch saisonale Schwankungen oder Tagesschwankungen hervorgerufen werden. Beispiele für starke saisonale Schwankungen finden sich in der Unterhaltungselektronik, in der Konsumgüter- und Bekleidungsindustrie. Hauptsaison in der Unterhaltungsindustrie ist die Vorweihnachtszeit. Zeitweise steigt die Nachfrage gegenüber schwachen Absatzperioden auf das Fünfzig- bis Hundertfache an (Irrgang 2004, S. 684). In der Konsumgüter- oder der Bekleidungs- und Textilindustrie treten Schwankungen mit deutlich kürzeren Zyklen auf. Teilweise werden bis zu 12 Kollektionen pro Jahr in den Geschäften angeboten (Stockert 2008; Hoyndorff 2008). Die Folge ist ein schwer vorhersehbares Nachfrageverhalten der Kunden, da keine Vergangenheitsdaten für eine Prognose verfügbar sind. Zur Verdeutlichung von real auftretenden Schwankungsbreiten sind in Abbildung 6 die Auftragseingänge eines Maschinenbauunternehmens für zwei unterschiedliche Zeiträume (normiert auf das jeweilige Mittel des betrachteten Zeitraums) dargestellt. Die erste Abbildung zeigt die Auftragsvolumina auf Monatsbasis für das Jahr 2008. Die zweite Abbildung stellt die maximale Schwankungsbreite in zwei aufeinanderfolgenden Tagen in 2008 dar.



**Abbildung 6: Schwankender Auftragseingang (Realdaten)**

Für das gesamte Jahr 2008 liegt der maximale Auftragseingang bei 65% über dem Jahresdurchschnitt. Der minimale Auftragseingang im Jahr 2008 lag bei 41% unter dem Jahresdurchschnittswert. Eine noch höhere Schwankungsbreite des Kapazitätsbedarfs findet sich bei den zwei aufeinanderfolgenden Tagen in der Kalenderwoche 6 im Jahr 2008. Von einem auf den anderen Tag verachtfacht sich der Auftragseingang.

Die starke Schwankungsbreite und die hohen Belastungsspitzen führen zu starken Auslastungsschwankungen in der Kommissionierung. In der Kommissionierung des Betriebs sind zu 2/3 festangestellte Mitarbeiter und zu 1/3 Aushilfen beschäftigt. Obwohl die Personalstärke durch Aushilfen kurzfristig erhöht und reduziert werden kann, ist die alleinige Veränderung der Personalstärke durch Aushilfskräfte nicht ausreichend, um über ein ganzes Jahr im Kommissionierbereich wirtschaftlich zu arbeiten. Andere Anpassungsformen, um die Personalkapazität an den Bedarf anzugleichen, werden nicht angewendet. Die Folge sind zum Teil unausgelastete (festangestellte) Mitarbeiter in der Kommissionierung. Eine systematische Vorgehensweise zur Anpassung der Kapazitäten in der Kommissionierung an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen findet in diesem Unternehmen nicht statt. Gründe sind ähnlich den bereits in Kapitel 1.1.2 genannten. Das Unternehmen hält nicht die Ressourcen im indirekten Bereich vor, um den Kapazitätseinsatz im Logistikbereich vergleichbar detailliert zu planen wie den eigenen Produktionsbereich. Die Planung in der Logistik erfolgt hier heuristisch auf Basis von Erfahrungen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind mit verschiedenen Betreibern und Leitern von Kommissioniersystemen die Marktherausforderungen in KMU diskutiert worden. Die Ergebnisse spiegeln die in der Literatur veröffentlichten Anforderungen wider und konkretisieren diese zum Teil. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

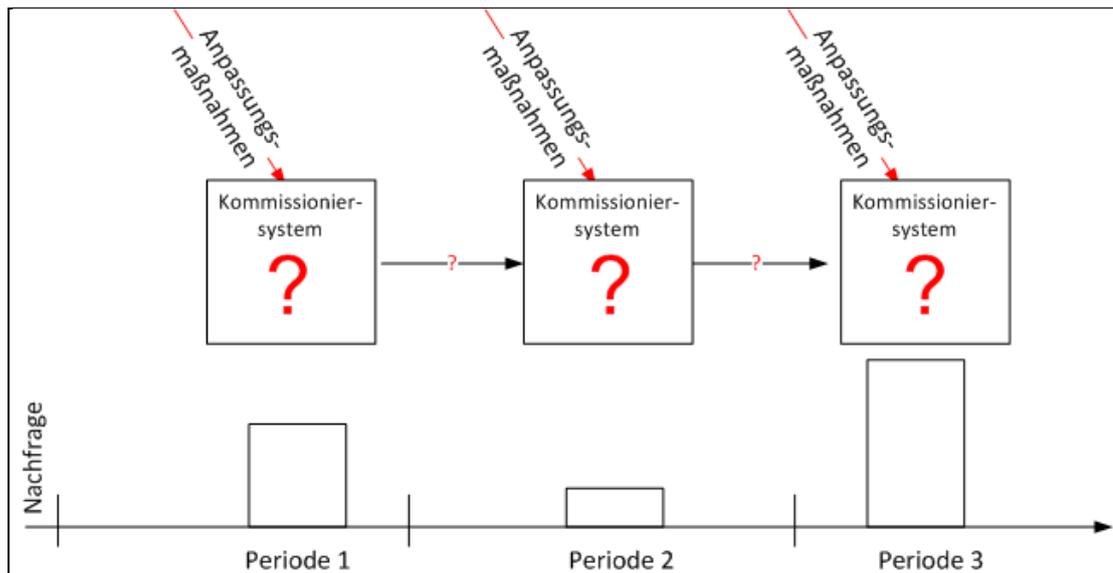
- Ein hoher Servicegrad mit einer Auslieferung der Bestellung am Tag nach Bestelleingang an den Kunden gehört in vielen Branchen zum Standard. Der Druck wächst, die Auftragsdurchlaufzeit im Kommissioniersystem zu minimieren und einen möglichst späten Auftragseingangszeitpunkt anzubieten.
- Ein hoher Servicegrad bei einer kurzfristig schwankenden Marktnachfrage führt zu einer großen Unsicherheit in der Prognose der Kapazitätsbedarfe und verhindert bei der Kapazitätsabstimmung Maßnahmen zur Belastungsanpassung und zum Belastungsabgleich. Unsicherheiten in der Prognose zwingen zu kurzfristigen Anpassungsmaßnahmen. In den Interviews konnte kein systematischer und umfassender Planungsansatz erkannt werden, um die Kapazitäten kurzfristig auf Nachfrageschwankungen anzupassen. In einigen Kommissioniersystemen findet gar keine Anpassung der Personalkapazität an die Auftragslage statt.
- Neben den kurzfristigen Nachfrageschwankungen können auch saisonale Spitzenlasten von 100 % - 300 % über dem gemittelten Jahresdurchschnitt auftreten. Bei zeitlich ausreichender Kenntnis über den saisonalen Verlauf (Erfahrungswerte aus den Vorjahren) reagieren die meisten befragten Unternehmen in der Kommissionierung mit dem Einsatz zusätzlichen Personals (Springer, Aushilfen, etc.)

- Findet eine Anpassung der Personalkapazität an die Auftragslage statt, erfolgt die Personalfestlegung in der Regel auf Basis von Erfahrungswerten. Unberücksichtigt bleibt bei einer mehrperiodischen Betrachtung, wie Personalentscheidungen voneinander abhängen. Häufig wird versucht, die Anzahl festangestellter Mitarbeiter konstant zu halten und Auftragsspitzen über zusätzliche Arbeitskräfte abzufangen. Eine systematische Betrachtung, ob die Einstellung zusätzlicher Aushilfskräfte auf Dauer wirtschaftlicher ist, als der Einsatz von Zeitarbeitskräften, bleibt unberücksichtigt.
- Durch die Erhöhung des Servicegrads verändern Unternehmen auch die Marktnachfrage. Bei einem hohen Servicegrad und einer kurzen Lieferzeit bestellen Kunden zunehmend häufiger kleine Mengen. In Folge verändert sich die Auftragsstruktur in Kommissioniersystemen. Die Entwicklung in KMU zeigt deutlich den Trend zu mehr Ein-Positionenaufträgen. Teilweise halten die Kunden keine eigenen Läger vor und bestellen mehrmals über den Tag verteilt. Das Ergebnis ist ein Anwachsen an Positionen pro Tag ohne Mengensteigerungen. Um die auftragsbezogenen Aufwände zu minimieren, wird die Ablauforganisation von Kommissioniersystemen vor die Herausforderung gestellt, mehrere Kundenaufträge in wirtschaftliche Kommissionieraufträge umzuwandeln.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in den befragten Unternehmen im kurzfristigen Planungsbereich keine systematische Vorgehensweise existiert, um wirtschaftlich und schnell auf Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen zu reagieren. Einzelne Maßnahmen sind bekannt und werden teilweise eingesetzt. Eine ganzheitliche Betrachtung über mehrere Perioden hinweg, in der zum Beispiel kurzfristig Nachteile in Kauf genommen werden können, um ein langfristiges Optimum zu erzielen, findet nicht systematisch statt.

Zum klareren Verständnis für die weitere Ausarbeitung wird die analysierte Problemsituation in Kommissioniersystemen noch einmal aufgegriffen und unter Vorgriff auf einzelne Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens exemplarisch und formalisiert beschrieben. Die Beschreibung motiviert die im Forschungsprojekt angewendete Planungsmethodik.

Ein Unternehmen plant für 3 Perioden (zum Beispiel Monate, Wochen, Tage oder Stunden) den Personalbedarf für die Kommissionierung. Es handelt sich um ein mehrstufiges Entscheidungsproblem (Entscheidungsprozess) (s. Kapitel 5.1). Die Kapazitätsnachfrage unterliegt einer angenommenen Nachfrageveränderung. Der Planer steht vor der Aufgabe, die wirtschaftlichste Strategie (Auswahl optimaler Anpassungsmaßnahmen in jeder Periode) zu finden, mit der über den gesamten betrachteten Planungshorizont ein Gesamtoptimum erreicht wird (s. Abbildung 7).



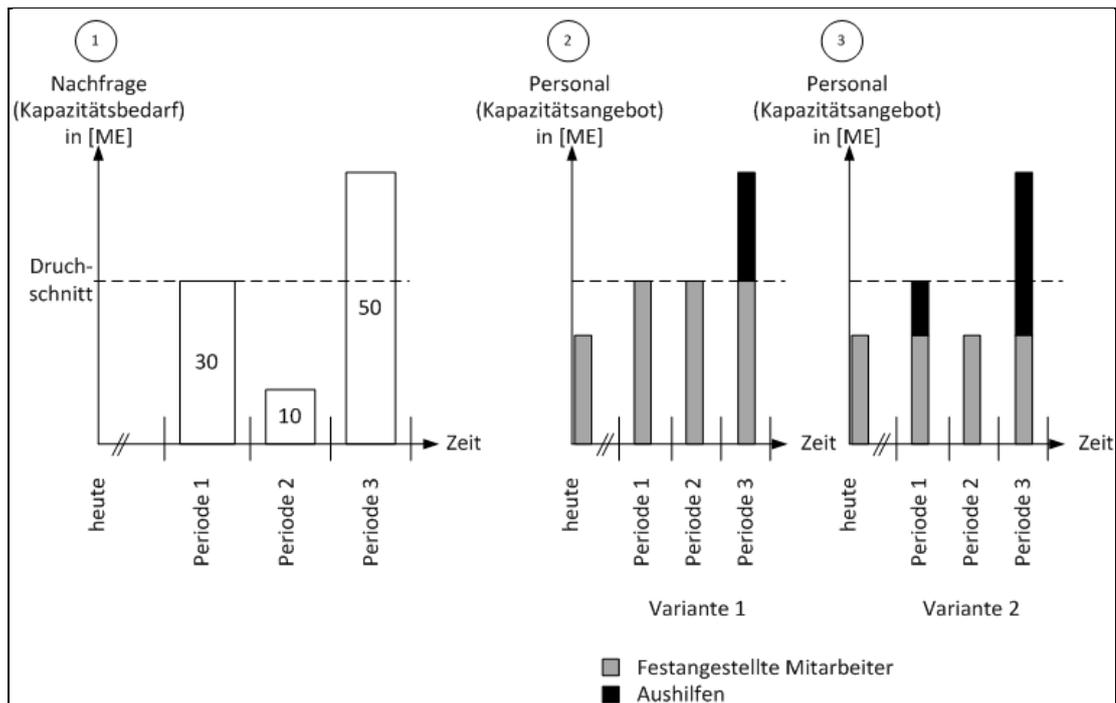
**Abbildung 7: Schematische Darstellung des exemplarischen Entscheidungsproblems**

Dem Unternehmen stehen zum Zeitpunkt der Planung (heute) eine gewisse Anzahl an festangestellten Mitarbeitern zur Verfügung. Im Beispiel kann die zukünftig angenommene durchschnittliche Nachfrage nicht durch die heute zur Verfügung stehenden Mitarbeiter gedeckt werden (s. Abbildung 8, ①). Das Unternehmen hat zur Bedarfsdeckung in den jeweiligen Planungsperioden 1, 2, 3 zwei Anpassungsmaßnahmen (Handlungsoptionen) zur Auswahl:

1. Die Anzahl an festangestellten Mitarbeitern zu erhöhen (②).
2. Die Anzahl an festangestellten Mitarbeitern konstant zu halten und zusätzlich Aushilfen zu beschäftigen (③).

Zwei zentrale Herausforderungen stellen sich dem Planer:

1. Die Abhängigkeiten zwischen den Systemzuständen sind in der Planung zu berücksichtigen. Wird beispielsweise in einer Periode entschieden, einen neuen Mitarbeiter fest anzustellen, kann dieser nicht unbedingt in der darauffolgenden zu planenden Periode wieder freigesetzt werden.
2. Soll der Planer über alle 3 Perioden ein Gesamtoptimum erzielen, kann der beste Systemzustand in der Periode 1, 2 und 3 erst erkannt werden, wenn die jeweilig anderen Perioden bestimmt sind.



**Abbildung 8: Planungssituation**

Damit wird deutlich, dass eine Entscheidung in einer Periode immer auch Auswirkungen auf die nachfolgenden Perioden haben wird. Die Entscheidungssituation wird noch unübersichtlicher, wenn für jede Entscheidung beachtet wird, wie viele Kosten die Entscheidung verursacht und wann die Wirkung der Entscheidung eintritt.

Auf den ersten Blick würde wahrscheinlich in Abbildung 8 die Variante 2 die Vorzugsvariante darstellen, da über alle Perioden hinweg, das Kapazitätsüberangebot kleiner ist als bei Variante 1. In der Realität vernachlässigt die zeitpunktbezogene Betrachtung die zusätzlichen zeitlichen und monetären Aufwendungen, die durch eine Anpassung der Personalstärke verursacht werden. Dauer und Kosten zur Einstellung festangestellter Mitarbeiter sind meist höher als für Aushilfskräfte. Die Leistungen beider Anstellungsformen sind nicht immer vergleichbar. Für neu angestellte Mitarbeiter sind eventuell Anlernereffekte zu berücksichtigen. Des Weiteren sind die Bedingungen für die Entlassung von Mitarbeitern an die verschiedenen Vertragsformen geknüpft.

Aus dieser komplexen Entscheidungssituation leitet sich das Ziel des Forschungsvorhabens ab.

## 2.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Speziell für die Kommissionierung in konventionellen Kommissioniersystemen in KMU soll im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein Entscheidungsmodell entwickelt werden, welches KMU unterstützt, ihr unternehmensspezifisches Kommissioniersystem systematisch und gezielt an kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen anzupassen. Herausfordernd ist die Entwicklung eines Instrumentariums, welches ausreichend genau ist, ein unternehmensspezifisches Kommissioniersystem abzubilden und unter Berücksichtigung verschiedener Nachfrageschwankungen und Marktentwicklungen Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dazu sind Flexibilitätspotenziale in Kommissioniersystemen zu erkennen und in Form von Anpassungsmaßnahmen operativ anwendbar zu beschreiben. Zur vereinfachten Anwendung der Forschungsergebnisse wird das Entscheidungsmodell in einer Software programmiert.

Folgende zentrale Fragen sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens beantwortet werden können:

1. Wie kann das Kapazitätsangebot in Kommissioniersystemen (Kommissionierlager, Transportmittel, Mensch) optimal auf den Kapazitätsbedarf über mehrere Perioden hinweg optimal angepasst werden?
2. Welche Anpassungsmaßnahmen stehen zur Verfügung, um auf kurzfristige Schwankungen wirtschaftlich zu reagieren? Schließen sich gegebenenfalls unterschiedliche Maßnahmen aus?
3. Welche Maßnahmen müssen zu welchem Zeitpunkt getroffen werden, um unter Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen über mehrere Perioden hinweg wirtschaftlich zu kommissionieren?
4. Wie verändert sich die Wirtschaftlichkeit in der Kommissionierung, wenn Maßnahmen zur Anpassung des Kapazitätsangebots durchgeführt werden?

Mit der Anwendung des Instrumentariums verbessern sich die Planungssicherheit und die Planungsergebnisse zur Anpassung von Kommissioniersystemen an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. KMU werden in die Lage versetzt, situationsgerecht und rechtzeitig auf Umweltveränderungen zu reagieren und dauerhaft wirtschaftlicher im Kommissionierbereich zu operieren. Neben dem Instrumentarium wird ein Beitrag zur Verbesserung des Wissens über die Gestaltung flexibler Kommissioniersysteme geleistet.

## **3 Grundlagen der Kommissioniersystem-, Flexibilitäts- und Kapazitätsplanung**

Die theoretischen Grundlagen für das vorliegende Forschungsvorhaben sind Gegenstand dieses Kapitels. Kapitel 3 verbindet die Planung und Gestaltung von Kommissioniersystemen (Kapitel 3.1) mit der Flexibilitätsplanung (Kapitel 3.2) und Kapazitätsplanung (Kapitel 0). Ergebnis ist ein Bewertungsmodell für Flexibilitätspotenziale in Kommissioniersystemen (Kapitel 3.4).

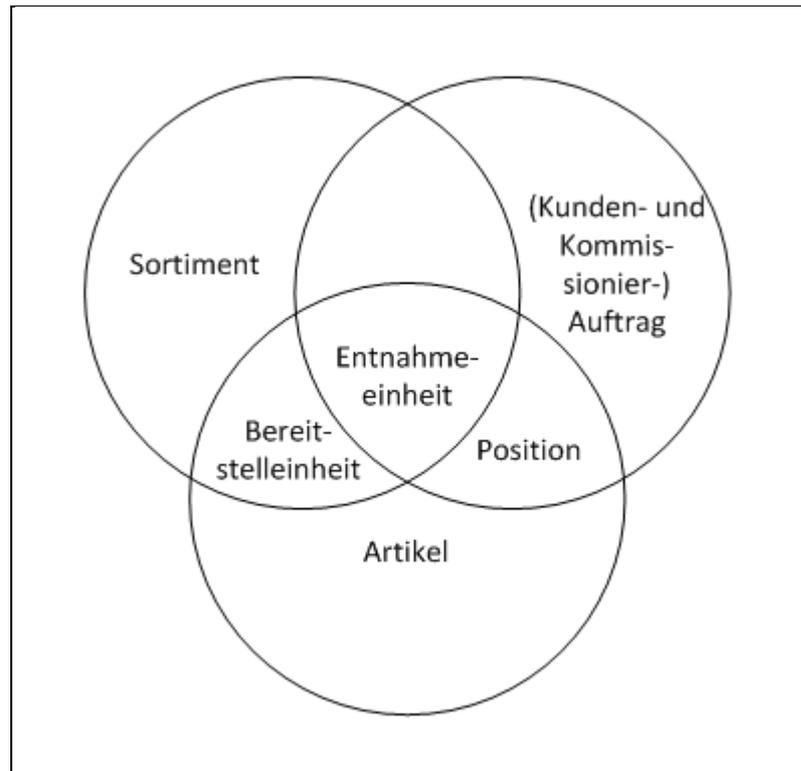
### **3.1 Grundlagen von Kommissioniersystemen**

In Kapitel 3.1 wird die Kommissionierung erklärt und der Aufbau von Kommissioniersystemen beschrieben. Auf diesen Grundlagen werden die Anforderungen an Kommissioniersysteme in der Planung herausgearbeitet und erste Hinweise auf Flexibilitätspotenziale abgeleitet. Das Kapitel endet mit einer vertiefenden Betrachtung von konventionellen Kommissioniersystemen.

#### **3.1.1 Definition und Grundbegriffe der Kommissionierung**

Die VDI-Richtlinie 3590 definiert für die Kommissionierung „das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen“ (Richtlinie VDI 3590, S. 2).

Anstoß der Kommissionierung bilden Kundenaufträge (s. Abbildung 9). Ein Kundenauftrag besteht aus den Angaben zur Identifizierung des Kunden (Kundennummer, Lieferanschrift, Versandbedingungen) und beinhaltet neben dem Bestellzeitpunkt mindestens die gewünschten Artikel mit den entsprechenden Mengenangaben. Abhängig von der Gestaltung der Ablauforganisation werden Kundenaufträge in Kommissionieraufträge gewandelt.



**Abbildung 9: Zuordnung zentraler Begriffe des Kommissionierens (in Anlehnung an Wichmann 1997, S. 8)**

Der Kommissionierauftrag enthält die notwendigen Informationen zur Durchführung des Kommissioniervorgangs. In einem Kundenauftrag müssen mindestens die Artikelidentifikation und die bestellte Menge enthalten sein. Zur Durchführung der Kommissionierung werden die Daten des Kundenauftrags um kommissioniersystemspezifische Daten zu einem Kommissionierauftrag ergänzt. Zu diesen Daten gehören zum Beispiel der Entnahmeort und die Bewegungsstrategie. In einem Kommissionierauftrag sind alle Informationen enthalten, die zur Entnahme eines Artikels des angebotenen Sortiments notwendig sind.

Das Sortiment umfasst die Gesamtheit der angebotenen Artikel eines Anbieters (Barth et al. 2007, S. 170). Die Sortimentsbreite beschreibt die Möglichkeit, unterschiedliche Bedarfe eines Kunden innerhalb eines Einkaufsvorgangs zu befriedigen. Die Sortimentstiefe stellt für den Kunden die Auswahl alternativer Kaufmöglichkeiten dar (Barth et al. 2007, S. 44).

Ein Artikel ist die kleinste unterscheidbare Einheit eines Sortiments. Artikel sind physische Körper, die sich durch physikalische Eigenschaften und dem Verwendungszweck voneinander abgrenzen (Schulte 1996, S. 18). Ein Artikel hat eine Nummer und eine Bezeichnung.

Die Entnahmeeinheit ist die Einheit eines bestimmten Artikels, die beim Kommissioniervorgang durch den Kommissionierer gegriffen wird, beziehungsweise

von der Bereitstellereinheit vereinzelt wird. Zur Entnahme einer Entnahmeeinheit sind gegebenenfalls mehrere Einzelzugriffe notwendig (ten Hompel 2008, S. 23). Eine Entnahmeeinheit entspricht der kleinstmöglichen artikelspezifischen Menge (Schulte 1996, S. 18). Das kann je nach Anforderung eine Palette, ein Gebinde oder auch ein Einzelstück sein. Die Summe aller Entnahmeeinheiten entspricht der Mengenangabe in einer Position.

Die Position stellt eine Zeile des Kommissionierauftrages dar. Es sind alle notwendigen Informationen (zum Beispiel Entnahmemenge, Lagerort) zur Artikelentnahme enthalten.

Die Bereitstellereinheit bezeichnet eine zusammengefasste Menge an Artikeln, die für den Kommissioniervorgang in einem Fachboden- oder Durchlaufregal bereitstehen. Abhängig vom Kommissioniersystem handelt es sich meist um Anlieferkartons, Einzelteile ohne Ladungsträger oder artikelreine Paletten beziehungsweise Behälter.

### **3.1.2 Aufbau und Klassifizierung von Kommissioniersystemen**

Die VDI Richtlinie 3590 strukturiert und definiert die Grundfunktionen und Standardabläufe in Kommissioniersystemen. Üblicherweise werden in Kommissioniersystemen 3 Teilsysteme unterschiedenen (Richtlinie VDI 3590):

- Materialflusssystem
- Informationssystem
- Organisationssystem

Nachfolgend werden die einzelnen Teilsysteme vorgestellt und die wichtigsten Merkmale und Merkmalsausprägungen hervorgehoben.

#### Materialflusssystem

Innerhalb des Materialflusssystems ist festgelegt, wie die Entnahmeeinheiten während des Kommissioniervorgangs von dem Kommissionierer bereitgestellt, entnommen und an der Basis abgegeben werden. Grundfunktionen des Materialflusses sind (in Anlehnung an Richtlinie VDI 3590):

- Transport der Artikel zur Bereitstellung
- Bereitstellung der Artikel
- Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- Entnahme der Artikel durch den Kommissionierer
- Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe
- Abgabe der Transporteinheit
- Rücktransport der angebrochenen Ladeinheiten

Der Transport der Artikel zur Bereitstellung umfasst alle Materialflussoperationen, die durchgeführt werden müssen, um die Artikel dem Kommissionierer zur Entnahme anzubieten.

Die Bereitstellung charakterisiert, wie der Kommissionierer die Güter zur Durchführung des Entnahmeprozesses vorfindet. Die Bereitstellung kann statisch oder dynamisch erfolgen. Die Entscheidung über die Wahl des Kommissionierprinzips hat weitreichende Konsequenzen für die Maßnahmen zur Gestaltung von Kommissioniersystemen (Pieper 1982, S. 95). Den beiden Kommissionierprinzipien liegen zwei grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen zugrunde. Bei der statischen Bereitstellung sind Bereitstellort und Entnahmeort des Artikels identisch. Charakteristisch ist die Bewegung des Kommissionierers zum Artikel hin. Das Kommissionierprinzip wird Person-zur-Ware genannt. Bei der dynamischen Bereitstellung wird nach dem Prinzip Ware-zur-Person kommissioniert. Die Entnahmeeinheiten werden zusammen mit der Bereitstellereinheit in artikelreinen Behältern aus dem Lagersystem ausgelagert und über Fördertechnik dem Kommissionierer an seinem stationären Arbeitsplatz bereitgestellt. Die Ware wird am Kommissionierplatz vom Kommissionierer vereinzelt. Der Greifvorgang findet ausschließlich an fest definierten Plätzen statt. Nach der Entnahme müssen Restbestände wieder in den Lagerbereich zurückgeführt werden (ten Hompel et al. 2007, S. 271).

Borries vergleicht die Leistung beider Arten der Bereitstellung. Danach führen Kommissioniersysteme mit dynamischer Bereitstellung nur unter besonderen Voraussetzungen zu signifikanten Leistungsverbesserungen gegenüber vergleichbaren (zweidimensionalen) Systemen mit statischer Bereitstellung. Ursachen liegen zum Einen in dem sehr hohen fördertechnischen und dem damit verbundenen finanziellen Aufwand. Zum Anderen wird die Vereinzelnung der Waren bei der dynamischen Bereitstellung vom Kommissionierer an einem stationären Arbeitsplatz ausgeführt. Hierdurch ergibt sich eine starke Abhängigkeit der Leistung des Kommissionierers von der Leistung des Bereitstellensystems. Auf Grund des jeweiligen charakteristischen Leistungsverhaltens beider Systeme führen schwankende Leistungsanforderungen zu empfindlichen Leistungsverlusten (Borries 1975, S. 197).

Die Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung betrachtet die Art der Bewegung des Kommissionierers zum Bereitstellungsartikels. Es wird die eindimensionale, zweidimensionale und dreidimensionale Fortbewegung unterschieden. Während der eindimensionalen Fortbewegung bewegt sich der Kommissionierer zwischen der Auftragsannahmestelle, den Entnahmeorten und der Abgabestelle zu Fuß oder mit einem Transportmittel fort. Während der zweidimensionalen Fortbewegung befindet sich der Kommissionierer auf einem Fördermittel

und kann Fahr- und Hubbewegungen gleichzeitig durchführen (Gudehus 1973, S. 14). Bei der dreidimensionalen Fortbewegung bewegt sich der Kommissionierer auf einem Kran (ten Hompel et al. 2007, S. 261).

Die Entnahme der Artikel durch den Kommissionierer beschreibt, wie der Entnahmeprozess durchgeführt wird. Die manuelle Entnahme wird durch den Kommissionierer durchgeführt. Werden technische Hilfsmittel eingesetzt (zum Beispiel bei großen oder schweren Artikeln), wird die Entnahme als mechanisch bezeichnet. Eine automatische Entnahme erfordert ein technisch herausforderndes Greifsystem und stellt hohe Anforderungen an das Bereitstellensystem und den zu entnehmenden Artikel hinsichtlich Position, Orientierung, Gewicht, Abmessung, etc.

Beim Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe wird die Bewegungsart der gesammelten Güter zur Abgabe beschrieben. Die Entnahmeeinheiten sind nach der Entnahme zu Sammeleinheiten zusammenzufassen. Diese Zusammenfassung kann in unmittelbarer Nähe der Kommissionierperson erfolgen, wodurch kein Transport zum Abgabeort erforderlich wird. Sind Abgabeort und Kommissionierperson räumlich getrennt, was in der Regel den Einsatz von Fördermitteln bedingt, so lässt sich der Transport der Güter zum Abgabeort wiederum nach Dimension und Automatisierungsgrad gliedern (Grünz, Lolling 1999, S. 19).

Abgabe der entnommenen Artikel bezieht sich auf den Abgabeort und die Art und Weise der Abgabe (Richtlinie VDI 3590, S. 5). Bei der statischen Abgabe werden am Ende des Kommissioniergangs alle gesammelten Artikel an einem zentralen Ort abgegeben. Werden nach der Entnahme die Artikel am Entnahmeort auf einem Fördersystem (gegebenenfalls unter Verwendung von Behältern) abgelegt, handelt es sich um eine dezentrale Abgabe (Gudehus 1973, S. 14).

Der Rücktransport angebrochener Ladeeinheiten ist nur notwendig bei Kommissioniersystemen mit einer dezentralen Bereitstellung der Artikel nach dem Ware-zur-Person Prinzip. Notwendig ist dieser Prozess, wenn mehr Artikel von dem Kommissionierer zum Beispiel in einem Behälter bereitgestellt werden, als benötigt werden.

Die genannten sowie weitere Ausprägungsformen der Grundfunktionen des Materialflusses sind in Abbildung 10 aufgelistet.

Materialflußsystem				
Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			
Transport der Artikel zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Bereitstellung der Artikel	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Entnahme der Artikel durch den Kommissionierer	manuell	mechanisch		automatisch
	ein Teil pro Zugriff		mehrere Einzelteile je Zugriff	
Transport der Entnahmeeinheiten zum Abgabeort	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Abgabe der Transporteinheiten	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
Rücktransport der angebrochenen Ladeinheiten	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch

**Abbildung 10: Morphologischer Kasten Materialflusssystem (Richtlinie VDI 3590, S. 6)**

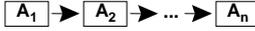
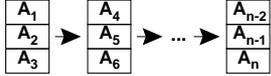
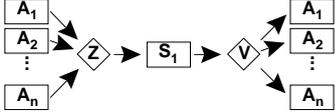
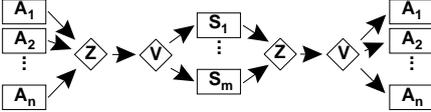
### Organisationssystem

Die Gestaltung des Organisationssystems hat wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des Kommissioniersystems (ten Hompel et al. 2007, S. 261). Das Organisationssystem besteht aus den drei Teilsystemen (Richtlinie VDI 3590, S. 3) (s. Abbildung 12):

- Aufbauorganisation
- Ablauforganisation
- Betriebsorganisation

Die Aufbauorganisation legt die Struktur des Lagersystems fest. Im Rahmen der Aufbauorganisation werden die Anforderungen an Kommissioniersysteme analysiert und die Form der Infrastruktur aus den Eigenschaften der Artikel (Richtlinie VDI 3590) und dem Volumendurchsatz je Artikel abgeleitet (Frazelle 2001). Im Vordergrund der Planungsaktivitäten steht die Auswahl des Bereitstellensystems (ten Hompel et al. 2007, S. 262). Die Struktur der Anordnung wird in ein- und mehrzonig unterteilt. Eine Zone entspricht einer organisatorischen oder technischen Einheit, die ähnliche Eigenschaften besitzt.

Die Ablauforganisation bestimmt, wie die Artikel für die verschiedenen Kundenaufträge kommissioniert werden sollen (s. Abbildung 11). Unterschieden werden das Sammeln, die Entnahme und die Abgabe. Das Sammeln kann nacheinander oder gleichzeitig erfolgen. Im ersten Fall bearbeitet ein Kommissionierer nacheinander mehrere Sammeleinheiten oder eine Sammeleinheit wird von mehreren Kommissionierern in den jeweiligen Zonen nacheinander bearbeitet. Der zweite Fall charakterisiert das Aufteilen der Sammeleinheiten auf mehrere Kommissionierer. Die Kommissionierung eines Kundenauftrags erfolgt durch mehrere Kommissionierer gleichzeitig. Die Entnahme und die Abgabe können auftragsweise oder artikelorientiert vorgenommen werden. Bei der auftragsweisen Entnahme werden nur so viele Artikel einer Position entnommen, wie auf dem Kommissionierauftrag angegeben sind. Bei der artikelorientierten Entnahme werden die Positionen von mehreren Aufträgen, die diesen Artikel enthalten, zusammengefasst und gemeinsam entnommen. Erfolgt die Abgabe nicht für jeden Auftrag einzeln (auftragsweise) sondern artikelorientiert, muss in einer nächsten Stufe des Kommissioniersystemes eine Sortierung der entnommenen Artikel zu den Kundenaufträgen stattfinden. Die Kommissionierung erfolgt dann zweistufig.

Sammelreihenfolge Abwicklung	Nacheinander (sequentiell, seriell)	Gleichzeitig (parallel)		
	<b>Auftragsweise (einstufig)</b>	Alle Aufträge werden einzeln nacheinander komplett ausgeführt  	Eine bestimmte Menge an Aufträgen wird gleichzeitig komplett ausgeführt  	
<b>Artikelorientiert (zweistufig)</b>	Mehrere Aufträge werden zu einer Serie zusammengefasst, die Serie wird nacheinander komplett ausgeführt  	Mehrere Aufträge werden zu einer Serie zusammengefasst, die Serie wird nach Lageraspekten geteilt, die Teilserien werden gleichzeitig ausgeführt  		
Legende:	A Auftrag	Z Zusammenführung	S Serie	V Verteilung

**Abbildung 11: Systematik verschiedener Ablauforganisationsformen beim Kommissionieren (Wichmann 1997, S. 13)**

Die zeitliche Reihenfolge, mit der die Kommissionieraufträge in das Kommissioniersystem eingesteuert und verfolgt werden, ist Gegenstand der Betriebsorganisation. Verfolgte Zielgrößen sind (Grünz, Lolling 1999, S. 22):

- Hohe Kapazitätsauslastung
- Gleichmäßige Kapazitätsauslastung
- Minimale Auftragsdurchlaufzeiten
- Termintreue
- Maximale Kundenorientierung

Die Einlastung der Kommissionieraufträge kann nach zeitlichen Kriterien oder gezielt nach Anforderungen bestimmter Systembereiche erfolgen. Erfolgt eine Auftragsfreigabe ohne jegliche Strategie, liegt keine optimale Betriebsorganisation vor (Richtlinie VDI 3590).

Analog zur Beschreibung der Realisierungsvarianten des Materialflusses lassen sich die beschriebenen und weitere Ausprägungen des Organisationssystems in einem morphologischen Kasten darstellen (s. Abbildung 12).

Organisationssystem			
Teilsysteme	Kriterien	Realisierungsmöglichkeiten	
Aufbauorganisation	Zonenaufteilung	einzonig	mehrzonig
Ablauforganisation	Sammeln	nacheinander	gleichzeitig
	Entnahme	artikelorientiert	auftragsorientiert
	Abgabe	artikelorientiert	auftragsorientiert
Betriebsorganisation	Auftragssteuerung	ohne Optimierung	mit Optimierung

**Abbildung 12: Morphologischer Kasten Organisationssystem (Richtlinie VDI 3590, S. 6)**

### Informationssystem

Das Informationssystem ist in die Elemente Auftragserfassung, Auftragsbearbeitung, Weitergabe der Kommissionieraufträge und Quittierung der Aufträge unterteilt (s. Abbildung 13).

Die Auftragserfassung beinhaltet alle administrativen Tätigkeiten beim Lieferanten, nachdem der Auftrag dort eingegangen ist. Bei der Auftragserfassung kann je nach softwaretechnischer Unterstützung das manuelle, manuell / automatische und das automatische Erfassen unterschieden werden.

Unter der Auftragsbearbeitung werden die Aktivitäten zusammengefasst, die sich nach der Auftragserfassung und vor der Weitergabe der Auftragsdaten ergeben. Je nach Aufbau des Organisationssystems wird der Kundenauftrag in unterschiedliche Kommissionieraufträge aufgeteilt. Gründe hierfür ergeben sich aus terminbedingten oder betriebsinternen Zwängen, aber auch aus Gewichts- oder Volumenabhängigkeiten. Nur bei sequentieller und auftragsorientierter Kommissionierung wird der Kundenauftrag komplett in einen Kommissionierauftrag überführt. Im Falle einer artikelorientierten Kommissionierung geht der Bezug zum Kundenauftrag verloren. Die Aufbereitung der Aufträge geschieht meist automatisch.

Die Weitergabe der Kommissionieraufträge beinhaltet die Übertragung der Aufträge an die Kommissionierung. Sie kann entweder mit Beleg oder beleglos ausgeführt werden.

Das Quittieren ist die Entnahmebestätigung des Kommissioniervorgangs, beziehungsweise die Eingabe über eventuelle von der Vorgabe abweichende Entnahmen. Die Entnahmebestätigung kann dabei je Entnahmeeinheit (zum Beispiel durch Aufkleben eines Etikettes), je Position (zum Beispiel durch Abhaken auf der Pickliste) oder je Auftrag (zum Beispiel im Rahmen einer Endkontrolle) erfolgen.

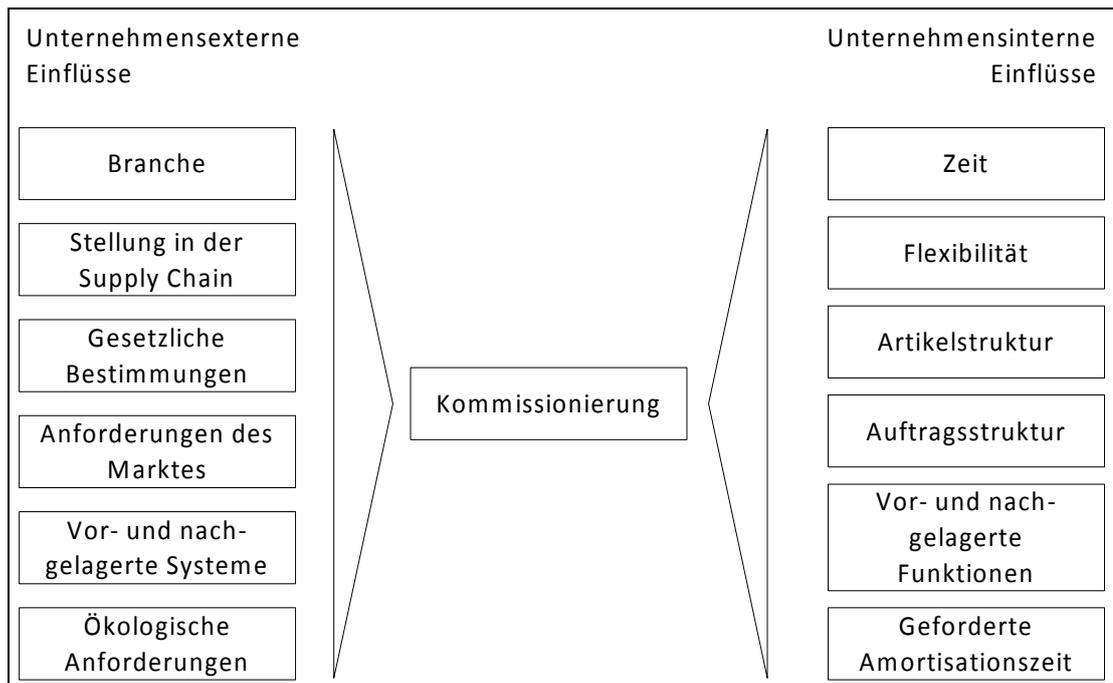
Der morphologische Kasten des Informationssystems ist in Abbildung 13 dargestellt.

Informationssystem			
Vorgang	Realisierungsmöglichkeit		
Vorbereitung der Kommissionierung			
Auftrags- erfassung	manuell	manuell / automatisch	automatisch
Auftragsausarbeitung	Teilauftrag		Auftrags- gruppen
	keine	manuell	manuell / automatisch
Weitergabe	ohne Beleg		mit Beleg
	Einzelposition		mehrere Positionen
Durchführung der Kommissionierung			
Quittierung	je Entnahme- einheit	je Position	alle Positionen
	manuell	manuell / automatisch	automatisch

**Abbildung 13: Morphologischer Kasten Informationssystem (Richtlinie VDI 3590, S. 5)**

### 3.1.3 Planung von Kommissioniersystemen

Bereits in Kapitel 1.2.2 wird qualitativ erörtert, wie in der Planung von Kommissioniersystemen die zukünftige Wirtschaftlichkeit des Betriebs nachhaltig beeinflusst wird. Während der Planung werden der Aufbau, die Größe, die eingesetzte Technik und die Abläufe in Kommissioniersystemen im Wesentlichen auf Basis der zahlreichen Anforderungen an das Kommissioniersystem bestimmt (s. Abbildung 14) (Richtlinie VDI 3590, S. 2).



**Abbildung 14: Einflussgrößen auf Kommissioniersysteme (ten Hompel et al. 2007, S. 253)**

Die wichtigsten Anforderungen lassen sich in 4 Gruppen zusammenfassen (Gudehus 2005, S. 686):

- Sortimentsanforderungen
- Auftragsanforderungen
- Durchsatzanforderungen
- Bestandsanforderungen.

Die Anzahl der Artikel im Sortiment und die Beschaffenheit der Artikel bestimmen die Sortimentsanforderungen. Die Auftragsanforderungen resultieren aus der Anzahl, dem Inhalt und der Struktur der Kommissionieraufträge. Aus dem Auftragsdurchsatz, der Auftragsstruktur und den Sortimentsdaten lassen sich die Durchsatzanforderungen berechnen. Für die Bestandsanforderungen in Kommissioniersystemen gilt vereinfacht: Es muss mindestens die Menge an Artikeln vorrätig sein, die für die Kommissionierung innerhalb einer Periode benötigt wird.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die Sortiments- und Bestandsanforderungen als konstant angenommen. Beide Anforderungen werden nicht durch die Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen beeinflusst. Für die Kommissionierung wird in Kapitel 4.2.1 gezeigt, dass die Sortimentsbreite entscheidenden Einfluss auf die Kommissionierleistung hat, da sie die notwendige Anzahl an Bereitstellplätzen bestimmt. Die Anzahl der Bereitstellplätze ist aber unabhängig von den Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen festzulegen. Die Bestandsanforderungen wirken sich auf die Bestandshöhe und Bestandsreichweite aus. In der

Kommissionierung werden allerdings nur Bereitstellereinheiten und keine Reichweiten betrachtet. In den Auftragsanforderungen spiegelt sich die zunehmende Anzahl an Ein-Positionenaufträgen wider. Daher wird in Kapitel 0 auf die Umwandlungsmöglichkeiten von Kundenaufträgen in Kommissioniersystemen eingegangen. Die Durchsatzanforderungen unterliegen Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen und werden aus den zu kommissionierenden Aufträgen abgeleitet.

Zur Systemfindung der Gestaltung eines Kommissioniersystems schlägt die VDI-Richtlinie 3590 Blatt 2 folgende Reihenfolge im Planungsvorgehen vor (Richtlinie VDI 3590, S. 5):

1. Aufbauorganisation
2. Materialflusssystem
3. Ablauforganisation
4. Informationssystem
5. Betriebsorganisation

Gudehus legt 1973 die Grundlagen für die Planung von Kommissioniersystemen auf Basis der analytischen Berechnung der Kommissionierleistung und zeigt eine Methode zum Systemvergleich und zur Systemauswahl auf (Gudehus 1973). Aufbauend auf Gudehus leitet Borries einen Ansatz ab, um anhand von Kennzahlen (Kommissionierfaktor und Flächenanfahrtdichte) und einem Strukturbaum eine technische Realisierungsvariante von Kommissioniersystemen auszuwählen (Borries 1975) (s. Abbildung 15). Fürwentsches ergänzt das Auswahlverfahren von Borries um qualitative Auswahlkriterien (Fürwentsches 1974).

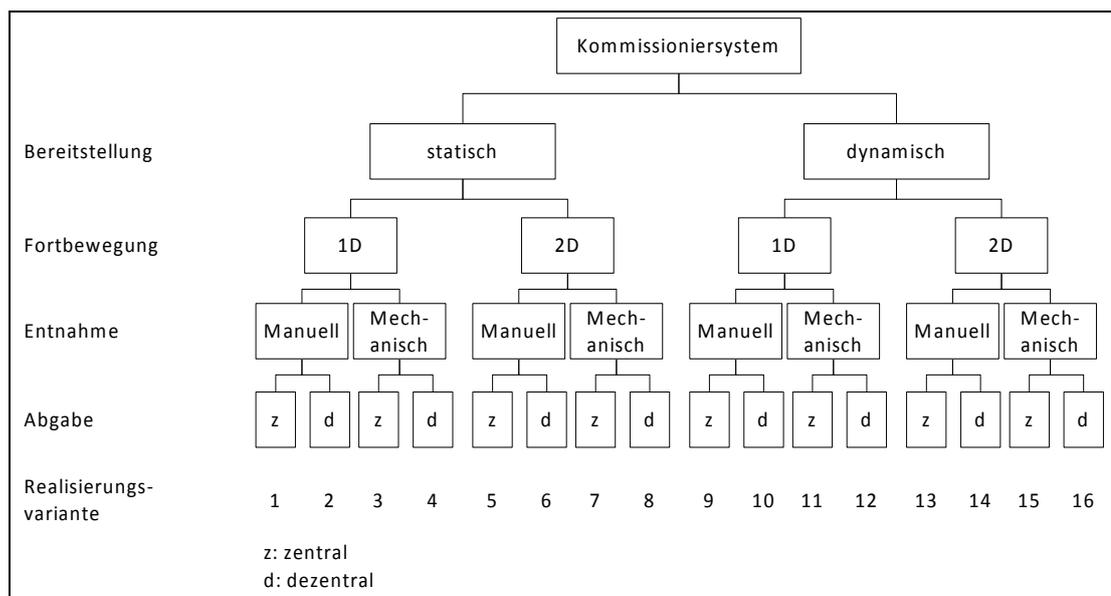


Abbildung 15: Strukturbaum Materialfluss (Borries 1975, S. 2)

Eine empirisch basierte Entscheidungshilfe zur Auswahl und Bewertung von Kommissioniersystemen wird von Pieper vorgestellt (Pieper 1982). Sein Ansatz basiert auf der Clusterung verschiedener Kommissioniersysteme nach Anforderungsaspekten und den realisierten organisatorischen Merkmalen (Aufbau- und Ablaufstruktur). Seine Arbeit unterstreicht die weite Verbreitung manueller Kommissioniersysteme in der Wirtschaft und zeigt das breite Leistungsspektrum auf, welches die Person-zur-Ware Systeme in der Lage sind zu leisten (s. Kapitel 3.1.4). Die Ablauforganisation von Kommissioniersystemen steht auch bei den Untersuchungen von Schwarting im Fokus (Schwarting 1985). Seine Untersuchungen sind motiviert durch das Auffinden von organisatorischen Maßnahmen zur Rationalisierung des Kommissioniersystembetriebs. Unter anderem quantifiziert er den Zusammenhang zwischen der Einlagerstrategie, dem Layout und der Wegstrategie im Bezug auf die Kommissionierleistung.

Umfangreiche analytische Untersuchungen zur Kommissionierleistung und der Optimierung von Kommissioniersystemen stellten zuletzt Schulte und Sadowsky an. Während Schulte sich auf manuelle Kommissioniersysteme konzentriert, bestimmt Sadowsky einen vereinheitlichten und allgemeinen Ansatz, um die Kommissionierleistung analytisch zu bestimmen (Schulte 1996; Sadowsky 2007). Beide Ansätze konzentrieren sich im Schwerpunkt auf den Einfluss der Wegzeit in der Kommissionierleistung, da diese den dominierenden Zeitanteil in der Kommissionierzeit darstellt und zum anderen von der Auftragsstruktur und damit von der Anzahl Positionen je Kommissionierauftrag abhängt.

Eine detaillierte Analyse weiterer zeitbeeinflussender Größen auf die Kommissionierzeit werden von Lüning untersucht (Lüning 2005). Lüning betrachtet den Einfluss der Eigenschaften von Artikeln, des Kommissionierers, der Betriebsmittel und der organisatorischen Maßnahmen auf die Kommissionierzeit.

In gängigen Fachzeitschriften zum Thema Lagern und Kommissionieren finden sich darüber hinaus zahlreiche Veröffentlichungen, die sich in der Regel mit sehr speziellen Systemvarianten und spezifischen Anforderungen beschäftigen.

Auf Grund der hohen Komplexität und der Vielzahl von Gestaltungsoptionen werden heutzutage in der Kommissioniersystemplanung geeignete Programme eingesetzt, die die Dimensionierung rasch und fehlerfrei durchführen können (Gudehus 1993a, S. 49). Die Auswahl, Gestaltung und Organisation eines Kommissioniersystems für gegebene Anforderungen stellt daher kein grundlegendes Problem mehr dar. Jedoch hebt Gudehus hervor, dass sich in der Praxis der Planer auf Grund der komplexen Zusammenhänge und der Vielzahl von Einflussfaktoren auf überschlägige Berechnungen zur Bestimmung der Leistung und Kapazität verlässt.

### 3.1.4 Spezifizierung konventioneller Kommissioniersysteme

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens betrachteten konventionellen Kommissioniersysteme entsprechen der Realisierungsvariante 1 nach Borries (s. Abbildung 15). Konventionelle Kommissioniersysteme sind manuelle Kommissioniersysteme mit einer statischen Bereitstellung, in der Regel eindimensionaler Fortbewegung und einer zentralen Abgabe. Die Entnahme erfolgt manuell. Sie besitzen eine hohe Flexibilität und größte Verbreitung (Wesselmann 2003, S. 9; Pieper 1982, S. 111). In kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) werden sie am häufigsten eingesetzt (vgl. Arnold, Furmans 2005, S. 212; Heinz, Wichmann 1992, S. 6).

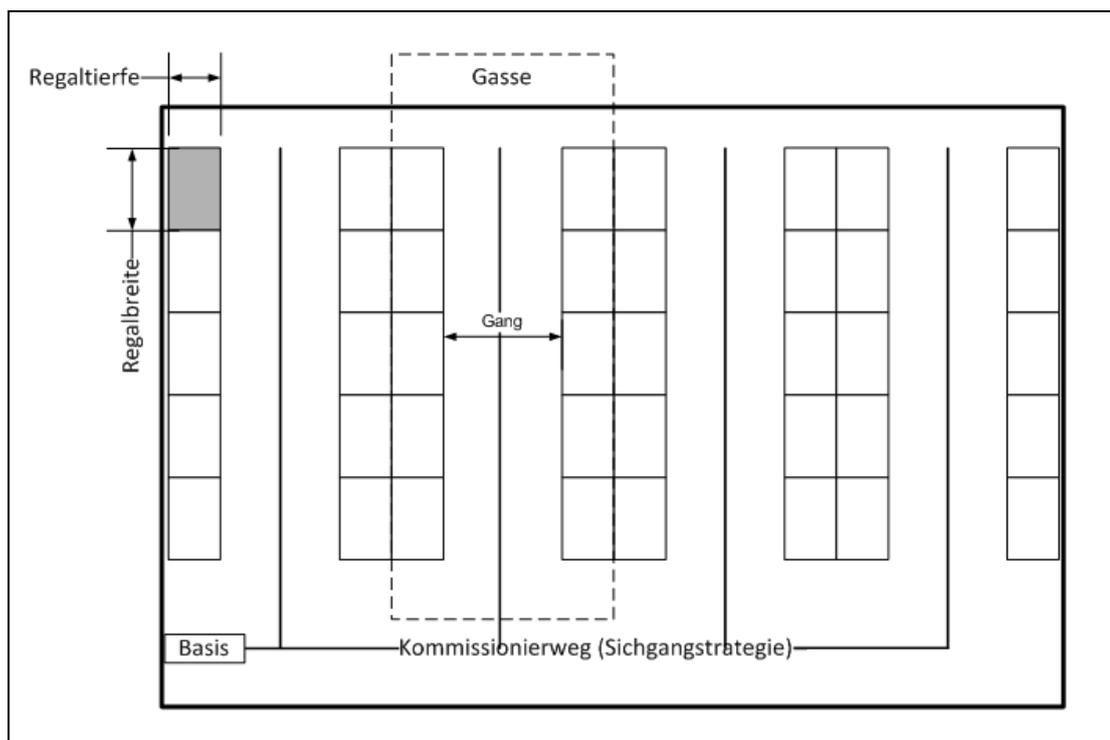


Abbildung 16: Typischer Aufbau eines konventionellen Kommissioniersystems

Je nach Ausführung von konventionellen Kommissioniersystemen sind diese in der Lage, jährlich 20.000-50.000 Aufträge mit durchschnittlich 3-10 Positionen pro Auftrag zu bearbeiten. Eine durchschnittliche Sortimentsbreite beträgt nach Untersuchungen von Pieper 300-5.400 Artikel. Im Einzelfall kann diese Zahl auch deutlich überschritten werden (Pieper 1982, S. 111).

Das konventionelle Kommissionieren eignet sich besonders für ein relativ schmales Sortiment, wenn von Palette auf Palette kommissioniert wird, oder für ein breites Sortiment mit kleinvolumigen Artikeln (Gudehus 2005, S. 696). Vorteile konventioneller Kommissioniersysteme sind (Gudehus 2005, S. 696):

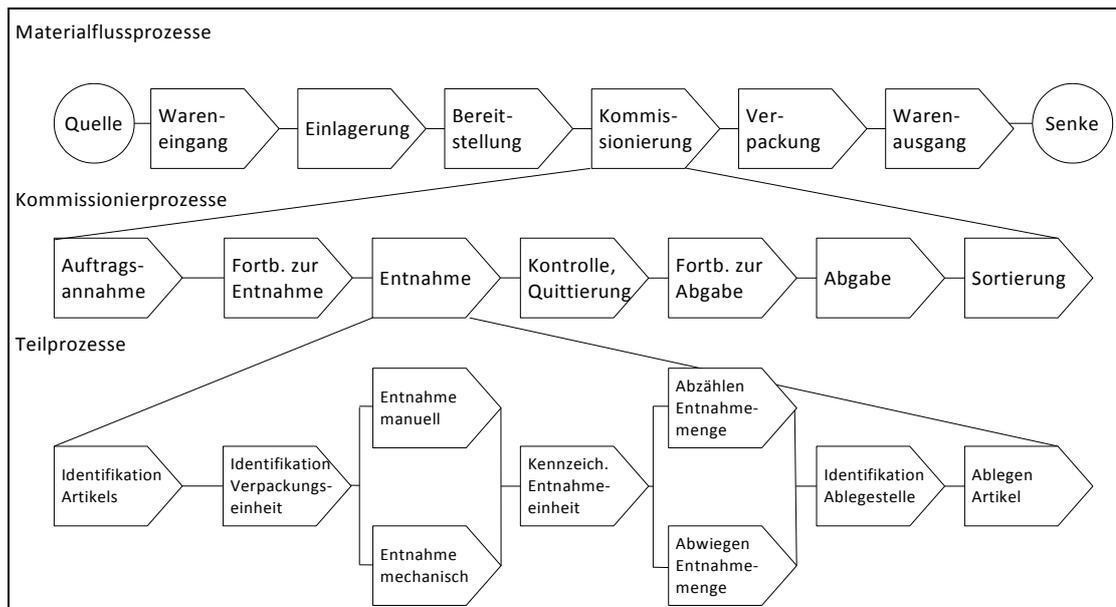
- Geringer Investitionsaufwand
- Einfache Organisation
- Kurze Auftragsdurchlaufzeiten
- Hohe Flexibilität gegenüber schwankenden Durchsatzanforderungen und Sortimentsveränderungen

Den Vorteilen stehen auch Nachteile gegenüber:

- Breites Artikelsortiment mit großen Bereitstelleneinheiten erfordert lange Wege
- Für große Artikelbestände ist ein räumlich getrenntes Reservelager notwendig

Menk entwickelt unter Berücksichtigung der Aspekte des Materialflusssystems, des Organisationssystems und des Informationssystems ein Referenzprozessmodell für die Prozesse der manuellen Kommissionierung (Menk 1998, S. 18 und 92). Das Referenzmodell beschreibt die leistungsmengeninduzierten Vorgänge in der Kommissionierung. Für jeden Kommissionierauftrag sind die Prozesse zu durchlaufen. Die Ausgestaltung der einzelnen Prozesse bestimmt später die Kommissionierdauer für einen Auftrag und damit die zeitliche Beanspruchung der Kapazitäten (s. Kapitel 4.1.1).

Der Kommissionierprozess in konventionellen Kommissioniersystemen wird unterteilt in die Kommissionierprozesse Auftragsannahme, Fortbewegung zur Entnahme, Entnahme, Kontrolle / Quittierung, Fortbewegung zur Abgabe, Abgabe und Sortierung (s. Abbildung 17). Jeder Kommissionierprozess kann aus mehreren Teilprozessen bestehen.



**Abbildung 17: Kommissionieren in der Logistischen Kette (Menk 1998, S. 18 und 149)**

Die Auftragsannahme umfasst die vorbereitenden Tätigkeiten vor dem eigentlichen Kommissioniergang. Hierzu gehören das Aufnehmen der Auftragsinformationen (zum Beispiel Kommissionierliste) oder die Aufnahme von Kommissionierbehältern. Die Auftragsannahme endet, nachdem der Kommissionierer seine erste Position gelesen hat und mit dem Kommissioniergang beginnt.

Fortbewegung zur Entnahme erfolgt nach dem Prinzip Person-zur-Ware. Anhand der Positionen steuert der Kommissionierer den Bereitstellort des Artikels an. Der Prozess endet nach der Identifikation des Bereitstellorts mit der Positionierung vor der Entnahmeeinheit.

Die im Anschluss folgende Entnahme beginnt mit der Identifizierung der Entnahmeeinheit. Das Greifen wird manuell ausgeführt. Die entnommenen Artikel werden in den mitgeführten Kommissionierbehälter abgelegt. Gegebenenfalls ist ein Abzählen oder Abwiegen der Entnahmemenge notwendig.

Im Rahmen der Kontrolle und Quittierung prüft der Kommissionierer die Entnahmeeinheiten (zum Beispiel auf Beschädigungen) und quittiert anschließend die Entnahme (zum Beispiel Abhaken der Position auf der Pickliste).

Der Kommissioniergang ist beendet, wenn alle Positionen des Kommissionierauftrages bearbeitet worden sind oder der Kommissionierbehälter voll ist. Es folgt die Fortbewegung zur Abgabe. Am Ort der Abgabe werden Verpackungsaufgaben durchgeführt, der Kommissionierauftrag zurückgemeldet und eventuell angefallener Abfall entsorgt.

Bei einer artikelweisen Kommissionierung (wie sie in zweistufigen Kommissioniersystemen vorzufinden ist) müssen die Artikel noch entsprechend den Kundenaufträ-

gen sortiert werden. Die Sortierung kann mittels Sorter oder durch einen Kommissionierer erfolgen.

In der Planung von Kommissioniersystemen werden eine Vielzahl von Herausforderungen und komplexen Einflussgrößen berücksichtigt. Von 1973 bis heute ist das Wissen über das Systemverhalten von Kommissioniersystemen und seiner Teilsysteme immer weiter gewachsen. Dennoch benötigt der Planer und Betreiber zur Ermittlung der optimalen Konfiguration des Kommissioniersystems ein hohes Maß an Erfahrungswissen, da die Anforderungen komplex und Einstellmöglichkeiten zahlreich sind (vgl. Gudehus 2005, S. 744). Die Anpassungsmöglichkeiten an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen werden nur als wichtiges qualitatives Auswahlkriterium genannt (siehe auch Kapitel 3.2.3). Eine systematische Untersuchung der Auswirkung von Bedarfsveränderungen auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs findet nicht statt. Die Beschreibung der Eigenschaft ist qualitativ (vgl. Fürwentsches 1974, S. 169).

Ansätze zum operativen Einsatz und Bewertung des Nutzens eines Flexibilitätspotenzials finden sich in den betriebswirtschaftlichen und produktionswirtschaftlichen Arbeiten zur Flexibilität, auf die im Folgenden Kapitel eingegangen wird.

### **3.2 Ansätze zur Flexibilitätsplanung**

Die Entwicklung von Ansätzen, um methodisch auf veränderte Absatzverläufe zu reagieren, haben in der betriebswirtschaftlichen und produktionswirtschaftlichen Forschung eine lange Tradition. Es wurden zahlreiche Lösungsansätze entwickelt, die es Unternehmen oder Unternehmensbereichen ermöglichen, sich an schwankende Auftragslagen in quantitativer (und qualitativer) Hinsicht anzupassen (Horstmann 2005, S. 24). Hanssmann ergänzt: Flexibilität ist die beste Möglichkeit, mit Unsicherheiten in der Zukunft fertig zu werden, vorausgesetzt, dass diese nicht zu teuer werden. Dieses erfordert ein Vorausdenken der Konsequenz alternativer Strategien für alternative Umweltkonstellationen. Das Auffinden von Handlungsalternativen muss jedoch durch Forschung und Planung entdeckt werden (Hanssmann 1987, S. 260).

Für die Entwicklung eines Flexibilitätsverständnisses wird in diesem Kapitel eine Definition der Flexibilität für Kommissioniersysteme erarbeitet und auf ausgewählte Ansätze zur Planung und Nutzung von Flexibilitätspotenzialen vorgestellt. Vor diesem Hintergrund werden die bestehenden Aussagen über die Flexibilität in Kommissioniersystemen betrachtet.

### 3.2.1 Entwicklung eines Flexibilitätsverständnisses

Zur Beschreibung der Flexibilität wird ein Unternehmen, oder Teile dessen, häufig als ein System modelliert (Pibernik 2001, S. 17). Im Fokus der systemtheoretischen Betrachtung stehen Reaktionsprozesse zur Kompensation von Störungen, um einen stabilen Gleichgewichtszustand zu erreichen oder zu erhalten. Für das Kommissioniersystem werden in der vorliegenden Arbeit die Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen als störend für das Systemgleichgewicht verstanden.

Veränderungen des Systemumfelds lösen eine Nachfrage nach Flexibilität (Flexibilitätsbedarf) aus, die durch ein dem gegenüberstehendes Angebot an Flexibilität (Flexibilitätpotenzial) befriedigt werden kann. Diese Betrachtungsweise zeigt auf, dass Flexibilität als grundsätzlich kontext- und bedarfsspezifisch zu verstehen ist. Ohne den Bezug auf eine Störung, die einen Flexibilitätsbedarf auslöst, ist das Attribut „flexibel“ zur Beschreibung eines Systems bedeutungslos (Pibernik 2001, S. 41). Eine angepasste Flexibilität liegt dann vor, wenn das Flexibilitätsangebot den Flexibilitätsbedarf deckt (Kaluza 1993, S. 1181). Im Falle der Unausgeglichenheit von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätpotenzial sind entsprechende Strategien zum Ausgleich zu ergreifen. In der Planung von Flexibilitätpotenzialen ist die Berücksichtigung des Zeitbezugs von fundamentaler Bedeutung (Kaluza 1993, S. 1181). Zum Beispiel tritt zwischen dem Flexibilitätsbedarfs und der Einleitung entsprechender Flexibilitätsmaßnahmen eine Verzögerungszeit auf. Die Verzögerungszeit betrachtet den Abstand zwischen dem Zeitpunkt der Entscheidung und dem Zeitpunkt, bis die Wirkung eintritt.

Hinsichtlich der Zeitdimension unterscheidet Jacob die Bestandsflexibilität von der Entwicklungsflexibilität. Die Bestandsflexibilität bezeichnet die Reaktionsmöglichkeiten der Unternehmen zur kurzfristigen Anpassung an schwankende Beschäftigungsgrade unter Nutzung vorhandener Kapazitäten (Jacob 1974, S. 322). Maßnahmen zur mittel- und langfristigen Anpassung unter struktureller Veränderung der Kapazitäten werden unter dem Begriff der Entwicklungsflexibilität zusammengefasst. Im Folgenden sind kurzfristig wirkende Anpassungsmaßnahmen in Kommissioniersystemen durch die zielgerichtete Beeinflussung und Nutzung vorhandener Kapazitäten gekennzeichnet.

Mit der Schaffung und Erhaltung von Flexibilitätpotenzialen entstehen einer Unternehmung Kosten. Die Maximierung der Flexibilität kann daher nicht als Selbstzweck angesehen werden. Während die Bestimmung der Kosten für die Schaffung von Flexibilitäten relativ einfach durchzuführen ist, stellt die Bewertung der Kosten für Inflexibilität eine große Schwierigkeit dar. Die Gestaltung von Flexibilitätpotenzialen muss unter Abwägung von Kosten und Nutzen bezüglich der quantifizierbaren

sowie auch der nicht genau erfassbaren Kriterien unternehmensspezifisch durchgeführt und permanent geprüft werden.

Aus der Notwendigkeit heraus, auf starke Absatzschwankungen wirtschaftlich zu reagieren, haben sich über die letzten 90 Jahre die unterschiedlichsten Konzepte entwickelt, Unternehmen zu flexibilisieren. Vor dem Hintergrund der Weltwirtschaftskrise gehen erste Überlegungen auf Schmidt und Schmalenbach zurück (Schmidt 1926; Schmalenbach 1928). Während bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts Konzepte zur Entscheidungsfindung bei Ungewissheit im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Diskussion standen, stehen seit den 80er Jahren die Klassifikation und Messansätze der Flexibilität im Vordergrund. Schwerpunkt der Betrachtungen ist der Fertigungsbereich (Browne et al. 1984; Sethi, Sethi 1990; Giere 2008, S. 14). Im deutschen und anglo-amerikanischen Sprachraum hat sich seit den 90er Jahren die isolierte Betrachtung einzelner Unternehmensbereiche erweitert. Zunehmend rückten unternehmensübergreifende Aspekte in den Fokus. Beispielsweise wird unter dem Begriff der Agilität im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch die Fähigkeit eines Unternehmens verstanden, in einem starken Wettbewerbsumfeld auf starke und unerwartete Schwankungen und Marktveränderungen schnell reagieren zu können. Kern des Agilitätskonzeptes bildet die Notwendigkeit der Unternehmen, nicht nur auf Ressourcenebene flexibel zu agieren sondern auch auf Unternehmensebene und unternehmensübergreifenden Ebenen (vgl. Yusuf et al. 1999).

Trotz der vielfältigen Forschungsansätze zur Flexibilität in Unternehmen hat sich bis heute keine umfassende und geschlossene Flexibilitätstheorie gebildet (Giere 2008, S. 17). Bei den zahlreichen und zum Teil sehr unterschiedlichen Konzepten zur Flexibilitätsplanung handelt es sich bei der Flexibilität allgemein um eine Eigenschaft, beziehungsweise eine Fähigkeit von Systemen, sich an Veränderungsprozesse anzupassen<sup>1</sup> (vgl. Sethi, Sethi 1990, S. 295; Upton 1994, S. 73; Schneeweiß, Kühn 1990, S. 379). Hocke identifiziert Gemeinsamkeiten der verschiedenen Flexibilitätsdefinitionen (Hocke 2004, S. 15). Hinsichtlich der betrachteten Dimensionen in den Definitionen der Flexibilität gilt:

---

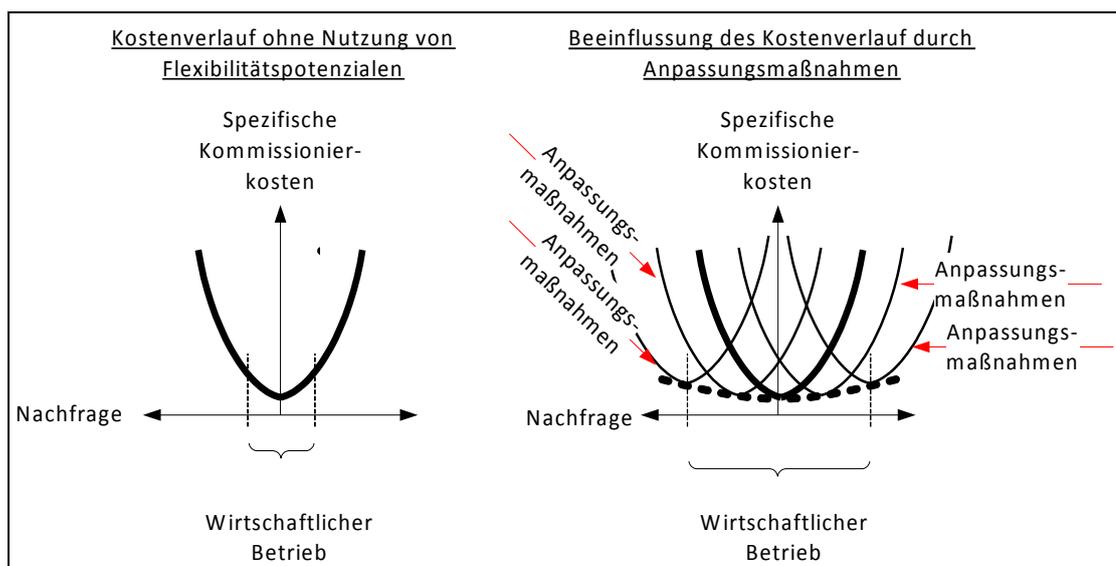
<sup>1</sup> „Flexibility of a system is its adaptability to a wide range of possible environments that it may encounter. A flexible system must be capable of changing in order to deal with a changing environment.“ Sethi, Sethi 1990, S. 295; „Flexibility the ability to change or react with little penalty in time, effort, cost or performance.“ Upton 1994, S. 73; „Flexibilität ist als Maß für die Fähigkeit eines Systems anzusehen, sich veränderten Umweltsituationen anzupassen.“ Schneeweiß, Kühn 1990, S. 379

Ein System verfügt über die Eigenschaft der Flexibilität, wenn

- es Veränderungen bewältigen kann,
- Handlungsspielräume vorhanden sind, um Anpassungen des Systemzustandes zu ermöglichen und
- es zum zielgerichteten Handeln befähigt ist.

Pibernik entwickelt eine umfassende operativ nutzbare Definition der Flexibilität zur Gestaltung von Unternehmensprozessen. Pibernik definiert die Flexibilität als die Fähigkeit eines offenen, dynamischen, sozio-technischen Systems, mittels eines vorhandenen (Flexibilitäts-) Potenzials zielgerichtet auf relevante system- und umwelt-induzierte Veränderungen zu reagieren (Pibernik 2001, S. 45).

Abgeleitet aus den Flexibilitätsdefinitionen wird im weiteren Verlauf des vorliegenden Forschungsvorhabens angenommen: Als relevante – auf Kommissioniersysteme wirkende – Veränderungen werden die Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen definiert. Die Relevanz ergibt sich aus dem Anspruch des Unternehmens, bei unterschiedlichen Beschäftigungslagen wirtschaftlich zu kommissionieren. Wie bereits aufgezeigt, hängt die Wirtschaftlichkeit des Kommissionierens von den installierten Kapazitäten (welche anteilig hohe Fixkosten verursachen) und der Beschäftigungssituation ab. Das gesuchte Flexibilitätspotenzial muss folglich dazu in der Lage sein, Maßnahmen aufzuzeigen, die den Fixkostenverlauf zielgerichtet beeinflussen. Die betrachteten Kosten beziehen sich auf die entscheidungsrelevanten Kosten (vgl. Pfohl 2004, S. 30). Ziel ist ein flexibles Kommissioniersystem, welches die Fähigkeit besitzt, (nahezu) konstante spezifische Kommissionierkosten unabhängig von der Beschäftigungssituation zu erreichen (s. Abbildung 18).



**Abbildung 18: Beeinflussung der spezifischen Kommissionierkosten durch gezielte Nutzung von Anpassungsmaßnahmen**

Auf Grundlage dieses Flexibilitätsverständnisses wird nachfolgend untersucht, welche Flexibilitätsansätze in Unternehmen und Kommissioniersystemen bereits umgesetzt sind. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf der Identifizierung zielgerichtet einsetzbarer quantitativer Flexibilitätspotenziale für konventionelle Kommissioniersysteme.

### **3.2.2 Ansätze zur Operationalisierung der Flexibilität in Unternehmen**

Konkrete Ansätze zur Operationalisierung der Flexibilität in Unternehmen finden sich bereits bei Meffert (Meffert 1969, S. 783). Schneeweiß, Kühn listen diesbezüglich weitere Autoren auf und sehen den Schwerpunkt der Flexibilitätsforschung seit den 60er Jahren in der Beschäftigung mit dynamischen Systemen. Wegweisende Entwicklungen mit operativem Nutzen sind die Ansätze zur flexiblen Fertigung, flexiblen Arbeitszeitreglung, etc. (Schneeweiß, Kühn 1990, S. 378). Seit dem Jahr 2000 befassen sich erneut verschiedene Forschungsansätze konkret mit der Operationalisierung von Flexibilitätspotenzialen. Ausgehend von der Notwendigkeit, im Unternehmen ganzheitlich auf Veränderungen zu reagieren, haben sich verschiedene Ansätze entwickelt, um auf den verschiedenen Unternehmensebenen flexibel zu sein. Ausgewählte Beispiele sind:

- Pibernik (Pibernik 2001): Netzwerkebene in Wertschöpfungsnetzwerken
- Horstmann (Horstmann 2005): Unternehmensebene
- Roscher, Krüger (Roscher 2008; Krüger 2004): Unternehmensbereich (Montageplanung)

Konkrete Ansätze für den Logistikbereich sind von Hocke, Kühn und Baker betrachtet. Während Hocke sich primär auf die gesamte logistische Wertschöpfungs- beziehungsweise Transportkette bezieht, untersucht Baker Flexibilitätspotenziale in Distributionszentren. Schwerpunkt seiner Beobachtung sind Maßnahmen, um Distributionszentren innerhalb der Supply Chains flexibel zu gestalten (Baker 2008). Seine Untersuchungsergebnisse geben Aufschluss über die Anforderungen an Kommissioniersysteme innerhalb großer Distributionszentren. Seine Analyse ist qualitativ und deskriptiv.

Für die Zielstellung im Rahmen des Forschungsvorhabens sind die Ansätze von Pibernik, Roscher und Krüger besonders interessant. Pibernik entwickelt eine operationale Flexibilitätsdefinition für betriebswirtschaftliche Systeme und beschreibt einen Planungsansatz zur systematischen Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken. Pibernik wendet zur Entscheidungsfindung dynamische Entscheidungsmodelle an, die durch die Dynamische Optimierung gelöst werden (Pibernik 2001, S. 41 und S. 66). Für das vorliegende Forschungsprojekt sind die methodischen Überlegungen zur Flexibilitätsplanung und Operationalisierung der Flexibilität von Bedeu-

tung. Auch wenn sich Pibernik auf die Wertschöpfungsnetzwerke konzentriert, können auf Grund der systemtheoretischen Basis der Flexibilitätsplanung die Ansätze zur Planung von Wertschöpfungsnetzwerken auf Kommissioniersysteme übertragen werden. Nach seinem Ansatz können Kommissioniersysteme so gestaltet werden, dass sie die Fähigkeit besitzen, auf Umweltweinflüsse (und selbst induzierte) Einflüsse in einer zielgerichteten Weise zu reagieren (vgl. Pibernik 2001, S. 2).

Der Forschungsansatz von Roscher konzentriert sich auf die quantitative Bewertung des Nutzens von Flexibilitätsstrategien in der Montage (Roscher 2008, S. 15). Der Nutzen der Flexibilitätsstrategien wird über durchzuführende Betriebs- und Anpassungskosten während eines mehrstufigen Entscheidungsprozesses bestimmt. Die Flexibilitätsanforderungen an die Montage und das Planungsvorgehen während des Betriebs des Montagesystems sind in verschiedenen Punkten miteinander vergleichbar. Beispielsweise ist in beiden Systemen die Abhängigkeit der Systemleistung vom eingesetzten Personal sehr hoch. In den von Roscher betrachteten Montagesystemen in der Automobilindustrie findet außerdem eine konsequente Orientierung der Produktionsplanung an den Marktbedürfnissen statt. Fahrzeuge werden marktsynchron gefertigt, Auftragsschwankungen werden nicht über ein Lagersystem ausgeglichen. Damit besteht in beiden Systemen eine enge und unmittelbare Marktbindung.

Krüger untersucht die organisatorischen, technischen und personellen Maßnahmen zur Anpassung der Montage an Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. Im Gegensatz zu Roscher werden die Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen explizit analysiert und Einflussgrößen bestimmt. Teilergebnisse seiner Untersuchung sind bereits in Kapitel 1.2.1 angesprochen worden.

Die ausgewählten Planungsansätze zur Flexibilität in Unternehmensbereichen zeigen, dass die Herausforderungen in Kommissioniersystemen ähnlich denen in der Montage sind, wenn in der Montage eine bedarfssynchrone Produktion ohne Endbevorratung stattfindet. In beiden Fällen konzentrieren sich die Anpassungsmaßnahmen auf die Anpassung der Kapazitäten, da auf Grund der kurzen Reaktionszeiten Belastungsanpassungen und Belastungsausgleiche kaum durchzuführen sind.

### **3.2.3 Ansätze zur Flexibilitätsplanung in Kommissioniersystemen**

Von mehreren Autoren wird die Notwendigkeit explizit benannt, Kommissioniersysteme flexibel zu gestalten. Für Fürwentsches ist die Flexibilität ein wichtiges qualitatives Entscheidungskriterium bei der Auswahl eines Kommissioniersystems. Seine Definition der Flexibilität für Kommissioniersysteme ist in die VDI-Richtlinie 3590 übernommen worden. Flexibilität ist die „... kurzfristige Anpassungsmöglichkeit an Schwankungen in der geforderten Kommissionierleistung“ (Fürwentsches 1974, S. 85; Richtlinie VDI 3590). Gudehus betrachtet verschiedene Dimensionen der Flexi-

bilität in Kommissioniersystemen. Je nach Realisierungsvariante des Kommissioniersystems sind diese flexibel gegenüber Durchsatzanforderungen, Sortimentsveränderungen, Veränderung der Leistungsanforderung oder der Veränderung der Auftragsstruktur (vgl. Gudehus 2005, S. 696–703). Auch für ten Hompel et al. „spielt die Flexibilität [bei Änderungen des Marktes] eines Kommissioniersystems eine wichtige Rolle.“ (ten Hompel et al. 2007, S. 253)

In den genannten Grundlagen-Veröffentlichungen zu Kommissioniersystemen wird die Flexibilität als eine notwendige Eigenschaft für Kommissioniersysteme betrachtet. Die Flexibilität nimmt unterschiedliche Dimensionen an, um gezielt auf unterschiedliche, als relevant bewertete Veränderungen zu reagieren. Allerdings erfolgt die Beschreibung des Anpassungsvermögens an veränderte Randbedingungen nur qualitativ. Eine Analyse und Planungssystematik zur flexiblen Nutzung des Kommissioniersystems während der Betriebsphase findet nicht statt. In der Regel werden während der Planung von Kommissioniersystemen die Leistungsanforderungen für einen definierten Betriebszeitraum bestimmt, indem die Ist-Anforderungen anhand der aus der Unternehmensplanung ermittelten Prognosezahlen hochgerechnet werden (Gudehus 2005, S. 687). Veränderungen der Rahmenbedingungen werden in Szenarien festgehalten und Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Ergebnis ist oft ein sukzessives Erweiterungs- oder Rückbaukonzept. Die Betrachtung von konkreten kurzfristigen Anpassungsmaßnahmen wird während der Planung nicht ausreichend berücksichtigt.

Für die Kommissionierung sind keine systematischen und quantitativen Planungsansätze bekannt, die es ermöglichen, kurzfristig und unter Berücksichtigung der Betriebs- und Anpassungskosten im Sinne der hergeleiteten Flexibilitätsdefinition über mehrere Perioden ein wirtschaftliches Gesamtoptimum zu erreichen.

Wie bereits in Kapitel 1.2 dargestellt ist eine wichtige Ursache für den Mangel an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in dem leistungsmengenunabhängigen Kostenverhalten der Kapazitäten begründet. Das folgende Kapitel beleuchtet die Kapazitätsplanung unter dem Gesichtspunkt der Flexibilitätsplanung.

### **3.3 Kapazitätsplanung**

Die Bedeutung der Kapazität im Zusammenhang mit dem Anpassungsvermögen an unterschiedliche Beschäftigungssituationen ist im Rahmen dieser Arbeit bereits mehrfach angesprochen worden. In diesem Kapitel werden die wesentlichen Aspekte der Kapazitätsplanung hervorgehoben, die für die spätere Bestimmung eines Flexibilitätspotenzials in Kommissioniersystemen von Bedeutung sind. Auf Basis der verschiedenen Aspekte der Kapazitätsplanung wird ein Bewertungsschema für Flexibilitätspotenziale abgeleitet.

#### **3.3.1 Bestimmung von Kapazitäten**

Die Kapazität bezeichnet allgemein das qualitative und quantitative Leistungsvermögen eines Kommissioniersystems innerhalb einer Periode. Bei der Bestimmung der Kapazität wird zwischen der qualitativen und der quantitativen Kapazität unterschieden. Der Gestaltungsschwerpunkt der quantitativen Kapazitätsplanung wird bei der funktionalen Gliederung der Unternehmenskapazität deutlich. Die Betriebsmittelkapazität bezeichnet die Summe der in einer Periode möglichen Betriebsmittelnutzungsdauer. Die (quantitative) Personalkapazität beschreibt den möglichen Einsatz des Personals während einer Periode. Da die Einsatzzeit von Betriebsmitteln oft von der verfügbaren Arbeitszeit des Personals abhängt, bildet die Personalkapazität häufig den Engpass in sozio-technischen Systemen (Günther 1989, S. 18). Die quantitative Kapazität wird auch als mengenmäßiges Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit in einem gegebenen Zeitabschnitt verstanden (Günther 1989, S. 18). Daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von einer Periodenkapazität. Die Messung der quantitativen Kapazität erfolgt stets in Bezug auf die Perioden. Die Länge der betrachteten Periode ist abhängig vom Planungszeitraum und dem Planungsfall. Investitionen haben einen langfristigen Planungshorizont von 2 - 3 Jahren, teilweise auch deutlich länger. Die Personaleinsatzplanung, als kurzfristige Kapazitätsplanung, hat teilweise einen Planungszeitraum von einer Woche oder deutlich kürzer.

Die qualitative Kapazität bezieht sich auf die Art und Güte der Leistung des eingesetzten Personals und der Betriebsmittel (Hoitsch 1993, S. 6). Hierzu gehören Aspekte wie die Qualifikation der Mitarbeiter oder das universelle oder spezielle Einsatzgebiet von Betriebsmitteln. Im Rahmen des Forschungsvorhabens liegt der Schwerpunkt auf den quantitativen Kapazitätsaspekten, da die Leistungsqualität der betrachteten Teile eines Kommissioniersystems unverändert bleibt.

### 3.3.2 Quantifizierung von Kapazitäten

Zur Festlegung der quantitativen Kapazität (Kapazitätsbedarf) erfolgt im ersten Schritt eine Kapazitätsbelastungsrechnung. Hierzu wird der Kapazitätsbedarf unmittelbar aus den angenommenen Auftragsmengen abgeleitet. Für eine betrachtete Kapazität setzt sich der Kapazitätsbedarf aus der Summe aller Arbeitsinhalte zur Leistungserstellung innerhalb einer betrachteten Periode zusammen. Die Belastungsrechnung berücksichtigt neben dem Fertigstellungstermin auch den Arbeitsinhalt eines Arbeitsvorgangs. (Die genaue Ermittlung der Belastung in Kommissioniersystemen wird in Kapitel 4 beschrieben).

$$Kapazitätsbedarf = \sum_{\text{Periodenbeginn}}^{\text{Periodenende}} \left( \sum_p^{\text{alle Artikel innerhlab einer Periode}} Arbeitsinhalte_p \right)$$

Die quantitative Kapazität setzt sich zusammen aus drei Dimensionen (Hoitsch 1993, S. 7):

1. Leistung je Zeiteinheit (Intensität) (P)
2. Anzahl (#) an gleichzeitig einsetzbaren Teilsystemen mit einem definierten Kapazitätsquerschnitt
3. Zeit (t)

Es gilt allgemein:

$$Kapazitätsangebot_{theoretisch} = t_{max} \times P_{max} \times \#_{max}$$

Zur genauen Bestimmung des Kapazitätsangebotes können weitere leistungsbeeinflussende Faktoren berücksichtigt werden. Zu diesen Faktoren gehören bei Mitarbeitern der Zeitgrad und der Anlernverlust. Bei Betriebsmitteln wird die Leistung auf Grund einer anzunehmenden maximalen Auslastbarkeit und maximalen Verfügbarkeit reduziert.

Für die Personalkapazität (Index MA) gilt:

Die Personalkapazität setzt sich aus der nominellen Arbeitszeit (t), der Leistung eines Mitarbeiters (P) und der Personalstärke (#) zusammen. Zusätzlich wird der Zeitgrad eines Mitarbeiters berücksichtigt. Der Zeitgrad ist ein Produktivitätsmaß, welches die Vorgabezeit zur Anwesenheitszeit eines Mitarbeiters ins Verhältnis setzt (REFA Bundesverband e.V. 2002, S. 625).

$$Zeitgrad_{MA} = \frac{Vorgabezeit}{Anwesenheitszeit}$$

Werden Mitarbeiter neu eingestellt oder bekommen eine neue Arbeitsaufgabe zugewiesen, benötigen diese eine gewisse Zeit und Übung, bis sie ihre Tätigkeiten mit einem Leistungsgrad von 100 % ausführen können. Bei einem Leistungsgrad von 100 % arbeitet ein Mitarbeiter gemäß der REFA Normalleistung. Die REFA Normalleistung geht davon aus, dass ein fachlich geeigneter, geübter und voll eingearbeiteter Mitarbeiter in der Lage ist, seine Tätigkeit über die Dauer und im Mittel der Schichtzeit zu erbringen (REFA Bundesverband e.V. 2002, S. 315). Bis der Mitarbeiter diese Voraussetzungen erfüllt, ist seine Personalkapazität reduziert. Die Quantifizierung der sogenannten Lernkurveneffekte ist in der Praxis schwierig, da der Effekt von vielen Individual- und Umweltfaktoren abhängig ist. Der Effekt kann zum Beispiel durch Schulungen beeinflusst werden.

Damit ist die Personalkapazität zu einem bestimmten Zeitpunkt t:

$$\text{Kapazität}_{MA} = (\text{nominelle Arbeitszeit}_{MA} \times \text{erwartete Zeitgrad}_{MA} \times \text{Anzahl}_{MA})$$

Für die Betriebsmittelkapazität (Index BM) gilt:

Das Kapazitätsangebot bestimmt sich aus der Anzahl verfügbarer Betriebsmittel (#), der jeweiligen Leistung des Betriebsmittels (P) und der Einsatzzeit (t). Eine geplante maximale Auslastbarkeit und Verfügbarkeit reduzieren das Kapazitätsangebot (Gudehus 1973, S. 95). Die Auslastbarkeit berücksichtigt in Kommissioniersystemen Effekte, die durch fehlenden Nachschub oder durch Wartezeiten entstehen. Sie ist eine zeitabhängige und unternehmensspezifische Größe. Die Verfügbarkeit ist ähnlich dem Zeitgrad definiert und bewertet den Anteil der wertschöpfenden Tätigkeiten zu den nicht-wertschöpfenden. Gudehus nimmt für beide Kennwerte einen Wert zwischen 0,95% und 100% an. Damit gilt für die Betriebsmittelkapazität in Kommissioniersystemen:

$$\text{Kapazität}_{BM} = \text{Anzahl}_{BM} \times \text{Leistung}_{BM} \times \text{Betriebsnutzungsdauer}_{BM} \times \eta_{\text{Verfügbarkeit}} \times \eta_{\text{Auslastbarkeit}}$$

Sind die Kapazitätsangebote der Mitarbeiter und der Betriebsmittel definiert, wird im nächsten Schritt dem Kapazitätsbedarf das ermittelte Kapazitätsangebot gegenübergestellt. Es folgt die Abstimmung der Kapazität.

### 3.3.3 Abstimmen von Kapazitäten

Ist der Kapazitätsbedarf identisch mit dem Kapazitätsangebot, liegt eine Kapazitätsdeckung vor (Fall A in Abbildung 19). Unterkapazitäten treten auf, wenn der Kapazitätsbedarf größer ist als das Kapazitätsangebot (Fall B). Übersteigt das Kapazitätsangebot den Kapazitätsbedarf, so kommt es zu sogenannten Überkapazitäten (Fall C).

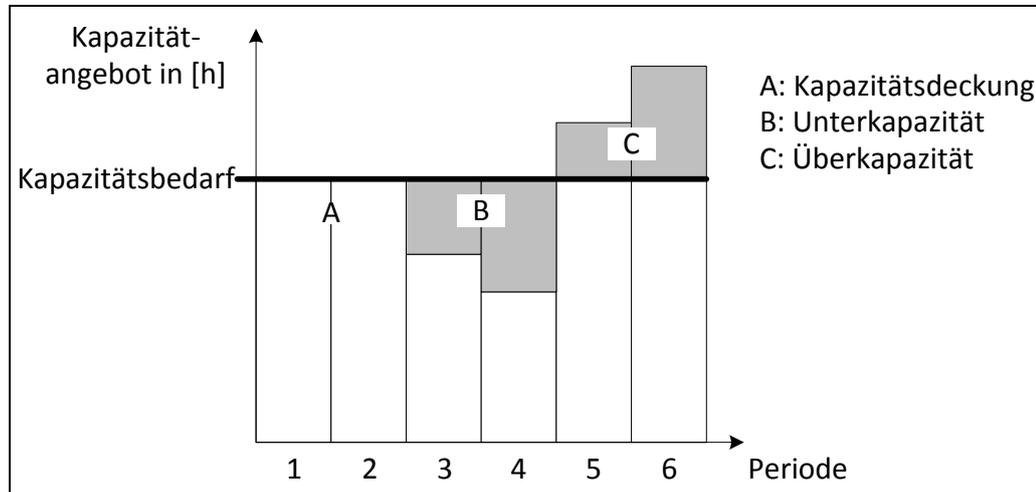
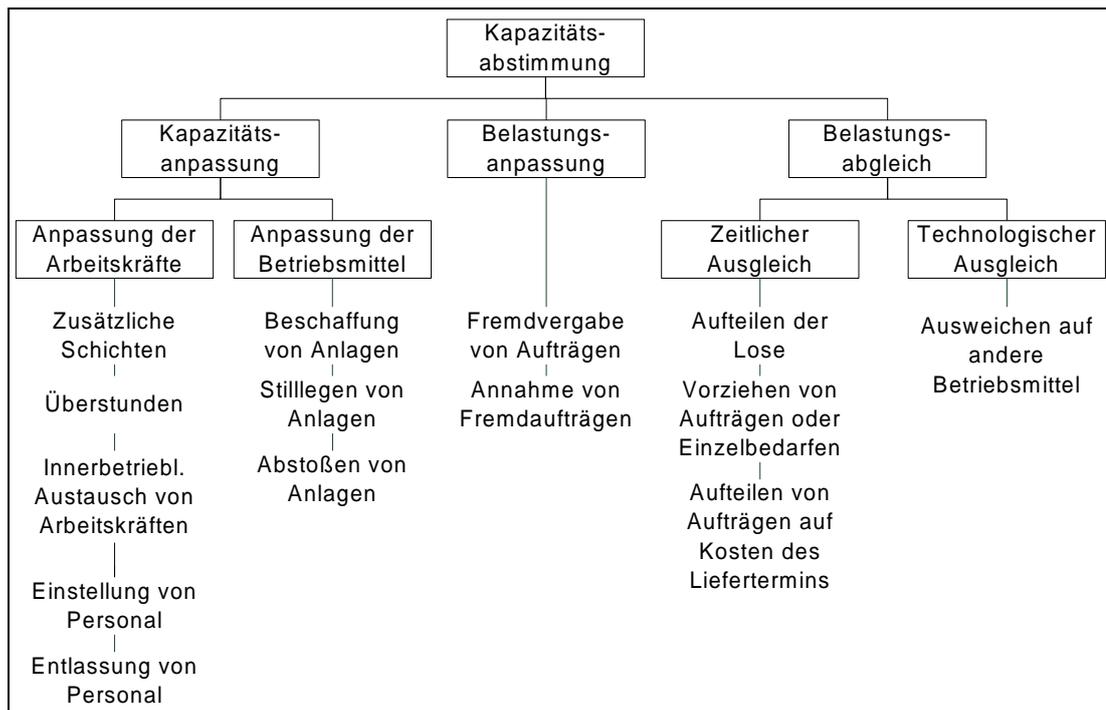


Abbildung 19: Kapazitätsabgleich (Wöhe, Döring 2008, S. 415)

Bei Über- und Unterkapazitäten erfolgt die Kapazitätsabstimmung. Die Kapazitätsabstimmung kann grundsätzlich erfolgen, indem die Kapazitäten an den Kapazitätsbedarf angepasst werden (Überstunden anordnen, Personalstärke variieren) (s. Abbildung 20). Alternativ kann neben der Anpassung der Kapazitäten auch eine Anpassung der Belastung erfolgen (Fremdvergabe von Aufträgen). Eine dritte Möglichkeit stellt der zeitliche Ausgleich der Belastungen dar (Ausweichen auf andere Betriebsmittel). Welche Anpassungsformen und Maßnahmen konkret auszuwählen sind, hängt im Wesentlichen von der zeitlichen Struktur der Abweichung des Kapazitätsangebots vom Kapazitätsbedarf ab (Wiendahl 2004, S. 323).

Die Form der Anpassung wird in drei Gruppen gegliedert. Basierend auf den Untersuchungen von Gutenberg, Albach werden unterschieden (Gutenberg, Albach 1990, S. 356):

- intensitätsmäßige Anpassungen
- zeitliche Anpassungen
- quantitative Anpassungen.



**Abbildung 20: Maßnahmen zur Kapazitätsabstimmung (Wiendahl 2004, S. 322)**

Die intensitätsmäßige Anpassung von Kapazitäten erfolgt durch die Veränderung der Prozessgeschwindigkeit (Durchsatz pro Zeit) bei ansonsten gleichen Bedingungen. Diese Form der Anpassung wird in technischen Systemen in der Regel nicht angewendet, da der Kostenverlauf nicht linear von der Intensität abhängt. Die Intensität wird meist nur verändert, wenn technologische Gründe vorliegen (zum Beispiel verfahrenstechnische Prozesse mit kontinuierlicher Produktion) (Wöhe, Döring 2008, S. 381).

Die zeitliche Anpassung führt zur Veränderung der Produktionszeit innerhalb der betrachteten Periode. Die in der Praxis sehr häufig vorzufindende Form der Anpassung variiert die Einsatzdauer der eingesetzten Ressourcen. Dieses kann zum Beispiel die Erhöhung der Anwesenheitszeit von Mitarbeitern während eines Arbeitstages durch die Anordnung von Überstunden sein. Der Vorteil der zeitlichen Anpassung ist die meist lineare Abhängigkeit der Gesamtkosten von der Einsatzzeit (Wöhe, Döring 2008, S. 381).

Die quantitative Anpassung variiert die Anzahl der eingesetzten Produktionsfaktoren wie Personal oder Betriebsmittel. Hierzu gehört ebenso das Stilllegen von Betriebsmitteln wie auch die Variation der Personalstärke.

Die verschiedenen Anpassungsformen können miteinander kombiniert werden. Welche Kombinationen sich in der Praxis eignen, ist im Einzelfall zu prüfen. Dyckhoff bewertet beispielsweise die Kombination von zeitlicher Anpassung der Arbeitskräfte

bei gleichzeitiger intensitätsmäßiger Anpassung der Betriebsmittel als nicht sinnvoll (Dyckhoff 2006, S. 293).

Die Auswahl der Anpassungsmaßnahmen hängt in der Praxis erheblich von der zeitlichen Struktur und der Höhe der Abweichungen von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot ab (Wiendahl 2004, S. 323). Für jede Anpassungsform müssen neben dem möglichen Ausmaß der Anpassung die verursachten Kosten beurteilt werden. Nur durch die Kenntnis der Kosten kann bei bestehenden Anpassungsalternativen die optimale Anpassungsentscheidung getroffen werden (Dyckhoff 2006, S. 293).

### **3.3.4 Zeitlicher Verlauf der Kapazitätsanpassung**

In der Kapazitätsplanung werden drei Abstimmungsverläufe unterschieden. Die Unterscheidung der Abstimmungsverläufe eignet sich dazu, unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens zu beschreiben und miteinander zu vergleichen (Krüger 2004, S. 35). Nach Hoitsch sind die drei Abstimmungsverläufe für die Kapazität (Hoitsch 1993, S. 96) (s. Abbildung 21):

- Gleichlaufprinzip
- Ausgleichsprinzip
- Zeitstufenprinzip

Beim Gleichlaufprinzip wird die Produktionsgeschwindigkeit der Absatzgeschwindigkeit angeglichen. Insbesondere beim Rückgang der Absatzgeschwindigkeit können hohe Überkapazitäten entstehen, die sogenannte Leerkosten verursachen. Damit sind die Geschwindigkeit und die Höhe, mit der sich die Kapazitäten an den Absatzverlauf anpassen können, von großer Bedeutung für die Kostenwirkung. Beim Ausgleichsprinzip ist die Produktionsgeschwindigkeit losgelöst von der Absatzgeschwindigkeit. Die Produktionsgeschwindigkeit bleibt über einen längeren Zeitraum konstant. Durch das Ausgleichsprinzip können die Kapazitäten auf konstantem Niveau ausgelastet werden. Die Stückkosten sind gering. Die Veränderung der Absatzgeschwindigkeit führt zu einem Bestandsaufbau oder Bestandsabbau im Lager. Nachteilig sind die entstehenden Lagerkosten (in der Kommissionierung fast nicht möglich). Dies gilt sowohl für die Kosten des physischen Lagerortes als auch für die entstehenden Kapitalbindungskosten. Als Mischform aus dem Gleichlaufprinzip und dem Ausgleichsprinzip hat sich das Zeitstufenprinzip entwickelt. Beim Zeitstufenprinzip passt sich die Produktionsgeschwindigkeit in diskreten Stufen (nicht kontinuierlich) an die Absatzgeschwindigkeit an. Dieses Verhalten wird erreicht, wenn die Struktur der fixen Kosten an die Beschäftigungslage angepasst wird (vgl. Kapitel 1.2.2).

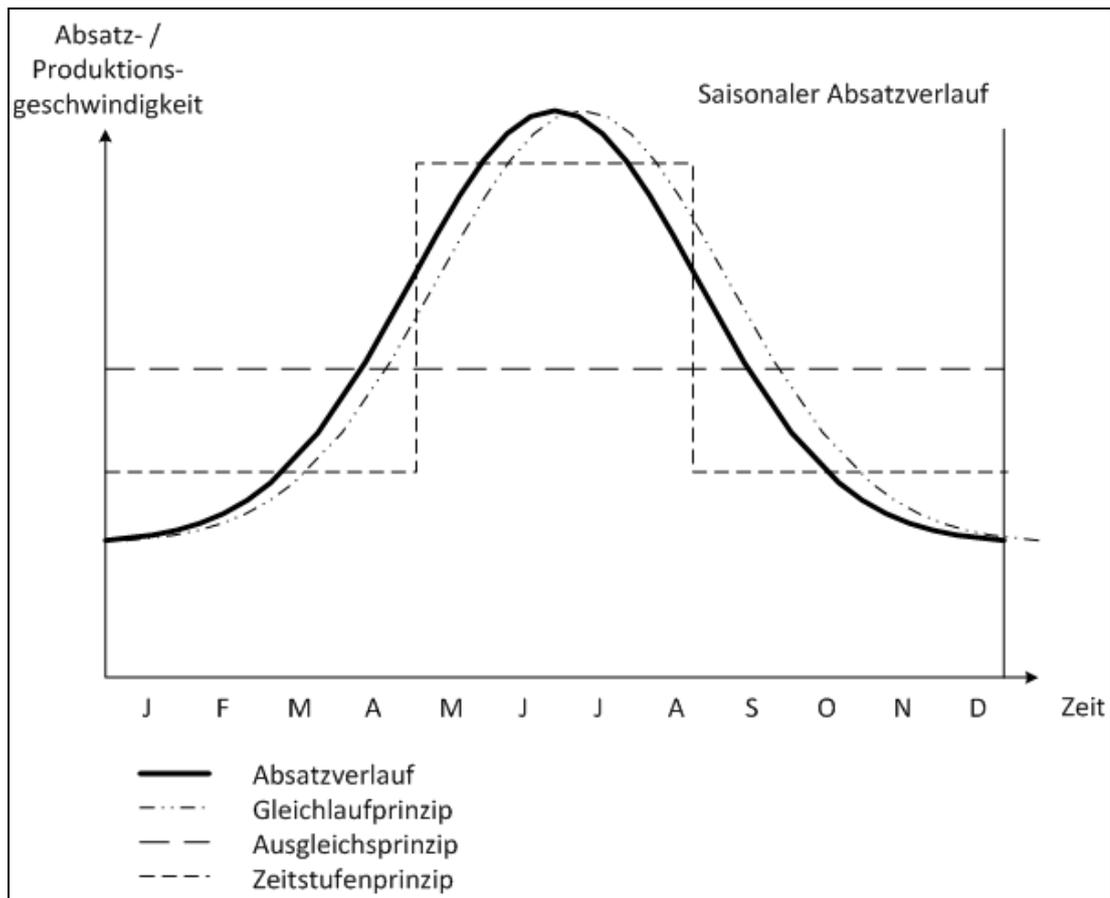


Abbildung 21: Formen der Kapazitätsabstimmung

### 3.4 Zusammenfassende Darstellung und Bewertungsschema für Flexibilitätspotenziale

Die Analyse des Aufbaus und der Planung von Kommissioniersystemen zeigt, wie konventionelle Kommissioniersysteme arbeiten und wie Kapazitäten in Anspruch genommen werden. Im Zusammenhang mit der Flexibilitätsplanung kann die Notwendigkeit bestätigt werden, Kommissioniersysteme flexibel zu gestalten. Dennoch sind keine umfassenden Planungsansätze bekannt, wie Kommissioniersysteme systematisch an Nachfrageschwankungen und Bedarfsveränderungen angepasst werden können. Das vorliegende Forschungsvorhaben konzentriert sich auf die Bestandsflexibilität von Kommissioniersystemen. Kern ist die zielgerichtete Beeinflussung und Nutzung vorhandener Kapazitäten. Kapazitäten werden in die Gruppen Personal- und Betriebsmittelkapazität unterschieden. Die Einflussgrößen zur Bestimmung der Kapazitäten sind die Leistung, die Zeit und die Anzahl gleichartiger Einheiten. Die Anpassung der Kapazitäten erfolgt mit dem Ziel der Kapazitätsdeckung. Auf verschiedene Anpassungsmaßnahmen wurden eingegangen. Als Anpassungsform stehen intensitätsmäßige, zeitliche und quantitative Klassen zur Verfügung. Die zeitliche Wir-

kung der Anpassungsmaßnahmen erfolgt nach dem Gleichlaufprinzip, Ausgleichsprinzip oder Zeitstufenprinzip.

Aus dem Zusammenhang leitet sich das Bewertungsschema von Flexibilitätspotenzialen in Kommissioniersystemen bei Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen ab (s. Tabelle 1).

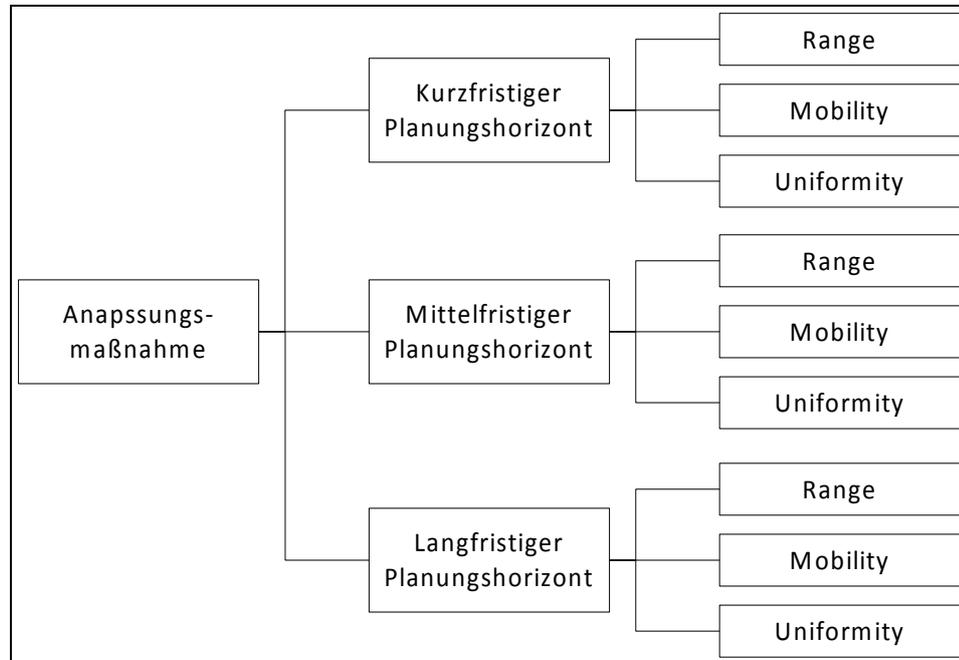
**Tabelle 1: Schema zur Beschreibung von Flexibilitätspotenzialen**

Flexibilitäts-potenzial	Bewertungsmerkmal	Merkmalsausprägung			
Qualitative Be-schreibung	Form der Kapazität	Personal		Betriebsmittel	
	Art der Anpassung	Anpassung der Kapazität	Anpassung der Belastung	Abgleich der Belastung	
	Form der Anpassung	Zeitlich	Intensitätsmäßig	Quantitativ	
Quantitative Beschreibung	Zeitliche Wirkung	[Einflussgrößen]			
	Kapazitive Höhe	[Einflussgrößen]			
	Zeitlicher Aufwand	[Einflussgrößen]			
	Monetärer Aufwand	[Einflussgrößen]			
Bewertung der Eignung	Grad der Eignung des Flexibilitätspotenzials zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen	Hoch	Mittel	Gering	Keine Eignung

Im folgenden Kapitel 4 werden die Flexibilitätspotenziale in konventionellen Kommissioniersystemen systematisch ermittelt und anhand des Bewertungsschemas auf ihre Eignung für die Zielstellung des Forschungsvorhabens hin untersucht.

Die abgeleitete Form zur Beurteilung der Flexibilitätspotenziale von Kommissioniersystemen zur Steigerung der Flexibilität deckt sich mit mehreren Ergebnissen zur Flexibilitätplanung zum Beispiel von Upton, Koste, Malhotra oder Slack (s. Upton 1994; Koste, Malhotra 1999; Slack 2005). Upton beurteilt beispielsweise neben dem zeitlichen Aspekt die Auswirkungen von Flexibilitätsbedarfen anhand der drei Dimensionen „Range“, „Mobility“ und „Uniformity“ (Upton 1994) (s. Abbildung 22). „Range“ spiegelt für ein Flexibilitätspotenzial die Bandbreite an Schwankungen wider, auf die mit der gewählten Maßnahme reagiert werden kann. Im vorliegenden Forschungsvorhaben entspricht dies den Anforderungen aus der Höhe und dem zeitlichen Verlauf der Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. Mittels der „Mobility“ wird beschrieben, wie schnell ein System auf Veränderungen reagiert. Vielfach ist der zusätzliche Zeitbedarf oder der monetäre Zusatzaufwand ein geeignetes Kriterium zur Beurteilung der „Mobility“. Dieses Kriterium kann auf den zu beurteilenden Aufwand, ein Flexibilitätspotenzial in eine konkrete Anpassungsmaßnahme zu operationalisieren, übertragen werden. Die langfristigen Auswirkungen ei-

nes Flexibilitätspotenzials wird durch die Konstanz der Kennzahlen Durchlaufzeit, Qualität oder Kosten über mehrere Perioden in der „Uniformity“ ausgedrückt. Bleiben die Kennzahlen trotz des zusätzlichen Aufwands für die Nutzung des Flexibilitätspotenzials langfristig konstant, gilt das System als flexibel. In den zu betrachtenden Kommissioniersystemen wird als Maß der „Uniformity“ die Konstanz der spezifischen Kommissionierkosten bei schwankender Beschäftigung betrachtet.



**Abbildung 22: Bewertung von Anpassungsmaßnahmen (in Anlehnung an Upton 1994, S. 78)**

Für Kommissioniersysteme sind im Folgenden die möglichen Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren und nach den in Tabelle 1 dargestellten Kriterien zu beurteilen. Für ein Entscheidungsmodell ist das Flexibilitätspotenzial in konkrete Anpassungsmaßnahmen zu überführen und die Wirkung und die Wirkungsweise festzulegen. Ist das Kommissioniersystem durch die systematische Auswahl und Anwendung der Anpassungsmaßnahmen im Ergebnis fähig, sich wirtschaftlich an eine veränderte Auftragslage anzupassen und das Kommissionieren bei veränderter Auftragslage kostenoptimal durchzuführen, wird das Kommissioniersystem als flexibel bezeichnet (in Anlehnung an Hoitsch 1993, S. 8).

## 4 Bewertung des Flexibilitätspotenzials in konventionellen Kommissioniersystemen

Systemtechnisch betrachtet besteht ein konventionelles Kommissioniersystem aus den Systemelementen Kommissionierlager, Transportmittel, Mensch, Kommissionierauftrag und Organisation (s. Abbildung 23) (Schwarming 1985, S. 19).

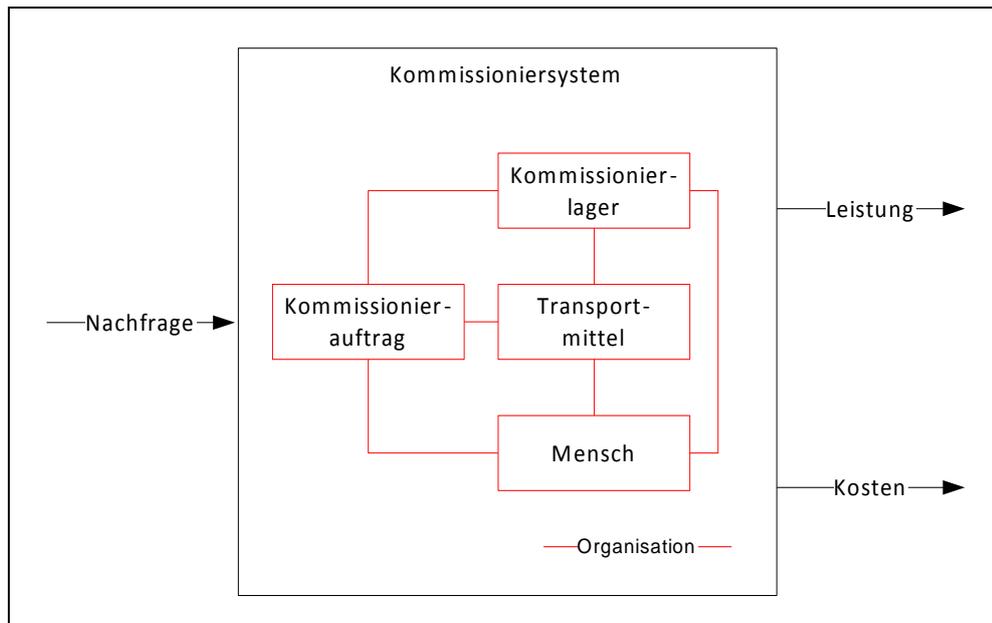


Abbildung 23: Elemente von Kommissioniersystemen (in Anlehnung an Schwarming 1985, S. 19)

Für die Flexibilisierung von Kommissioniersystemen sind in den vorangegangenen Kapiteln die allgemeinen Grundlagen dargestellt worden. Der wirtschaftliche Betrieb kann erreicht werden, wenn vorausschauend die Fixkostenstruktur an den Kapazitätsbedarf angepasst wird (Kapitel 1.2.2). Aufbauend auf diesen Grundlagen werden in diesem Kapitel die Kapazitäten und die Flexibilitätspotenziale konkret für konventionelle Kommissioniersysteme untersucht. Für jedes Element des Kommissioniersystems wird das Flexibilitätspotenzial aus den jeweiligen Dimensionierungs- und Auswahlkriterien bestimmt und betrachtet, in wie fern Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen die Dimensionierung und Auswahl beeinflussen. Die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen im Sinne der Zielstellung wird anhand des entwickelten Bewertungsschemas in Tabelle 1 qualitativ durchgeführt. (Die quantitative Abbildung ist Gegenstand des Kapitels 5).

Im ersten Teil dieses Kapitels wird auf die Kapazitätsbelastungsermittlung in Kommissioniersystemen eingegangen (Kapitel 4.1) und die Maßnahmen zur Belastungsanpassung durch das Element Kommissionierauftrag (Bestandteil der Ablauforganisation) untersucht (Kapitel 4.2). Die Aufbauorganisation als zweites Element des Or-

ganisationssystems wird nicht betrachtet, da in der Praxis kurzfristige Anpassungen hier nicht üblich sind. Im zweiten Teil des Kapitels sind die leistungsbereitstellenden und kostenverursachenden Kapazitäten zusammengefasst. Sie definieren das Kapazitätsangebot. Hierzu gehören das Kommissionierlager, das Transportmittel und der Mensch. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4.3 zusammenfassend dargestellt.

#### **4.1 Kapazitätsbelastungsrechnung in Kommissioniersystemen**

Die Kapazitätsbelastung in einem Kommissioniersystem wird aus der Kommissionierleistung in einer Periode bestimmt. Die Kommissionierleistung leitet sich aus der Anzahl Positionen pro Kommissionierauftrag, der Anzahl Kommissionieraufträge und der Periodendauer ab. Die Berechnung der Kommissionierleistung basiert auf der Kenntnis der Ausführungsdauer der einzelnen Prozesse in der Kommissionierung. Die Kommissionierdauer ist abhängig von den durchgeführten Prozessen in der Kommissionierung. Die Kommissionierzeit setzt sich aus der Bearbeitungszeit und der Zusammenführzeit zusammen. Innerhalb der Gruppen werden 4 Zeitarten unterschieden (Gudehus 1973, S. 46–91; ten Hompel et al. 2007, S. 263):

- Basiszeit
- Greifzeit
- Totzeit
- Wegzeit

Es werden kurze Hinweise auf die gängigsten Zeitermittlungsmethoden in der Kommissionierung gegeben. Die Wegzeit ist abhängig von der Aufbauorganisation und Ablauforganisation. Mit Kenntnis über den Aufbau und den Ablauf kann die Kommissionierzeit analytisch bestimmt werden. Zur Belastungsanpassung werden die Maßnahmen zur Beeinflussung der Wegzeit durch die Veränderung der Wegstrategie und der Bündelung von Kommissionieraufträgen aufgezeigt.

##### **4.1.1 Kommissionierleistung**

Die (mittlere) Kommissionierleistung wird in Positionen pro Stunde angegeben. Die Kommissionierleistung  $P_K$  ergibt sich aus dem Kehrwert der Kommissionierzeit für eine Position  $t_K$  (Gudehus 2005, S. 760; Sadowsky 2007, S. 78). Es gilt:

$$P_K = \frac{1}{t_K} \left[ \frac{\text{Pos}}{\text{h}} \right]$$

Zur Bestimmung der Kommissionierzeit existieren unterschiedliche Verfahren. Die Verfahren gelten für bestimmte Ausgangssituationen und Restriktionen. Schwerpunkt der unterschiedlichen Verfahren ist die Bestimmung der Wegzeitanteile in der Auftragskommissionierzeit. Der Grund hierfür ist der hohe Anteil der Wegzeit an der

Gesamtkommissionierzeit. Verschiedene Untersuchungen belegen einen Wegzeitan- teil von 35 % - 60 % an der Gesamtkommissionierzeit (Lüning 2005, S. 18). Zudem ist die Wegzeit stark abhängig von Anzahl und Lage der Bereitstellplätze, die wäh- rend eines Kommissioniergangs angesteuert werden.

#### 4.1.2 Vorgehensweise zur Bestimmung der Kommissionierzeit

Zur Bestimmung der Kommissionierleistung hat Sadowsky einen allgemeinen Be- rechnungsalgorithmus hergeleitet. Der Ansatz integriert und erweitert die bestehen- den analytischen Berechnungsformeln und vereinheitlicht die Vorgehensweise in der Berechnung (Sadowsky 2007, S. 3). Sadowsky ordnet die Einzelprozesse des Kommissionierprozesses in die zwei Gruppen Zusammenführung und Bearbeitung (s. Tabelle 2). Die Zusammenführung beinhaltet alle Vorgänge, in der ein Kom- missionierer und der Artikel „zusammengeführt“ werden. Sie stellt den Zeitanteil dar, den ein Kommissionierer im Mittel benötigt, um sich von einem Entnahmeort zum nächsten zu bewegen (Sadowsky 2007, S. 88). Die Art der Zusammenführung ist ab- hängig von dem gewählten Kommissionierprinzip. Entweder bewegt sich der Kom- missionierer zum Bereitstellort (Person-zur-Ware) oder der zu kommissionierende Artikel wird zum Kommissionierer transportiert (Ware-zur-Person). Alle stationär ausgeführten Prozesse werden in der Bearbeitung zusammengefasst. Hierzu zählen die Auftragsübernahme, das Vorbereiten des Sammelbehälters, das Entnehmen (Pi- cken) von Teilmengen eines Artikels von der Ladeeinheit, beziehungsweise das Auf- teilen (Sortieren) von Teilmengen eines Artikels auf Kundenaufträge, sowie die Ab- gabe des Sammelbehälters. In der Bearbeitungszeit sind sowohl die Basiszeit, die Greifzeit als auch die Totzeit enthalten. Die Bearbeitungszeit wird mit  $t_B$  bezeichnet (Sadowsky 2007, S. 82). Richtwerte für den Anteil der verschiedenen Zeitarten in der Kommissionierzeit sind in Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2: Zeitanteile an der Kommissionierzeit (Gudehus 1973, S. 195; Sadowsky 2007, S. 82)**

Teilzeit	Anteil [%]	Klassifizierung nach Sa- dowsky
Basiszeit ( $t_{basis}$ )	5 - 10	Bearbeitungszeit
Greifzeit ( $t_{greif}$ )	15 - 35	Bearbeitungszeit
Totzeit ( $t_{tot}$ )	20 - 30	Bearbeitungszeit
Wegzeit ( $t_s$ )	40 - 60	Zusammenführzeit

Für die hier betrachteten konventionellen Kommissioniersysteme nach dem Prinzip Person-zur-Ware gilt: Die (positionsbezogene) Kommissionierzeit  $t_K$  ist die Summe aus der Zusammenführungszeit  $t_Z$  und der Bearbeitungszeit  $t_B$ . Es gilt für konventio- nelle Kommissioniersysteme nach dem Prinzip Person-zur-Ware die Kommissionier- zeit  $t_K$ :

$$t_K = t_Z + t_B = t_s + t_{\text{basis}} + t_{\text{greif}} + t_{\text{tot}}$$

### 4.1.3 Detaillierte Betrachtung der Bearbeitungszeit

Die Basiszeit umfasst die Zeitanteile des Kommissionierprozesses, die zur Vor- und Nachbereitung des Kommissionierrundgangs benötigt werden und je Auftrag einmalig anfallen (Schulte 2003, S. 5). Hierzu gehört zum Beispiel die Auftragsannahme (s. Abbildung 24). Die Dauer der Prozesse ist systemspezifisch und abhängig von der gewählten Organisationsform (Borries, Fürwentsches 1975, S. 72). Die Bestimmung der Bearbeitungszeit ist in erster Linie eine arbeitswissenschaftliche Aufgabe. Geeignet sind sowohl die MTM-Prozessbausteinsysteme als auch die REFA-Zeitaufnahme (Sadowsky 2007, S. 84; Borries, Fürwentsches 1975, S. 55).

Die anteilige Basiszeit  $t_{\text{Basis}}$  wird ermittelt, indem die an der Basis verbrachte Gesamtzeit  $t_{\text{Basis}}(n)$  durch die Anzahl Positionen  $n$  der zu kommissionierenden Positionen auf den nächsten Kommissionierrundgang dividiert wird (Sadowsky 2007, S. 82).

$$t_{\text{basis}} = \frac{t_{\text{basis}}(n)}{n}$$

Die Greifzeit fällt durch das Hinlangen, Aufnehmen, Bringen oder Ablegen einer Entnahmeeinheit an. Die Bewegungsabläufe sind in dem Baustein Entnahme und Ablegen verdichtet (s. Abbildung 24). In der Leistungsberechnung wird die Greifzeit als mittlere Greifzeit berücksichtigt. Die mittlere Greifzeit ist das mit der Entnahmehäufigkeit gewichtete Mittel aller im betrachteten Kommissionierbereich auftretenden Einzelgreifzeiten. Vereinfachend wird eine Gleichverteilung der Entnahmehäufigkeit über die Regalfläche und Regaltiefe angenommen (vgl. Borries, Fürwentsches 1975, S. 64). Umfangreiche Untersuchungen über die Dauer der Greifbewegungen sind von Gudehus durchgeführt worden. Im Ergebnis leitet Gudehus eine halbempirische Entnahmezeitformel her (Gudehus 1973, S. 49, Gudehus 2005, S. 766).

Systemspezifische Greifzeiten können auch Borries, Fürwentsches entnommen werden (Borries, Fürwentsches 1975, S. 66–67). Die Bestimmung der Greifzeit mittels MTM-Prozessbausteinverfahren ist in Grünz, Lolling dargestellt (Grünz, Lolling 1999, S. 44).

Die Totzeit umfasst – ausgenommen den durch die Greifzeit berücksichtigten Greifvorgang – alle Tätigkeiten, die von dem Entnahmeort bis zur weiteren Fortbewegung durchgeführt werden müssen (Gudehus 1973, S. 53). Zu diesen Prozessen gehört zum Beispiel die Identifizierung von Artikeln (s. Abbildung 24). Die Zeitanteile der Totzeit für die Informationsübermittlung und -verarbeitung unterliegen großen Unsicherheiten. Kleine Veränderungen im Organisationssystem können die Totzeitanteile

in der Kommissionierung deutlich beeinflussen (Borries, Fürwentsches 1975, S. 70). Die genaue Bestimmung der Totzeitdauer muss systemspezifisch bestimmt werden. Gudehus sieht als geeignete Verfahren die REFA-Zeitaufnahme oder die MTM-Prozessbausteinsysteme (Gudehus 2005, S. 764).

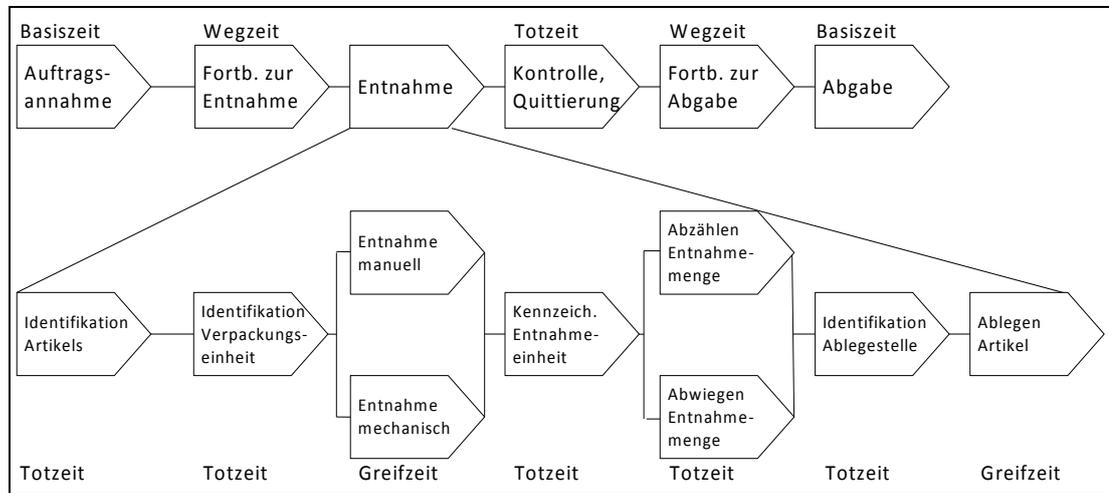


Abbildung 24: Zeitarten und Kommissionierprozesse

#### 4.1.4 Detaillierte Betrachtung der Zusammenführzeit

Die Zusammenführzeit  $t_z$  in Kommissioniersystemen nach dem Prinzip Person-zur-Ware ist gleich der positionsbezogenen Wegzeit  $t_s$ , die ein Kommissionierer im Mittel benötigt, um sich von einem Entnahmeort zum nächsten zu bewegen (Sadowsky 2007, S. 88). Die positionsbezogene Wegzeit  $t_s$  wird berechnet, indem die Dauer für den Kommissionierrundgang  $t_n$  durch die Anzahl an kommissionierten Positionen geteilt wird. Es gilt:

$$t_s = \frac{t_n}{n}$$

Haupteinflussgrößen auf die Wegzeit  $t_s$  sind die Anzahl Positionen  $n$ , die während eines Rundgangs entnommen werden müssen, die Länge der zurückgelegten Wegstrecke  $s_n$  und die kinematischen Eigenschaften des Kommissionierers: Geschwindigkeit  $v$  und Beschleunigung<sup>1</sup>  $a$ . Für konventionelle Kommissioniersysteme gilt die Wegzeit  $t_n$ :

$$t_n = \begin{cases} \frac{s_n}{v_{max}} + n_a \frac{v_{max}}{a}, & \left(\frac{s_n}{n} \geq \frac{v^2}{a}\right) \\ 2n_a \sqrt{\frac{s_n}{a}}, & \left(\frac{s_n}{n} < \frac{v^2}{a}\right) \end{cases}$$

$$\text{mit } n_a = n + 1$$

<sup>1</sup> Vereinfachend wird angenommen, dass der Betrag der Beschleunigung bei der Geschwindigkeitserhöhung gleich dem Betrag Beschleunigung beim Bremsen ist Sadowsky 2007, S. 88.

Die Fallunterscheidung in der Berechnung der Wegzeit ist notwendig, falls der Kommissionierer zwischen zwei Entnahmeorten seine konstante Fortbewegungsgeschwindigkeit nicht erreichen kann. Dann enthält die Wegzeit nur Beschleunigungsanteile (vgl. Sadowsky 2007, S. 89; Gudehus 2005, S. 641).

Während die kinematischen Größen Geschwindigkeit  $v$  und Beschleunigung  $a$  abhängig vom eingesetzten Kommissionierer beziehungsweise Transportmittel sind, ist die Dauer des Kommissionier Rundgangs für die Strecke  $s_n$  hauptsächlich abhängig von der Position der Bereitstellorte und der gewählten Wegstrategie (Arnold, Furmans 2005, S. 219).

### Wegstrategie

Die Wahl der geeigneten Bewegungsstrategie soll die Wegzeit für einen Kommissionierauftrag möglichst minimieren. Die Veränderung der Wegstrategie entspricht unter kapazitiven Gesichtspunkten einer Belastungsanpassung (s. Kapitel 0). In konventionellen Kommissioniersystemen werden vor allem folgende Bewegungsstrategien angewendet (Gudehus 2005, S. 736):

- Schleifenstrategie ohne Überspringen
- Schleifenstrategie mit Überspringen
- Stichgangstrategie ohne Gangwiederholung
- Stichgangstrategie mit Gangwiederholung

Die Wahl der Bewegungsstrategie wird stark beeinflusst durch die Regalanordnung. Befindet sich an beiden Stirnseiten der Regale ein Gang, der einen Gassenwechsel ermöglicht, können sowohl Schleifen- als auch Stichgangstrategien eingesetzt werden. Sind die Regale an der Stirnseite nur durch einen Gang miteinander verbunden, stehen nur die Stichgangstrategien zur Verfügung. Aus der Regalanordnung leiten sich auch die entsprechenden Vor- und Nachteile der gewählten Strategie ab (s. Abbildung 25).

Bei der Schleifenstrategie ohne Überspringen beginnt der Kommissionierer seinen Rundgang in der ersten Gasse<sup>1</sup> und durchläuft auch alle weiteren Gassen unabhängig davon, ob in der Gasse eine Entnahme durchzuführen ist. Die Strategie eignet sich, wenn gleichzeitig viele Positionen pro Rundgang zu erfüllen sind. Die Steuerung des Kommissionierers ist hier besonders einfach. Die Schleifenstrategie mit Überspringen entspricht der Schleifenstrategie ohne Überspringen. Jedoch lässt der Kommissionierer die Gassen aus, in denen keine Entnahmen stattfinden sollen (Schulte 1996, S. 65). Vorteilhaft ist das Überspringen von Gängen, wenn Kommissionieraufträge mit einer geringen Anzahl an Auftragspositionen zusammengestellt werden. Die

---

<sup>1</sup> Eine Gasse besteht aus zwei gegenüberliegenden Regalzeilen, die durch einen Gang getrennt sind (Schulte 1996, S. 44).

Schleifenstrategie ist die in konventionellen Kommissioniersystemen am häufigsten angewendete Strategie (Gudehus 2005, S. 736).

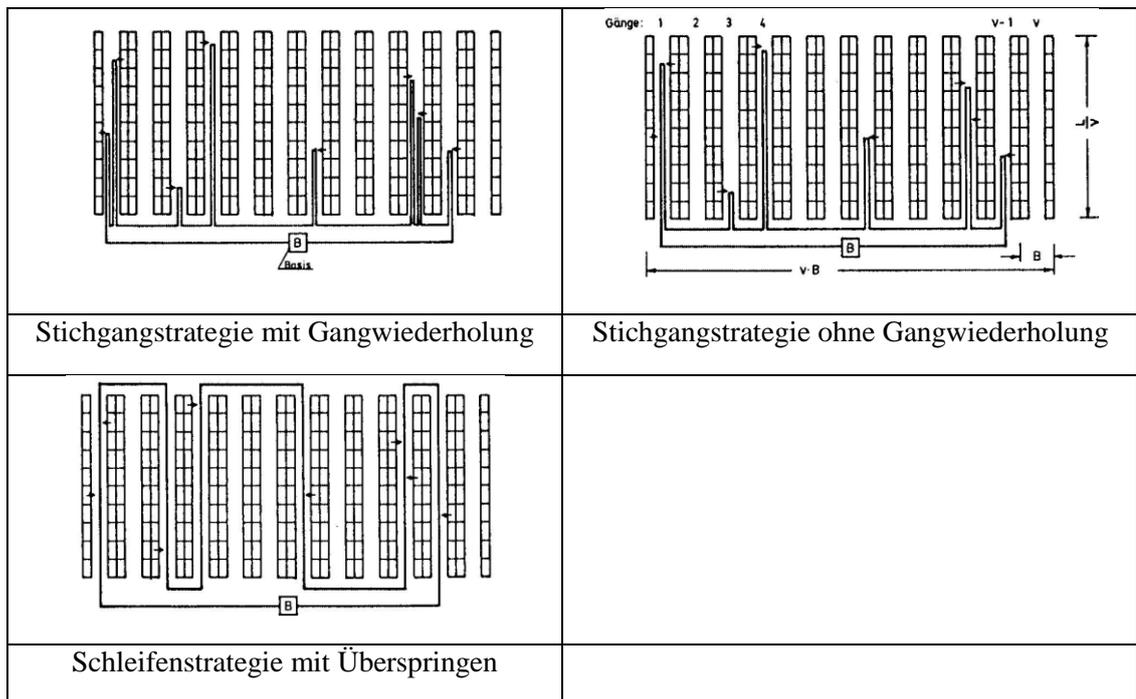


Abbildung 25: Wegstrategien (Gudehus 2005, S. 737)

Bewegt sich der Kommissionierer entlang der Regalstirnseite und liegt in einer Gasse eine zu greifende Position bereit, geht der Kommissionierer in den Gang und entnimmt die entsprechende Menge an Artikeln. Im Anschluss kehrt der Kommissionierer zur Stirnseite des Regals zurück. Werden in einer Gasse alle zu kommissionierenden Artikel während eines Stichgangs entnommen und kein Gang mehrfach betreten, bewegt sich der Kommissionierer nach der Strategie Stichgang ohne Gangwiederholung. Geht ein Kommissionierer nacheinander für jeden Artikel gesondert in einen Gang entspricht dies der Strategie Stichgang mit Gangwiederholung. Eingesetzt werden die Stichgangstrategien in kompakteren Lagersystemen, in denen auf der Regalrückseite kein Gang zum Gassenwechsel vorgehsehen ist. Mit dem Ziel, die Lagerdichte zu erhöhen, wird versucht, die Gangbreiten zu minimieren. Folglich ist die Gefahr der gegenseitigen Behinderung der Kommissionier bei der Stichgangstrategie mit Gangwiederholung sehr hoch, da diese die Gänge für jede Position erneut betreten. Das Einsatzfeld für die Stichgangstrategie ohne Gangwiederholung ist dann von Vorteil, wenn entsprechend große Sammeleinheiten gebildet werden können (Schulte 1996, S. 63).

### Wegberechnung in Abhängigkeit der Bewegungsstrategie

Die gesamte Wegstrecke  $s_n$  setzt sich zusammen aus dem Basisweg ( $s_B$ ), dem Gassenweg ( $s_{GW}$ ) und dem Gassenwechselweg ( $s_{GWW}$ ). Die einzelnen Größen können nur berechnet werden, wenn die Anordnung des Kommissioniersystems bekannt ist (s. Abbildung 26) (Sadowsky 2007, S. 100).

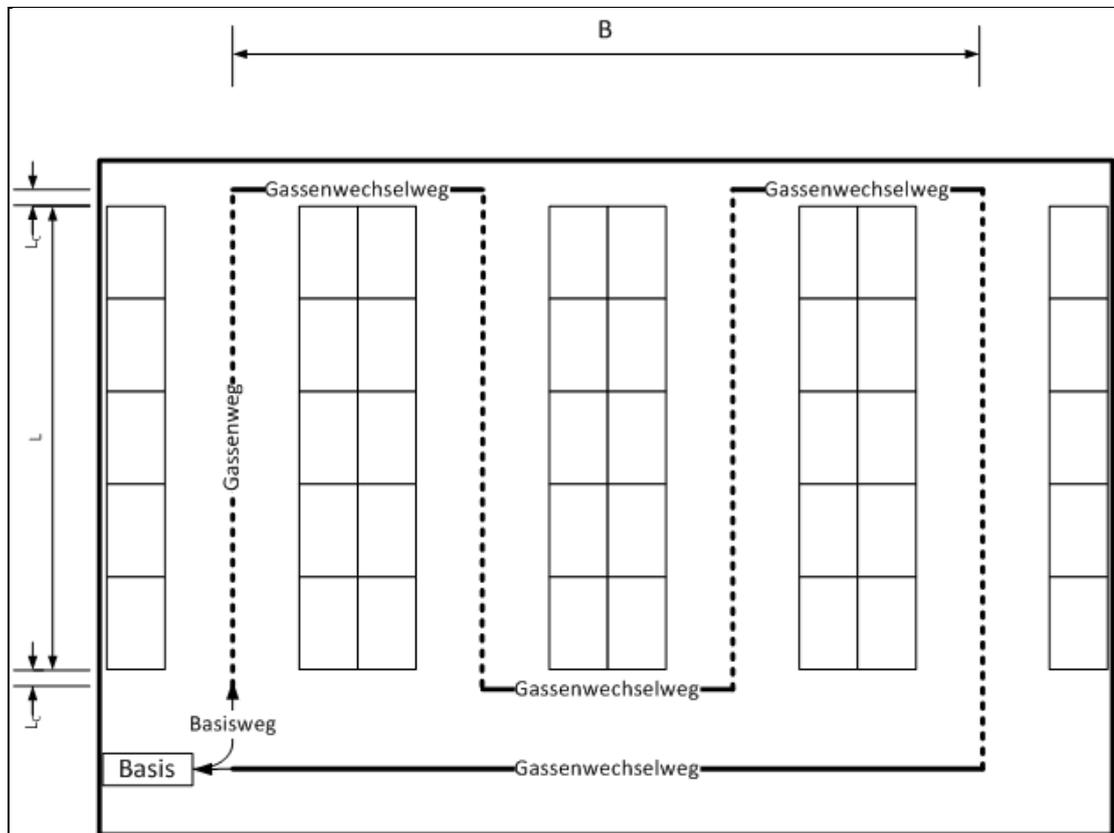


Abbildung 26: Bezeichnungen in konventionellen Kommissioniersystemen mit  $N_G = 4$  Gängen. (Sadowsky 2007, S. 100)

Es gilt für die Wegstrecke  $s_n$ :

$$s_n = s_B + s_{GW} + s_{GWW}$$

Basisweg  $s_B$

$$s_B = \text{Strecke im Layout zu bestimmen}$$

Gassenwechselweg  $s_{GWW}$

Gassenwechselweg ohne Überspringen

$$s_{GWW} = 2B$$

Gassenwechselweg mit Überspringen

$$s_{GWW} = 2 \frac{n}{n+1} B$$

Gassenweg  $s_{GW}$  (mit  $M$  = Sortimentsbreite und  $M_G$  = Sortiment je Gasse)

Stichgangstrategie mit Gangwiederholung

$$s_{GW} = 2n(L_C + \frac{1}{2}L)$$

Stichgangstrategie ohne Gangwiederholung

$$s_{GW} = N_G \sum_{r=1}^n \left[ \frac{\binom{M_G}{r} \times \binom{M-M_G}{n-r}}{\binom{M}{n}} \times (L_C + L \frac{r}{r+1}) \right]$$

Schleifenstrategie mit Überspringen

$$s_{GW} = N_G \left[ 1 - \frac{\binom{M-M_G}{n}}{\binom{M}{n}} \right] (2L_C + L)$$

Schleifenstrategie ohne Überspringen

$$s_{GW} = \begin{cases} N_G(2L_C + L), & N_G \text{ grade} \\ (N_G + 1)(2L_C + L), & N_G \text{ ungerade} \end{cases}$$

Mit der Bestimmung der Wegstrecke sind alle Terme zur Berechnung der Kommissionierleistung bekannt. Die Vorgehensweise zur Berechnung eines Kommissioniersystems ist Abbildung 27 dargestellt.

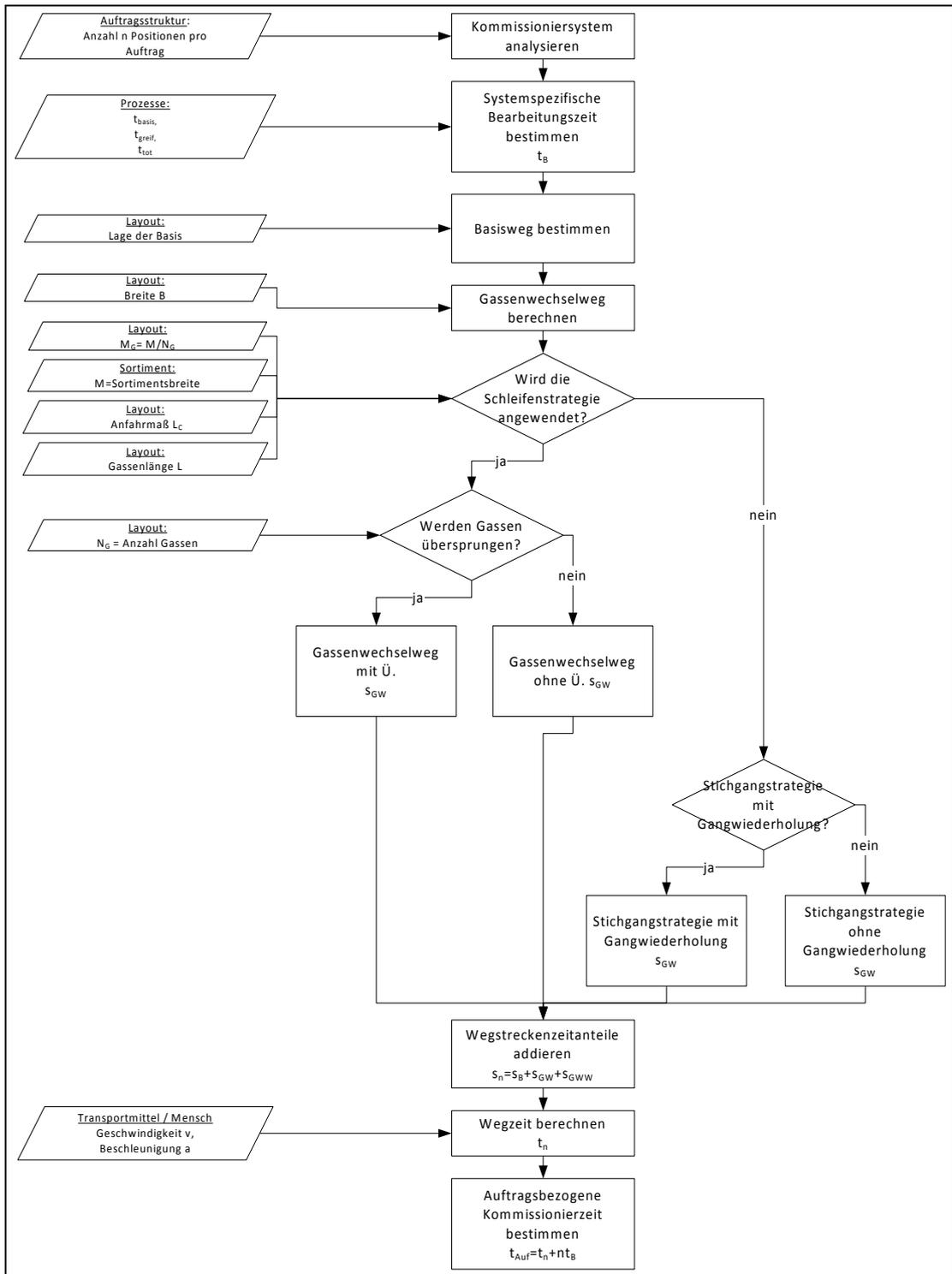


Abbildung 27: Vorgehen zur Berechnung des Kapazitätsbedarfs (in Anlehnung an Sadowsky 2007, S. 119)

#### **4.1.5 Kommissionierauftrag**

Die leistungsmengenabhängige Größe für die Berechnung der Kommissionierleistung ist die Anzahl Positionen je Kommissionierrundgang. Dieser Abschnitt befasst sich mit den Möglichkeiten die Anzahl Positionen je Kommissionierrundgang zu beeinflussen. Aus Sicht der Kapazitätsplanung handelt es sich um einen Belastungsausgleich (s. Kapitel 3.1.2).

In manuellen Kommissioniersystemen besteht die Möglichkeit, einen Kundenauftrag direkt in einen Kommissionierauftrag umzuwandeln. Der Kundenauftrag wird um lagerspezifische Informationen ergänzt. Diese Bearbeitungsform wird Echtzeitverarbeitung genannt. Sie stellt nur geringe Anforderungen an die Organisation der Auftragsabwicklung und ist daher in konventionellen Kommissioniersystemen üblich (Gudehus 2005, S. 732).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mehrere Kundenaufträge parallel zu bearbeiten. Durch die Bildung eines Sammelauftrages wird je Kommissionierrundgang die Zugriffsdichte erhöht (s. Abbildung 28). Eine höhere Anzahl an Artikeln kann wegoptimiert entnommen werden (Schulte 1996, S. 27). Bei der Bildung von Sammelaufträgen werden zwei Formen unterschieden (Gudehus 2005, S. 733).

1. Die zeitgetaktete Stapelverarbeitung führt zu einer gleichmäßigeren Auslastung der Kommissionierer. Bei der Zeittaktung werden über einen bestimmten Zeitraum die eingehenden Kundenaufträge gesammelt und dann gemeinsam bearbeitet. Es wird ein Kommissionierauftrag gebildet, der gleichzeitig mehrere Kundenaufträge bedient.
2. Die mengengetaktete Stapelverarbeitung ist ähnlich der zeitgetakteten. Die Kommissionieraufträge werden bis zu einer bestimmte Anzahl an Aufträgen gesammelt und gemeinsam bearbeitet.

#### Dimensionierung und Auswahl

Für konventionelle Kommissioniersysteme können maximal so viele Kundenaufträge zu einem Sammelauftrag zusammengefasst werden, wie Sammelbehälter oder Versandeinheiten zur getrennten Aufnahme der externen Auftragsinhalte auf einem Kommissionierrundgang mitgenommen werden können (Gudehus 2005, S. 777).

Kunde A		Kunde B		Kunde C		Sammelauftrag		
Artikel	Menge	Artikel	Menge	Artikel	Menge	Artikel	Menge	Kunde
7	1	4	30	2	1	2	1	C
		7	4	3	2	3	2	C
		8	2	6	10	4	30	B
				7	5	6	10	C
				8	3	7	1	A
							4	B
							5	C
						8	2	B
							3	C

**Abbildung 28: Bildung eines Sammelauftrags (Schulte 1996, S. 24)**

Da die Struktur der einzelnen Kundenaufträge im Allgemeinen sehr unterschiedlich ist und Schwankungen unterliegt, werden in der Praxis verschiedene Kundenaufträge in wenige Klassen mit ähnlicher Struktur zusammengefasst. Jede Auftragsklasse wird durch einen Durchschnittsauftrag repräsentiert (Schulte 1996, S. 28) (s. Abbildung 29). Die Bildung von durchschnittlichen Auftragsgrößen kann genutzt werden, Kapazitätsbedarfs-Szenarien abzubilden, wenn keine entsprechenden Realdaten verfügbar sind.

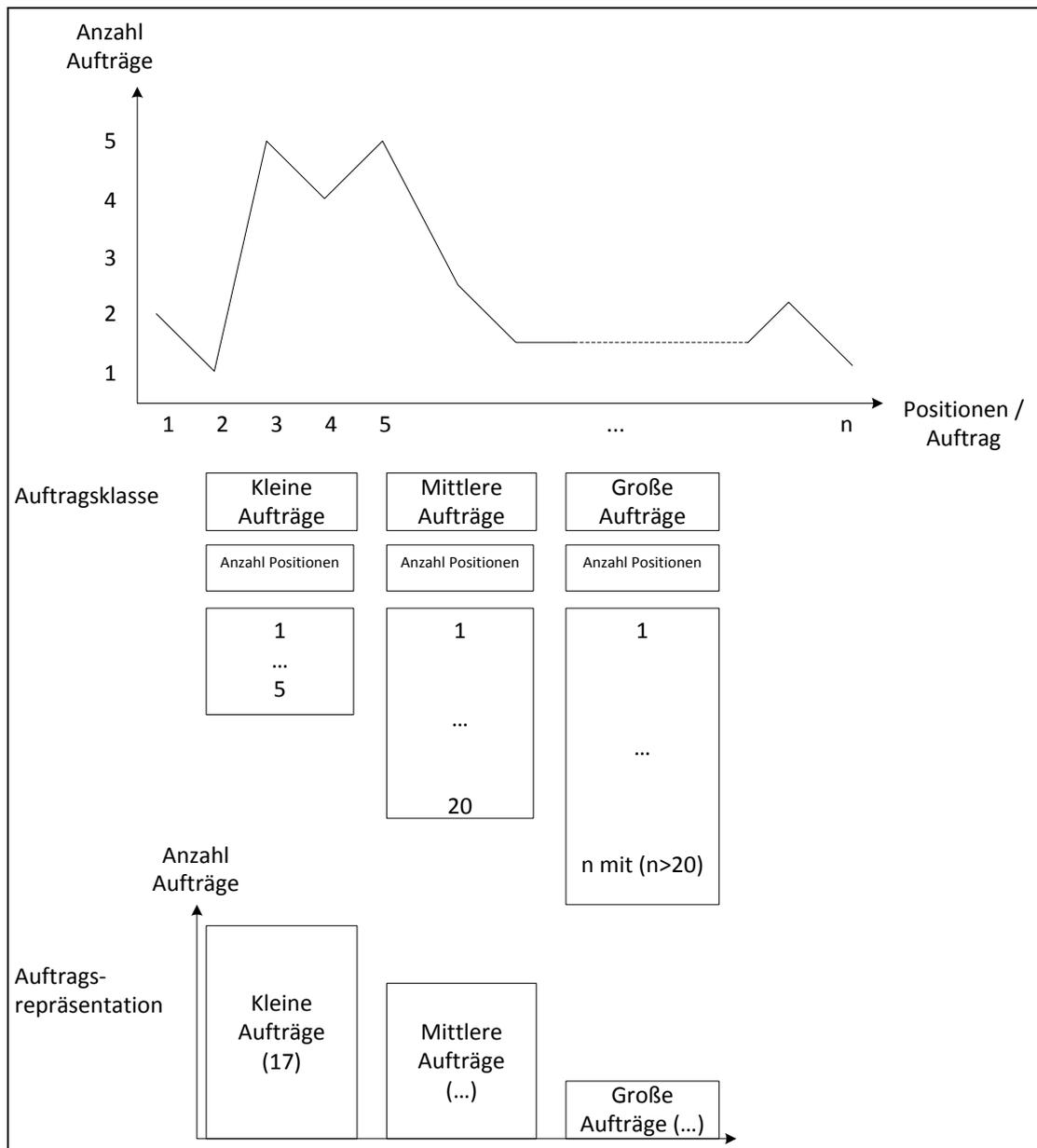


Abbildung 29: Bildung von Auftragsklassen

### Bewertung des Flexibilitätspotenzials

Werden in der Kommissioniersteuerung rechnergestützte Systeme eingesetzt, lassen sich die Echtzeitbearbeitung und die Stapelbearbeitung miteinander kombinieren (Gudehus 2005, S. 734). Bei vorhandener IT-Struktur entstehen bei der Veränderung der Auftragsbearbeitungsstrategie der implementierten Systeme keine zusätzlichen Kosten. In vielen Softwaresystemen ist eine automatische Optimierung der Bearbeitungsstrategie integriert. Kapazitiv kann durch den Wechsel der Bearbeitungsstrategien somit nur der Kapazitätsbedarf des gesamten Kommissioniersystems reduziert werden. Es kommt zu keiner Veränderung des Kapazitätsangebots, da die implementierte Hard- und Software in gewissen Grenzen unabhängig von den Anforderungs- und Leistungsparametern des Kommissioniersystems ist. Der Bündelungseffekt ist in

konventionellen Kommissioniersystemen sehr gering. Diese Methode wird hauptsächlich in Kommissioniersystemen mit einer dynamischen Bereitstellung angewendet, da sich hierdurch die Bereitstellleistung senken lässt (Gudehus 1978, S. B71).

**Tabelle 3: Bewertung des Flexibilitätspotenzials von Kommissionieraufträgen**

Bewertungsmerkmal	Merkmalsausprägung
Art der Anpassung	Abgleich der Belastung
Zeitliche Wirkung	Bei entsprechend vorhandener Hard- und Software sofort
Kapazitive Höhe	Sehr gering
Zeitlicher Aufwand	Bei entsprechend vorhandener Hard- und Software ist der zeitliche und monetäre Aufwand sehr gering. Sind die Systeme nicht vorhanden kann nicht von einer schnellen Implementierung ausgegangen werden.
Monetärer Aufwand	
Grad der Eignung des Flexibilitätspotenzials zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen	Keine Eignung

## 4.2 Flexibilitätspotenziale in konventionellen Kommissioniersystemen

Nach der Bestimmung des Kapazitätsbedarfs, wird in diesem Kapitel das Flexibilitätspotenzial der Kapazitäten eines Kommissioniersystems untersucht.

### 4.2.1 Kommissionierlager

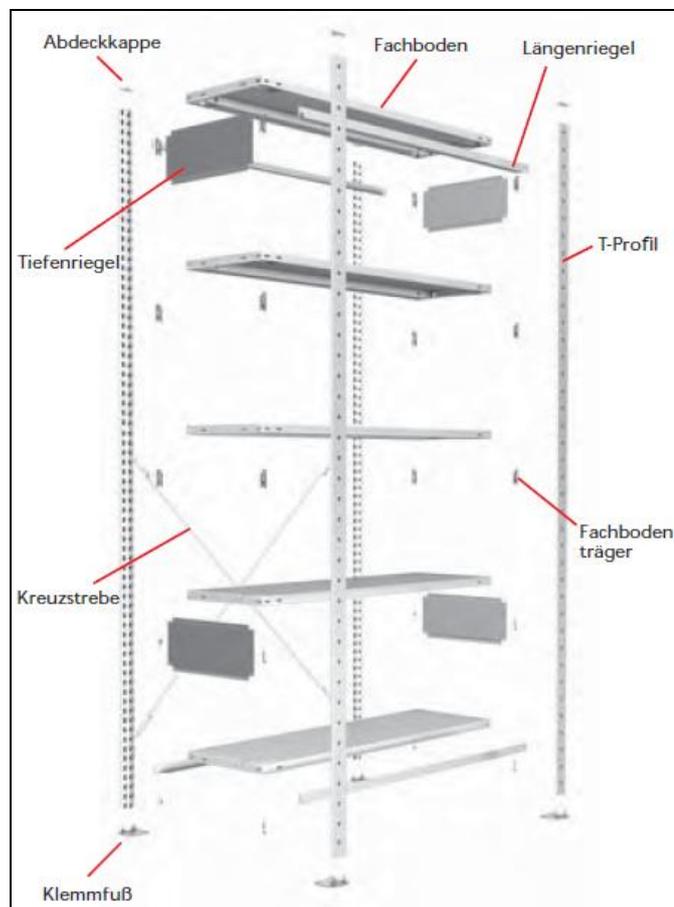
Das Kommissionierlager stellt alle gelagerten Artikel des Sortiments dem Kommissionierer für den Zugriff bereit (Schwarming 1985, S. 18). Üblicherweise werden zur Bereitstellung Fachboden- und Durchlaufregale eingesetzt (Lüning 2005, S. 76). Fachbodenregale eignen sich dazu, kleine bis mittlere Mengen pro Artikel bei einer großen Artikelanzahl und unterschiedlichem Artikelspektrum zu lagern. Die manuelle Bedienbarkeit und der gute Zugriff auf jeden Artikel zeichnet den Einsatz der Fachbodenregale für die manuelle Kommissionierung aus. Die Investitionskosten sind gegenüber anderen Lagermitteln als gering zu bezeichnen.

Im Folgenden wird vertiefend auf das Fachbodenregal eingegangen. Die Aussagen gelten sinngemäß auch für das Durchlaufregal, da es sich aus der Sicht der Kommissionierung in beiden Fällen um ein Bereitstellsystem handelt. Die leistungsbeeinflussenden Größen leiten sich aus der Gestaltung der Regalfront und nicht aus dem Lagermittel ab.

In Fachbodenregalen werden die Artikel auf geschlossenen Fachböden aus Holz oder Stahl auf mehreren Ebenen übereinander bereitgestellt (ten Hompel et al. 2007,

S. 63). Ein Fachbodenregal wird aus mehreren Fachbodenregalmodulen zusammengesetzt. Ein Fachbodenregalmodul besteht aus einem Grundrahmen in den Fachböden eingesetzt werden. Durch zusätzliche Rücken-, Seiten- oder Trennwände wird die Steifigkeit der Konstruktion erhöht. Charakteristisch für Fachbodenregale ist ein einfacher und standardisierter Aufbau. Der hohe Standardisierungsgrad ermöglicht eine schnelle Erweiterung (s. Abbildung 30). Gängige Dimensionen von einem Fachbodenregalmodul sind (Martin 2006, S. 339):

- Regaltiefe: 0,4 - 0,6 m
- Regalbreite: 1 m
- Regalhöhe: 2 m



**Abbildung 30: Fachbodenregalmodul der Firma Schulte Lagertechnik (Schulte Lagertechnik GmbH & Co. KG 2009)**

### Dimensionierung und Auswahl

Der Bedarf an Fachbodenregalmodulen leitet sich aus der Sortimentsbreite und den geometrischen Eigenschaften der Artikel ab. Für jeden Artikel wird ein Ladehilfsmittel bestimmt, in welchem der Artikel bereitgestellt wird. Die Summe der Länge der Ladehilfsmittel ( $L_{LHM}$ ) zum Gang hin wird durch die Anzahl der Fachböden in den

Fachbodenregalmodulen geteilt. Das Ergebnis ist der Bedarf an Fachbodenregalmodulen, um das gesamte Sortiment (M) bereitzustellen. Aus der Anzahl zu beiden Seiten eines Ganges angeordneten Fachbodenregalmodule ergibt sich im Kommissioniersystem eine Gesamt-Ganglänge  $L'$  (in Anlehnung an Gudehus 1993b, S. 20).

$$L' = \frac{\sum_{p=1}^M (M_p \times L_{LHM_p})}{\text{Anzahl Fachböden}}$$

Die gesamte Ganglänge  $L'$  in einem Kommissioniersystem berücksichtigt nicht die Anordnung der Fachbodenregalmodule im Raum. Die Anordnung wird in der Aufbauorganisation festgelegt.

Für die Anschaffung und Nutzung des Regalsystems fallen Kosten an. Die Anschaffungskosten eines Fachbodenregalsystems bestehen aus dem Grundpreis für ein Fachbodenregalmodul, den Kosten für die Anzahl an zusätzlich benötigten Fachböden je Fachbodenregalmodul und der Anzahl an benötigter Fachbodenregalmodule (Schulte Lagertechnik GmbH & Co. KG 2009). Die Betriebskosten eines Regalsystems sind gering und werden häufig über pauschale Zuschläge im Verhältnis zum Anschaffungswert bestimmt. Zu beachten ist, dass jährlich eine Inspektion des Lagersystems durch eine fachkundige Person durchzuführen ist (DIN EN 15635, S. 25).

#### Bewertung des Flexibilitätspotenzials

Aus der Dimensionierungsformel für das Kommissionierlager wird die Abhängigkeit des notwendigen Kapazitätsangebots von der Sortimentsbreite und der verwendeten Ladehilfsmittel deutlich. Beide Faktoren sind unabhängig von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. Da sich in der Regel alle Artikel im Zugriff des Kommissionierers befinden müssen, ist die Anzahl an Bereitstellplätzen eine systemfixe Größe. Eine Form der Kapazitätsanpassung wäre die Veränderung oder der Austausch des Regalsystems. Allerdings stehen dem die hohen Anschaffungskosten und die lange wirtschaftliche Nutzungsdauer von Regalsystemen entgegen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird auf Grund der langen wirtschaftlichen Nutzungsdauer kein Flexibilitätspotenzial gesehen, um auf die Veränderung des Kapazitätsbedarfs kurz- und mittelfristig kostenwirksam zu reagieren. Die Bewertung des Flexibilitätspotenzials ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4: Bewertung des Flexibilitätspotenzials des Kommissionierlagers**

Bewertungsmerkmal	Merkmalsausprägung		
Anpassungsart	Anpassung der Kapazität		
Art der Anpassung	Zeitlich: Keine Möglichkeit. Das Bereitstellungspotenzial ist unabhängig von der Betriebszeit	Intensitätsmäßig: Veränderung der Fachbodendichte	Quantitativ: Stilllegung / Installation von Regalen
Zeitliche Wirkung		Umbau / Stilllegung oder Installation kann nur mittelfristig erfolgen	
Kapazitive Höhe		Gering	
Zeitlicher Aufwand		Umbau / Stilllegung oder Installation bedarf eines Planungsaufwands und kann nicht kurzfristig erfolgen	
Monetärer Aufwand		Kosten für die Planung und Beschaffung	
Grad der Eignung des Flexibilitätspotenzials zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen	Keine Eignung	Keine Eignung	Keine Eignung

#### 4.2.2 Transportmittel

Das Transportmittel dient dem Kommissionierer zur Unterstützung der Fortbewegung. Transportmittel in konventionellen Kommissioniersystemen sind vor allem Handwagen, Gabelhubwagen und Stapler.



**Abbildung 31: Handwagen in der Kommissionierung. Beispiel bei Stapels (Corporate Express 2008)**

Der Handwagen existiert in vielfältigen Ausführungen. Haupteinsatzgebiet ist das Sammeln von klein- und mittelvolumigen Artikeln. In Abbildung 31 ist exemplarisch ein Handwagen zu sehen, auf dem bis zu 30 Aufträge gleichzeitig kommissioniert werden können (s. Abbildung 10). Das Besondere an dem abgebildeten System ist das Kommissionieren direkt in den Versandbehälter (Pick & Pack Prinzip). Großvolumige Artikel werden auf Handgabelhubwagen oder Staplern transportiert. Der Handgabelhubwagen ist gegenüber dem Stapler in der Anschaffung und im Betrieb deutlich günstiger. Jedoch ist der Stapler bei der Materialhandhabung deutlich schneller. Dies gilt sowohl für die Hub- als auch für die Fahrbewegung. Je größer das Kommissioniersystem ist, desto mehr rechnet sich der Einsatz kommissionierspezifischer Transportmittel. Hierzu zählen zum Beispiel der Horizontal- und Vertikalkommissionierer. Diese Systeme werden aber eher selten in konventionellen Kommissioniersystemen in KMU eingesetzt.

#### Dimensionierung und Auswahl

Die Auswahl des Transportmittels ist abhängig vom Volumen- und Gewichtsumsatz im Kommissioniersystem (vgl. Frazelle 2001, S. 108). Die wichtigsten leistungsbeeinflussenden Auswahlkriterien sind (Gudehus 2005, S. 836) (s. Abbildung 27):

- Transportkapazität
- Fahrgeschwindigkeit  $v$
- Beschleunigungswerte  $a$

Bei Handwagen und Handgabelhubwagen sind die kinematischen Größen abhängig von den menschlichen Fähigkeiten. Üblich ist eine Beschleunigung für den Menschen von 0,2-0,3  $m/s^2$ . Die horizontale Fortbewegung liegt in der Größenordnung von 0,9-1,3  $m/s$  (vgl. Grünz, Nave, S. 51).

$$a_{manuell} = 0,2 \frac{m}{s^2}$$

$$v_{manuell} = 1,0 \frac{m}{s}$$

Fährt der Kommissionierer auf dem Transportmittel mit, sind die entsprechenden kinematischen Größen dem Datenblatt zu entnehmen. Gängige Werte für einen Gegengewichtsstapler liegen zwischen 3 und 5  $m/s$  (Frazelle 2001, S. 108). Die Beschleunigung kann mit 0,3  $m/s^2$  angenommen werden (Heinz, ten Hompel 2004, S. 65).

$$a_{Gegengewichtsstapler} = 0,3 \frac{m}{s^2}$$

$$v_{Gegengewichtsstapler} = 5,0 \frac{m}{s}$$

Neben den kinematischen Eigenschaften Beschleunigung und Geschwindigkeit beeinflusst das Transportmittel die Wegzeit über die Strecke für den Gassenwechsel. Je nach gewähltem Transportmittel werden Anforderungen an die notwendige Gangbreite gestellt (Martin 2006, S. 236) (s. Tabelle 5).

**Tabelle 5: Richtwerte zu Arbeitsgangbreiten (Martin 2006, S. 236)**

Transportmittel	Arbeitsgangbreite in m
Handhubwagen	0,9 - 1,2
Frontgabelstapler	3,2 - 3,5
Kommissionierstapler	1,6 - 1,8

Eine Randbedingung für die Auswahl eines Transportmittels ist das Kommissionierlagersystem. Transportmittel sollen gemeinsam mit dem Lagersystem ausgewählt werden, um eine hohe Lagerdichte und einen hohen Durchsatz zu erreichen (Frazelle 2001, S. 108).

Für die Anschaffung des Transportmittels fallen wie beim Kommissionierlager Anschaffungs- und Betriebskosten an. Für die kapitalintensiven Transportmittel, wie einem Gegengewichtsstapler, kann die Kostenrechnung dem Entwurf der VDI-Richtlinie 2695 entnommen werden (Richtlinie (Entwurf) VDI 2695).

#### Bewertung des Flexibilitätspotenzials

Wie beim Kommissionierlager zeigen sich an den Auswahl- und Dimensionierungskriterien für Transportmittel keine Abhängigkeiten von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen. Die kapazitive Anpassung der Transportmittel an den Kapazitätsbedarf kann bei Transportmitteln nicht unabhängig von der Festlegung des Personaleinsatzes erfolgen, da der Einsatz der hier betrachteten Transportmittel direkt an den Personaleinsatz gebunden ist. Daher wird kein Flexibilitätspotenzial gesehen, um zielgerichtet auf kurz- und mittelfristige Nachfrageveränderungen wirtschaftlich zu reagieren. Die Flexibilitätsbewertung ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

**Tabelle 6: Bewertung des Flexibilitätpotenzials des Transportmittels**

Bewertungsmerkmal	Merkmalsausprägung		
Art der Anpassung	Anpassung der Kapazität		
Form der Anpassung	Zeitlich: Keine Maßnahmen	Intensitätsmäßig: Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit und der Beschleunigung	Quantitativ: Stilllegung / Beschaffung von Transportmitteln
Zeitliche Wirkung		Kurzfristig	Stilllegung kann kurzfristig erfolgen Beschaffung mittelfristig (abhängig vom Lieferanten)
Kapazitive Höhe		Sehr gering auf Grund des zunehmenden Sicherheitsrisikos	Es können nur ganze Transportgeräte stillgelegt oder beschafft werden
Zeitlicher Aufwand		Für Umbaumaßnahmen und Einstellungen am Fahrzeug ist Fachpersonal notwendig	Fahrzeugstilllegung erfordert nur einen geringen zeitlichen und monetären Aufwand. Bei der Beschaffung fallen Beschaffungskosten an
Monetärer Aufwand		Kosten für das Fachpersonal	
Grad der Eignung des Flexibilitätpotenzials zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen	Keine Eignung	Keine Eignung	Keine Eignung

### 4.2.3 Mensch

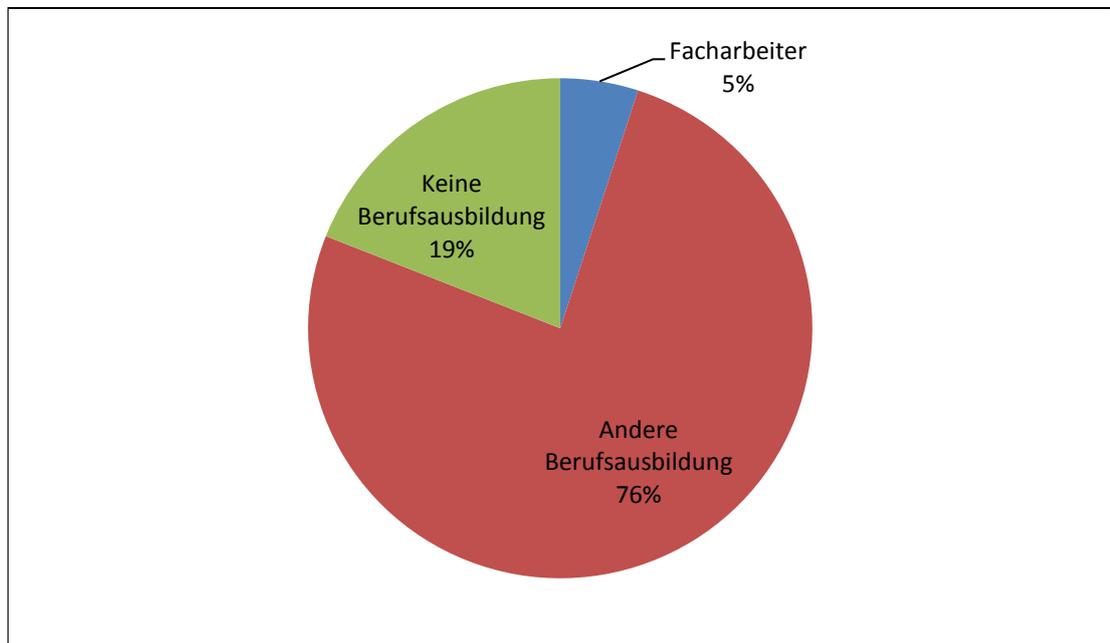
Die zentrale Tätigkeit des Menschen in Kommissioniersystemen ist die Entnahme der Artikel. Trotz der fortschreitenden technischen Entwicklung ist es bisher nur in wenigen Fällen wirtschaftlich gelungen, die Entnahme nicht manuell durchzuführen. Automatische Entnahmesysteme stellen hohe Anforderungen an die gelagerten Artikel. Neben der reinen Kommissioniertätigkeit werden Menschen in Kommissioniersystemen eingesetzt, um zum Beispiel die Disposition durchzuführen oder Kontroll- und Überwachungsaufgaben wahrzunehmen (Schwartzing 1985, S. 25). Auf die menschlichen Fähigkeiten kann in Kommissioniersystemen daher nicht verzichtet werden (Schwartzing 1985, S. 30). Eine weiterführende Diskussion über die menschlichen Fähigkeiten in Kommissioniersystemen findet sich in Goldscheid; Goldscheid 2008, S. 23).

In größeren Kommissioniersystemen können mehrere Mitarbeiter gleichzeitig arbeiten. Abhängig von der Gangbreite können sich Kommissionierer entgegengesetzt zueinander bewegen oder sich gegenseitig überholen (Lüning 2005).

#### Dimensionierung und Auswahl

Die Kapazität eines einzelnen Mitarbeiters ist allgemein abhängig von der Berufsausbildung, Qualifikation und der Anwesenheitszeit eines Mitarbeiters während der Betriebszeit. Für konventionelle Kommissioniersysteme stellt Wesselmann fest, dass

das eingesetzte Personal nur zu 5 % über eine Facharbeiterausbildung (Fachkraft für Lagerlogistik) verfügt. 76 % haben einen anderen Beruf erlernt und 19 % verfügen über keine Berufsausbildung.



**Abbildung 32: Qualifikationen von Mitarbeitern (Wesselmann 2002)**

In den von Wesselmann untersuchten Kommissioniersystemen werden in allen Kommissioniersystemen festangestellte Mitarbeiter eingesetzt. Der Einsatz von Zeitarbeitskräften erfolgt in 28 % und der Einsatz von Aushilfskräften in 20 % der Systeme (Wesselmann 2002). Bezogen auf die Qualifikation gibt Lipke für sein Unternehmen an, dass die notwendigen Mindestqualifikationen auf Sprachkenntnissen, Lesen, Schreiben und Rechnen begrenzt sind (Lipke 29.05.2009). Appelhans betont: Für Kommissioniertätigkeiten hat die formale Berufsausbildung in der Praxis eine geringe Bedeutung (Appelhans 2007).

Die Leistungsfähigkeit eines Mitarbeiters (ausgedrückt über den Zeitgrad) ist zeitlich befristet reduziert, wenn ein Mitarbeiter neu eingestellt wird oder eine neue Arbeitsaufgabe zugewiesen bekommt. Die Einarbeitungszeit von neuen Mitarbeitern beträgt in den von Wesselmann untersuchten Kommissioniersystemen bei 45 % der Unternehmen weniger als 1 Woche, bei 39 % 1-4 Wochen und bei 16 % mehr als 4 Wochen. Teilweise reduzieren sich die Auswirkungen der Anlerneffekte bei Zeitarbeitern, da die Qualifizierung der Mitarbeiter durch die Arbeitnehmerüberlassung erfolgt (Lipke 29.05.2009). Mit einem systematischen Anlernkonzept kann die Dauer bis zum durchschnittlichen Leistungsgrad um bis zu 50% verkürzt werden (Appelhans 2007).

Für die Erbringung der im Arbeitsvertrag genannten Dienste durch den Arbeitnehmer zahlt der Arbeitgeber eine Vergütung. Die Vergütung setzt sich normalerweise aus

dem Arbeitsentgelt für die erbrachte Leistung (Leistungslohn) und dem an sozialen Merkmalen des Mitarbeiters anknüpfenden Entgelt (Soziallohn) zusammen (Drumm 2004, S. 280). Als Bemessungsgrundlage der Vergütung dient unter anderem die im Arbeitsvertrag festgelegte nominale Arbeitszeit. Die (nominale) Arbeitszeit ist diejenige Zeit, die das Personal zur Erfüllung seiner Stellenaufgabe verbraucht. Neben der nominalen Arbeitszeit wird die effektive Arbeitszeit als die wirklich erbrachte Arbeitszeit bezeichnet.

### Bewertung des Flexibilitätspotenzials

Um bei Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen mit der Personalkapazität reagieren zu können, haben sich in der Praxis für Kommissioniersysteme verschiedene Instrumente entwickelt (in Anlehnung an Schneeweiß 1992, S. 25, Faißt 1992, S. 44, Günther 1989, S. 6 und Wesselmann 2002). Die verschiedenen Instrumente können 3 Gruppen zugeordnet werden:

1. Form des Arbeitsvertrags
  - a. Festangestellte Mitarbeiter
  - b. Zeitarbeiter
  - c. Aushilfen
  - d. Einsatz von Springern

Die Veränderung der Kapazität erfolgt durch die Anpassung der Arbeitskräfteanzahl. Bei der Veränderung der Personalstärke sind folgende Effekte zu berücksichtigen:

- Anlernverluste
  - Zeitliche Dauer bis zur Einstellung
  - Zeitliche Dauer bis zur Ausstellung
2. Die Höhe der Lohnkosten wird durch den Arbeitsvertrag geregelt und je nach Form des Arbeitsvertrages ein spezifischer Lohnkostensatz angenommen. Gegebenenfalls fallen für die unterschiedlichen Arbeitsverträge unterschiedliche Überstunden- und Schichtzuschläge an.
  3. Steuerung der effektiven Arbeitszeit
    - a. Überstunden
    - b. Kurzarbeit (Reduzierung der Anwesenheitszeit)

Die kapazitive und monetäre Wirkung bei der Streuung der Arbeitszeit bewirkt, dass die nominale Arbeitszeit und die effektive Arbeitszeit weitestgehend identisch sind.

Weitere Instrumente der Personalplanung für Kommissioniersysteme werden in Heinz, Wichmann beschrieben und eine allgemeine Einführungsstrategie für Kom-

missioniersysteme aufgezeigt (Heinz, Wichmann 1992, S. 257). Die Darstellung ermöglicht jedoch nur begrenzt, die Effekte der verschiedenen Instrumente quantitativ zu bewerten. Das Flexibilitätspotenzial für den Menschen in Kommissioniersystemen ist in Tabelle 7 dargestellt.

**Tabelle 7: Bewertung des Flexibilitätspotenzials des Menschen**

Bewertungsmerkmal	Merkmalsausprägung		
Art der Anpassung	Anpassung der Kapazität		
Form der Anpassung	Zeitlich: Veränderung der täglichen Arbeitszeit	Intensitätsmäßig: Erhöhung des Zeitgrades (begrenzt beeinflussbar)	Quantitativ: Einstellen und Ausstellen von Personal Einsatz von Springern
Zeitliche Wirkung	Reduzierung der Arbeitszeit mit einem halben Tag Vorlauf	Bei vollbeeinflussbaren Tätigkeiten ist eine kurzfristige Steigerung auf über 100% möglich	Dauer bis zur Entlassung abhängig von den vereinbarten Kündigungsfristen. Einstellungen benötigen eine bis mehrere Wochen. Springer können innerhalb eines Tages umgesetzt werden
Kapazitive Höhe	Proportional zur Veränderung der Arbeitszeit	Abhängig von der Beeinflussbarkeit des Mitarbeiters auf seine Tätigkeiten. Zeitgrade bis 130% sind möglich	Proportional Abhängig von der veränderten Personalstärke
Zeitlicher Aufwand	Gering. Je nach Betriebsvereinbarung genügt eine kurzfristige Anordnung	Erfordert gegebenenfalls Training und Motivation	Zeitlicher und monetärer Aufwand entsteht für die Einstellung und Qualifikation der Mitarbeiter
Monetärer Aufwand	Je nach Betriebsvereinbarung genügt eine kurzfristige Anordnung für die keine zusätzlichen Kosten anfallen	Aufwand für Training und Prämien	
Grad der Eignung des Flexibilitätspotenzials zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen	Hoch	Hoch	Hoch

### 4.3 Zusammenfassende Betrachtung der Flexibilitätspotenziale

In Kapitel 3.1 sind die Grundlagen von Kommissioniersystemen beschrieben worden. Aufbauend auf der systemtheoretischen Darstellung der Flexibilität (Kapitel 3.2) und der Kapazitätsplanung (Kapitel 0) beschreibt das Kapitel 4 die Flexibilitätspotenziale in Kommissioniersystemen (s. Abbildung 33). Kapitel 4 beginnt mit der Darstellung der Kapazitäts-Belastungsrechnung. Aus der Belastungsrechnung leiten sich die Potenziale zur Belastungsanpassung ab. Nach gründlicher Analyse zeigt sich das größte Flexibilitätspotenzial (auf der Seite des Kapazitätsangebots) zur Reaktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen in der Personalflexibilität. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt auch Deuse et al.. Nach Deuse et al. sind die bedarfsorientierten Konzepte zur Personalplanung in der Logistikplanung nur sehr unzureichend angewendet (Deuse et al. 2007a, S. 286).

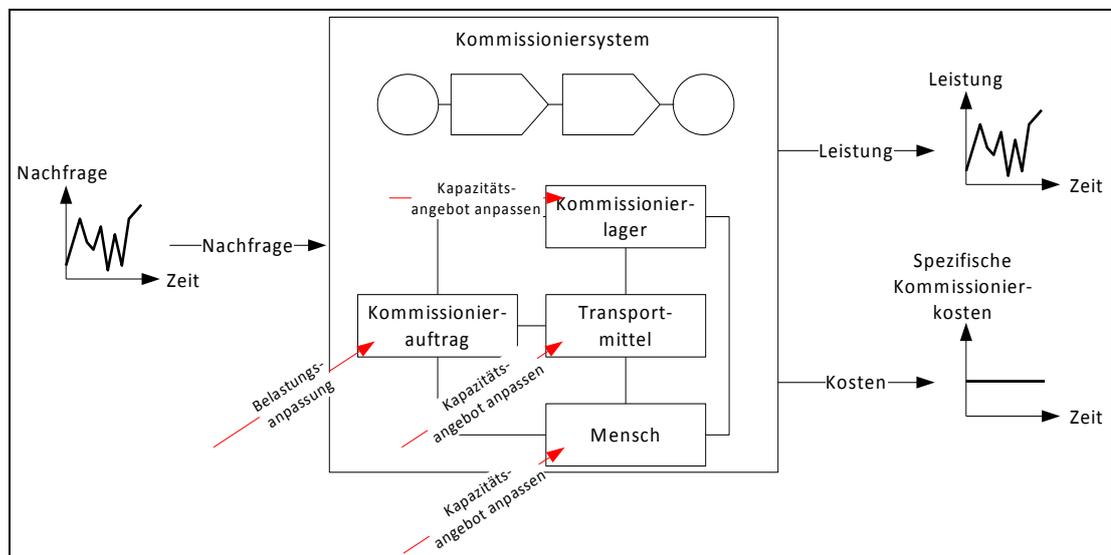


Abbildung 33: Übersicht über die analysierten Flexibilitätspotenziale

Für die Zielstellung der Arbeit (s. Kapitel 0) sind die Flexibilitätspotenziale in einem Entscheidungsmodell abzubilden. Das Entscheidungsmodell soll in der Lage sein, die optimale Strategie für die Anwendung der Flexibilitätspotenziale bei angenommenen Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen zu identifizieren und zu quantifizieren. Für die Entscheidungsfindung werden im nächsten Kapitel die Flexibilitätspotenziale mathematisch formuliert und mit Methoden des Operations Research die optimale Strategie bestimmt.

## 5 Kommissioniersysteme als Entscheidungsmodell

Die vorangegangenen Kapitel beschreiben die Planung, den Aufbau, die Struktur und die Funktionsweise von Kommissioniersystemen. Für die zielgerichtete Reaktion des Kommissioniersystems auf kurzfristige Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen sind Flexibilitätspotenziale aus der Kapazitätsplanung abgeleitet. Es gilt, diese Flexibilitätspotenziale in Kommissioniersystemen zielgerichtet einsetzen zu können.

In diesem Kapitel wird ein Entscheidungsmodell für Kommissioniersysteme entwickelt, welches das Verhalten von Kommissioniersystemen auf unterschiedliche Beschäftigungslagen abbildet (s. Abbildung 34). Das Modell des Kommissioniersystems wird durch die mathematische Modellierung der Flexibilitätspotenziale in Form von konkreten Anpassungsmaßnahmen erweitert. Der angewendete Lösungsalgorithmus ist die Dynamische Optimierung

Das Kapitel beginnt mit den Grundlagen über die Dynamische Optimierung (Kapitel 5.1). Kapitel 5.2 stellt die Dynamische Optimierung mathematisch formal dar. Zum besseren Verständnis wird die Vorgehensweise in der Lösungsentwicklung anhand eines Beispiels diskutiert (Kapitel 5.3). Im letzten Teil dieses Kapitels wird das Konzept des Entscheidungsmodells für Kommissioniersysteme vorgestellt (Kapitel 5.4).

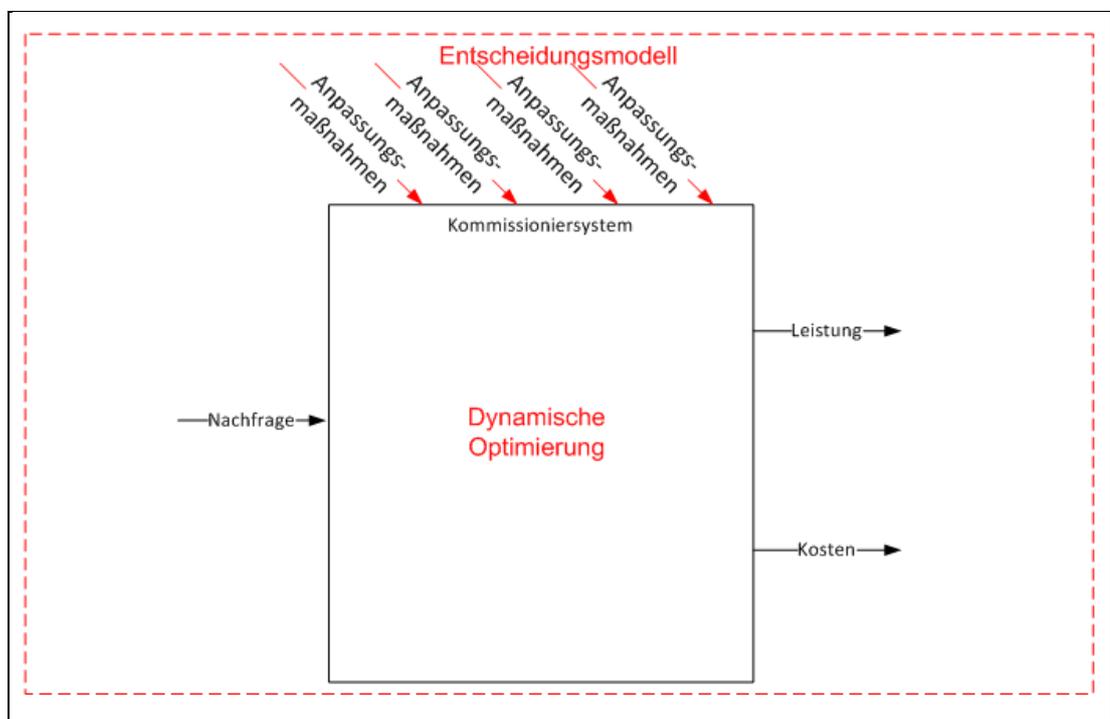


Abbildung 34: Entwicklung des Entscheidungsmodells

## 5.1 Grundlagen der Dynamischen Optimierung

Methoden des Operations Research befassen sich mit der Analyse von komplexen Problemstellungen. Durch Methoden wird versucht, dem Planer eine Hilfestellung in betrieblichen Fragen zu geben, um für ein Entscheidungsproblem die optimale Lösung zu finden, beziehungsweise die vorteilhafteste Handlungsalternative auszuwählen (Domschke, Drexl 2004, S. 1–3). Die Entscheidungssituation wird in einem mathematischen Modell abstrahiert und innerhalb des modellierten Grundproblems die Auswahl aus mehreren, einander sich ausschließenden Handlungsalternativen untersucht (Laux 2005, S. 2). Vor dem Hintergrund der konkreten Zielvorstellung werden die Konsequenzen unterschiedlicher Handlungsalternativen bewertet. Die Entscheidungstheorie beantwortet die Frage: Wie sind Entscheidungen bei gegebenen Entscheidungsprämissen zu treffen? (Bamberg, Coenenberg 2002, S. 4). In der Betriebswirtschaftslehre ist die Entscheidungstheorie weit verbreitet (Bamberg, Coenenberg 2002, S. 11).

In Kommissioniersystemen werden Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen von einem verantwortlichen Mitarbeiter zu diskreten Zeitpunkten durchgeführt. Ein diskreter Zeitpunkt kann zum Beispiel einmal im Monat, in der Woche, am Arbeitstag oder in der Stunde sein. Die Entscheidungen werden vor dem Hintergrund der erwarteten Nachfragesituation getroffen. Das Ziel ist es, bei einer veränderten Nachfragesituation möglichst wirtschaftlich zu kommissionieren. Hierzu muss die optimale Folge von Anpassungsmaßnahmen über den Planungszeitraum getroffen werden. Der zusätzliche zeitliche und monetäre Aufwand, der durch die Anpassungsmaßnahme verursacht wird, wird berücksichtigt.

Unterschiedliche Nachfragesituationen können in Form von Szenarien abgebildet werden. Die Folge ist, dass in jedem Szenario für jede zu planende Periode genau ein zukünftiger Bedarf (-sverlauf) angenommen wird. Durch die deterministische Abbildung des Bedarfs findet eine Vereinfachung statt, die es ermöglicht, den Berechnungsaufwand deutlich zu reduzieren (Laux 2005, S. 52). Ohne die deterministischen Annahmen müssten für jeden Bedarfsverlauf Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Dem zunehmenden Berechnungsaufwand steht kein deutlich höherer Nutzen gegenüber, da die Genauigkeit der zukünftigen Bedarfsverläufe nur begrenzt gesteigert werden kann.

Zur Lösung einer solchen diskreten, deterministischen Entscheidungssituation bietet sich die Dynamische Optimierung an. Dynamische Optimierung dient zur Ermittlung einer optimalen Folge von Entscheidungen bei mehrperiodischen Entscheidungssituationen (Domschke, Drexl 2004, S. 157; Bertsekas 2000, S. 30). Methodischer Kern ist die Zerlegung eines Gesamtproblems  $P_0(z_0)$  in eine Folge von einfachen Einzelentscheidungen. Unter Anwendung der Bellman'schen Rekursionsformel wird eine

optimale Folge von Entscheidungen  $X^*$  ermittelt (Bamberg, Coenberg 2002, S. 15; Schneeweiß 1974, S. 25). Dynamische Entscheidungsmodelle ermitteln bei einer Folge voneinander abhängigen Entscheidungen ein Optimum für ein Gesamtproblem (Bertsekas 2000, S. 58).

Das nachfolgende Kapitel 5.2 beschreibt die Grundlagen zur formalen Lösung von Entscheidungsproblemen. Kapitel 5.3 verdeutlicht die Entscheidungsfindung noch einmal anhand eines Beispiels.

## 5.2 Formale Beschreibung der Dynamischen Optimierung

Zur Lösung von Entscheidungsproblemen wird das Problem mathematisch formuliert. Ziel ist die Ermittlung einer optimalen Folge von Anpassungsmaßnahmen über einen mehrperiodischen Planungszeitraum. Die Anpassungsmaßnahmen sind dann optimal ausgewählt, wenn ein Zielfunktionswert in der letzten Periode minimal ist. Eine allgemeine Formulierung einer Zielfunktion – mit dem Ziel, den Zielfunktionswert zu minimieren – lautet (Domschke, Drexl 2004, S. 158):

$$\text{Minimiere } F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n f_k(z_{k-1}, x_k)$$

Die systemtheoretische Modellierung des Entscheidungsproblems ist in Abbildung 35 dargestellt.

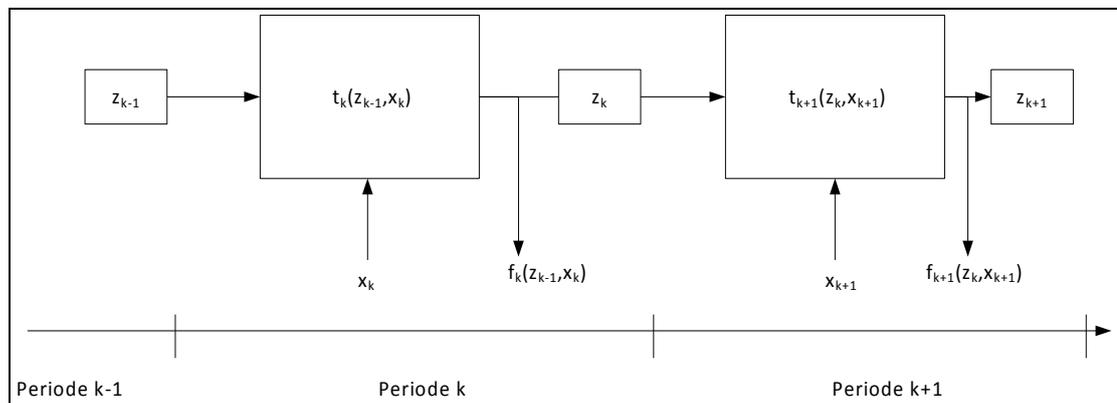


Abbildung 35: Zeitliche Stufenstruktur eines diskret deterministischen Modells

Am Ende der Planungsperiode  $k-1$  befindet sich das System im Zustand  $z_{k-1}$ . Durch die Entscheidung  $x_k$  in der Periode  $k$  wird das System durch die Zustandstransformationsgleichung  $t_k$  in den Zustand  $z_k$  überführt. Der Einfluss der Entscheidung  $x_k$  auf den Zielfunktionswert  $F(x)$  wird durch die periodenbezogene Zielfunktion  $f_k$  quantifiziert. Die periodenbezogene Zielfunktion  $f_k(z_{k-1}, x_k)$  bildet die monetäre Folge der Entscheidung  $x_k$  im Zustand  $z_{k-1}$  ab. In jeder weiteren Periode  $k$  bis  $k = n$  werden Entscheidungen getroffen. Die Folge von Entscheidungen  $X = \{x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, \dots, x_n\}$ ,

die während des Planungsprozesses vom Anfangszustand bis zum Erreichen des Endzustands durchgeführt werden, wird als Strategie bezeichnet. Die Strategie ist optimal, wenn die Zielfunktion  $F(x)$  über den Zeitraum  $k = 1, \dots, n$  einen minimalen Wert annimmt (Domschke, Drexl 2004, S. 162). Die optimale Strategie ist mit  $X^* = \{x^*_1, \dots, x^*_n\}$  bezeichnet.

Die formale Beschreibung des Entscheidungsproblems ist (vgl. Domschke, Drexl 2004, S. 158):

Minimiere den Zielfunktionswert:

$$\text{Minimiere } F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n f_k(z_{k-1}, x_k)$$

Unter Betrachtung der Nebenbedingungen:

Zustandsvariable

$$z_k \in Z_k (k = 1, \dots, n)$$

Entscheidungsvariable

$$x_k \in X_k(z_{k-1}) (k = 1, \dots, n)$$

Zustandstransformationsgleichung:

$$z_k = t_k(z_{k-1}, x_k) (k = 1, \dots, n)$$

Anfangszustand

$$z_0 = a$$

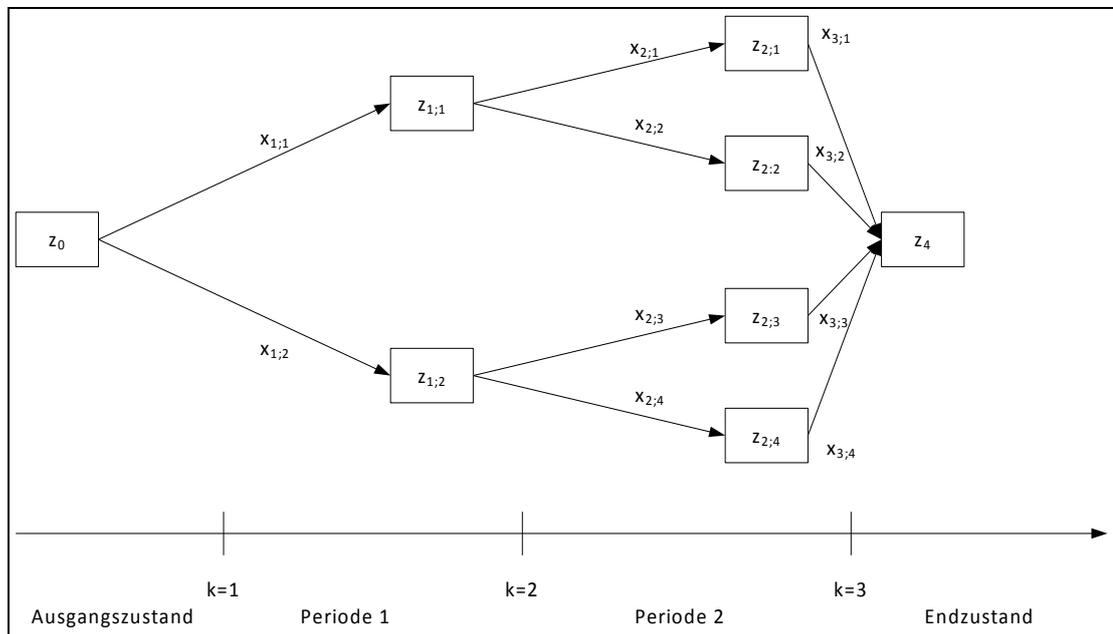
Die zulässigen Entscheidungen  $x_k$  zu einem Zeitpunkt  $k \in \{1, \dots, n\}$  des Planungszeitraums werden in der Menge  $X_k(z_{k-1})$  zusammen gefasst.  $X_k$  enthält eine endliche Anzahl Entscheidungen  $X_k(z_{k-1}) = \{x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,m}\}$ . Die einzelnen Entscheidungen innerhalb der Menge  $X_k(z_{k-1})$  schließen sich gegenseitig aus.

Die Übertragung der mathematischen Formulierung auf Kommissioniersysteme ist in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8: Kommissioniersysteme als Entscheidungsproblem modellieren**

	Größen im Entscheidungsmodell	Größen im Kommissioniersystem
Periode	$k$	Zeit
Zustandsvariable	$z_k$	Kapazität des Kommissioniersystems in der Periode $k$
Entscheidungsvariable	$x_k$	(eine) Anpassungsmaßnahme in der Periode $k$
Entscheidungsmenge	$X_k$	Zusammenfassung aller zulässigen Anpassungsmaßnahmen in der Periode $k$
Zustandstransformationsgleichung	$t_k$	Kapazitive Wirkung einer Anpassungsmaßnahme auf den nachfolgenden Zustand
Periodenbezogener Zielfunktionswert	$f_k(z_{k-1}, x_k)$	Monetäre Wirkung einer Anpassungsmaßnahme auf die Wirtschaftlichkeit
Zielfunktionswert	$F(x_1, \dots, x_n)$	Summe der verursachten Kosten durch kapazitive Anpassungen innerhalb des gesamten Planungszeitraums
Optimale Strategie	$X^* = \{x_{1,1}^*, \dots, x_{n,n}^*\}$	Optimale Folge von Anpassungsmaßnahmen über den gesamten Planungszeitraum

Für diese Klasse der diskret, deterministischen Modelle erfolgt die Problemlösung auf Basis des Optimalitätsprinzips von Bellman (Bellman 1954, S. 504). Zum besseren Verständnis können alle Systemzustände und Entscheidungsmengen in einem Entscheidungsgraph vollständig abgebildet werden (s. Abbildung 36) (vgl. Bertsekas 2000, S. 58).



**Abbildung 36: Baum zulässiger Entscheidungen mit  $k = 1, \dots, n$  und  $n = 3$  (in Anlehnung an Domschke, Drexl 2004, S. 161)**

Die Lösungsentwicklung der Dynamischen Optimierung erfolgt in Form der Rückwärtsrekursion nach dem Bellman'schen Optimalitätsprinzip durch eine schrittweise, rückwärtsgerichtete Iteration (Domschke, Drexl 2004, S. 163). Die Dynamische Op-

timierung hat die Aufgabe für das Problem  $P_0(z_0=a)$  den geringsten Zielfunktionswert  $F^*_0(z_0)$  zu quantifizieren und dabei die optimale Strategie  $X^*$  festzulegen, um das betrachtete Modell von dem Anfangszustand  $z_0 = a$  in den Endzustand  $z_n$  zu überführen. Analog wird das Problem mit  $P_{k-1}(z_{k-1})$  bezeichnet, wenn das System von einem Systemzustand  $z_{k-1} \in Z_{k-1}$  in den Endzustand  $z_n$  überführt werden soll.

Das Vorgehen zur Bestimmung der Lösung für das Minimierungsproblem  $P_0(z_0=a)$  ist dann:

1. Bestimme für das Problem  $P_{n-1}(z_{n-1})$  mit  $z_{n-1} \in Z_{n-1}$  die optimale Entscheidung  $x^*_n(z_{n-1})$  (im Sinne der Erreichung der Zielfunktion), die  $z_{n-1}$  bestmöglich in den Endzustand  $z_n$  überführt. Damit ist der Zielfunktionswert  $F_{n-1}(z_{n-1}) = f_n(z_{n-1}, x^*_n(z_{n-1}))$  für alle  $z_{n-1} \in Z_{n-1}$ .
2. Es folgt die Iteration für  $k = n-1, \dots, 1$ : Für jedes Problem  $P_{k-1}(z_{k-1})$  mit  $z_{k-1} \in Z_{k-1}$  wird die optimale Strategie  $X^*_k$  ermittelt, die  $z_{k-1}$  in einen der möglichen Endzustände überführt und den zugehörigen Zielfunktionswert  $F^*_{k-1}(z_{k-1})$  berechnet. Dies geschieht mit Hilfe der rekursiven Funktionalgleichung:

$$F^*_{k-1}(z_{k-1}) = \min\{f_k(z_{k-1}, x_k) + F^*_k(z_k = t_k(z_{k-1}, x_k)) \mid x_k \in X_k(z_{k-1})\}$$

Nach Abschluss der Iteration für  $k = 1$  ist die optimale Folge von Entscheidungen  $X^*$  für das Gesamtproblem  $P_0(z_0=a)$  und dessen Zielwertfunktion  $F(X^*)$  bekannt. Der vollständige Beweis des Bellman'schen Optimalitätsprinzips ist in Domschke, Drexl; Schneeweiß; Bertsekas dargestellt (Domschke, Drexl 2004, S. 162; Schneeweiß 1974, S. 54; Bertsekas 2000, S. 23).

Um Vorgehen in der Problemlösung mit der Dynamischen Optimierung zu veranschaulichen, wird das Beispiel aus Kapitel 2 aufgegriffen und die Personalkapazität für die 3 betrachteten Nachfragesituationen geplant und ausführlich dargestellt (in Anlehnung an Hanssmann 1990, S. 16).

### 5.3 Beispiel: Flexible Personalkapazität

Ein Unternehmen plant für drei aufeinander folgende Perioden den Arbeitskräftebedarf. Die Planungsstufen  $k$  entsprechen (Zeit-) Perioden. Die Nachfrage unterliegt gewissen Schwankungen. Der erwartete Nachfrageverlauf  $r(k)$  und die Randbedingungen der Personalkapazitätsplanung sind in Abbildung 37 dargestellt.

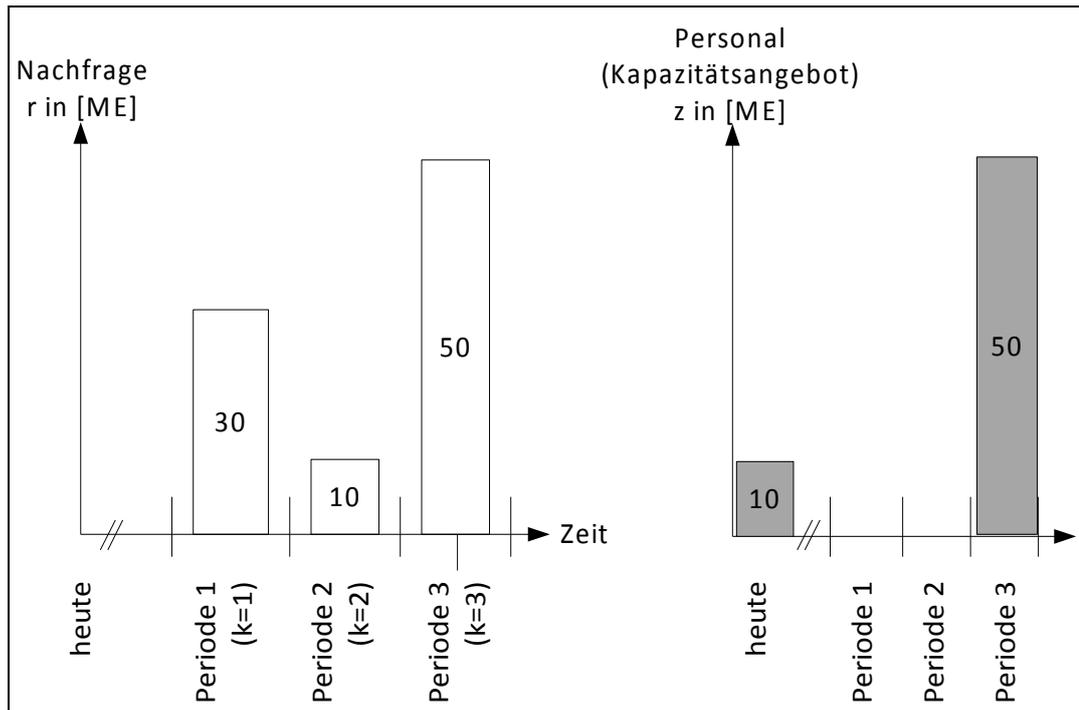


Abbildung 37: Ausgangssituation zu Planungsbeginn

Zu Beginn der Planung (heute,  $z_0$ ) verfügt das Unternehmen über 10 Mitarbeiter. Am Ende des Planungszeitraums soll die Personalkapazität entsprechend der Prognose 50 Mitarbeiter betragen (Kapazitätsdeckung). Die Kapazität eines Mitarbeiters entspricht einer Mengeneinheit (ME). Die Lohnkosten eines Mitarbeiters betragen  $a = 10$  GE/ME. Für die Einstellung von Mitarbeitern wird ein Aufwand kalkuliert, der sich nicht linear zu der Anzahl eingestellter Mitarbeiter verhält (s. Tabelle 9). Für die Reduzierung der Personalstärke fallen keine Kosten an.

Tabelle 9: Einstellungskosten

Kapazitätserhöhung ( $z_k - z_{k-1}$ ) [ME/Periode]	Einstellungskosten $g([z_k - z_{k-1}]^+)$ [GE]
0	0
10	50
20	150
30	300
40	500
50	750

Des Weiteren wird angenommen, dass

- Überstunden der Mitarbeiter nicht zulässig sind und
- die Kapazität aller Mitarbeiter zusammen  $z_k$  mindestens dem Kapazitätsbedarf  $r_k$  in der betrachteten Periode  $k$  entsprechen muss ( $z_k \geq r_k$ ). Eine Lagerung oder zeitliche Anpassung des Kapazitätsbedarfs ist ebenfalls nicht zulässig.
- Als kapazitive Obergrenze in einer Periode wird der maximal zu erwartende Bedarf im Planungszeitraum festgelegt ( $r_3 = 50$ ).

Das Unternehmen ist interessiert eine Strategie zu finden, wie die Personalkosten für die gesamte Planungsperiode minimiert werden können. Dieses Entscheidungsproblem wird mit der Dynamischen Optimierung gelöst.

Mathematische Modellierung:

$z_k$	Personalkapazität am Ende der Periode $k$
$Z_k$	Menge verfügbarer Personalkapazitäten am Ende der Periode $k$ . Abgeleitet aus den Nebenbedingungen ergibt sich: $Z_0 = \{10\}$ , $Z_1 = \{30,40,50\}$ , $Z_2 = \{10,20,30,40,50\}$ , $Z_3 = \{50\}$
$x_k$	Zu Beginn der Periode $k$ festzulegende Veränderung der Personalstärke
$X_k(z_{k-1})$	Zulässige Veränderungen der Personalstärke für die Periode $k$ .
$t_k$	Transformationsfunktion mit $t_k(z_{k-1}, x_k) = z_{k-1} + x_k$

Die periodenabhängige Zielfunktion  $f_k$  ist eine Kostenfunktion und setzt sich zusammen aus den anfallenden Lohnkosten während einer Periode und den gegebenenfalls anfallenden Kosten für die Aufstockung der Personalstärke. Die laufenden Lohnkosten in der Periode  $k$  sind proportional zu dem beschäftigten Personal in der Periode  $k$  und betragen  $a = 10$  GE/ME. Die Lohnkostenfunktion lautet:

$$\text{Lohnkosten pro Periode} = a \times z_k$$

Damit ergeben sich die (Lohn-) Kosten in jeder Periode zu:

$$\tilde{f}_k = a \times z_k + g([z_k - z_{k-1}]^+)$$

Die entstehenden Gesamtkosten für den Planungszeitraum betragen:

$$\tilde{F}(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n f_k(z_{k-1}, x_k) = \sum_{k=1}^n [a \times z_k + g([z_k - z_{k-1}]^+)]$$

Für die Optimierung ist es wichtig, die anfallenden Kosten von den entscheidungsrelevanten Kosten zu unterscheiden. Da in jeder Periode mindestens der Kapazitätsbedarf durch die zur Verfügung stehenden Mitarbeiter gedeckt werden muss, gilt: Die

Personalkapazität in jeder Periode entspricht mindestens dem Kapazitätsbedarf ( $z_k \geq r_k$ ). Daraus folgt, dass in einer Periode  $k$  mindestens die Lohnkosten in Höhe von  $ar_k$  anfallen. Die Lohnkosten in Höhe von  $ar_k$  sind damit nicht entscheidungsrelevant. Wird die Kostenfunktion um diesen Wert reduziert, ergeben sich die entscheidungsabhängigen Gesamtkosten zu:

$$F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n [a(z_k - r_k) + g([z_k - z_{k-1}]^+)]$$

Die Zielfunktion für das Gesamtproblem lautet (s. Abbildung 38):

$$\text{Minimiere } F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n f_k(z_{k-1}, x_k) = \sum_{k=1}^n [a(z_k - r_k) + g([z_k - z_{k-1}]^+)]$$

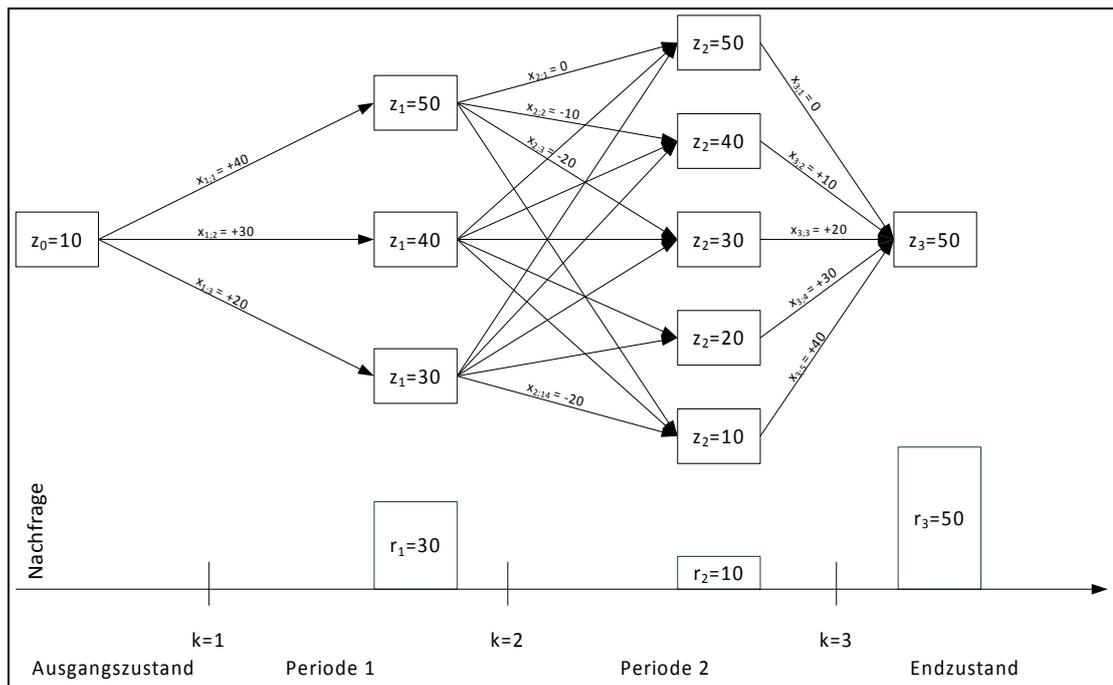
Unter den Nebenbedingungen:

$$z_k = z_{k-1} + x_k \quad (\text{für } k = 1, \dots, 3)$$

$$z_k = \begin{cases} 10 & \text{für } k = 0 \\ \in \{10, 20, 30, 40, 50\} & \text{für } k = 1, 2 \\ 50 & \text{für } k = 3 \end{cases}$$

$$x_k \in \{-40, -30, \dots, +40\}$$

Aufgabe der Optimierung ist die optimale Folge von Entscheidungen mit  $X^* = \{x^*_1, \dots, x^*_3\}$  zu bestimmen, die das System am kostengünstigsten vom Anfangszustand in den Endzustand überführt.



**Abbildung 38: Systemzustände und Entscheidungsmengen für die Planung der Personalstärke. (Aus Gründen der Übersicht sind in Periode 2 nicht alle zulässigen Entscheidungen benannt)**

### Lösungsentwicklung:

Berechnung für  $k = 3$

Gemäß der schrittweisen, rekursiven Vorgehensweise wird zuerst die bestmögliche Lösung ermittelt, um von der Personalkapazität ( $z_2$ ) in Periode 2 die notwendige Personalkapazität von 50 ME im Endzustand ( $z_3$ ) zu erreichen. Da bisher noch nicht entschieden ist, welche Personalkapazität in der Periode 2 die beste ist, existieren mehrere Möglichkeiten den Endzustand zu erreichen. Allgemein zulässige Zustände  $z_2$  am Ende der Periode 2 sind  $Z_2 = \{10, 20, 30, 40, 50\}$ . Auf dieser Basis können folgende Entscheidungen zur Anpassung der Personalstärke getroffen werden:  $X_3 = \{+40, +30, +20, +10, 0\}$ .

Für jede zulässige Entscheidung  $x_3 \in X_3$  wird der periodenbezogene Zielfunktionswert

$f_k(z_{k-1}, x_k)$  bestimmt. Für den Endzustand in Periode  $k = 3$  ergibt sich:  $f_k(z_{k-1}, x_k) = f_3(z_2, x_3(z_2))$ . Die optimale Entscheidung führt zu  $F^*_2(z_2) = f_3(z_2, x^*_3(z_2))$ .

Zur besseren Übersicht werden die Rechnungen für jede Stufe in einer Tabelle dargestellt. In den Tabellen werden jeweils die besten Entscheidungen ( $x^*$ ) von einem Zustand  $z_k$  bis in den Endzustand in fetter Schrift hervorgehoben. Die sich später herausstellende optimale Strategie ist in rot gekennzeichnet.

**Tabelle 10: Berechnung der optimalen Entscheidung für k = 3**

Personalkapazität $z_2$ in Periode $k = 2$ ( $z_2 \in Z_2$ )	Getroffene Entscheidung $x_3$ ( $x_3 \in X_3$ )	Resultierende Personalkapazität $z_3$ in Periode $k = 3$ ( $z_3=50$ )	Gesamtkosten bis zum Endzustand und optimaler Zielfunktionswert $F_2(z_2), F^*_2(z_2)$
10	<b>+40</b>	50	<b>500</b>
20	<b>+30</b>	50	<b>300</b>
30	<b>+20</b>	50	<b>150</b>
40	<b>+10</b>	50	<b>50</b>
50	<b>0</b>	50	<b>0</b>

Der Zielfunktionswert für die Periode 2 lautet:

$$F_2(z_2) = f_3(z_2, x_3(z_2)) = g([50 - z_2]^+)$$

Da jeder zulässige Zustand  $z_2$  ( $z_2 \in Z_2$ ) nur über eine Verbindung zum Endzustand  $z_3$  verfügt, ist jede dargestellte Entscheidung von  $z_2$  zu  $z_3$  optimal. Es gilt hier:  $X^*_3 = X_3$ .

Iteration:

Berechnung für  $k = 2$

Ausgehend von den zulässigen Zuständen in  $z_1$  wird für jede mögliche Entscheidung  $x_2$  (, die die Personalstärke vom Zustand  $z_1$  in einen möglichen Zustand  $z_2$  überführt,) der periodenbezogene Zielfunktionswert bestimmt. Auf Basis der rekursiven Funktionalgleichung wird die optimale Entscheidungsfolge  $X^*$  bestimmt, die den Zustand  $z_1 \in Z_1$  in den Endzustand  $z_3$  transformiert.

**Tabelle 11: Berechnung der optimalen Entscheidung für k = 2**

Personalkapazität $z_1$ in Periode $k = 1$ ( $z_1 \in Z_1$ )	Getroffene Entscheidung $x_2$ ( $x_2 \in X_2$ )	Resultierende Personalkapazität $z_2$ in Periode $k = 2$ ( $z_2 \in Z_2$ )	Zusätzliche Kosten durch die Entscheidung $x_2$ $f_2(z_1, x_2)$	Optimaler Zielfunktionswert in Periode $k = 2$ : $F^*_2(z_2)$	Gesamtkosten bis zum Endzustand $F_1(z_1)$
30	-20	10	0	500	500
	-10	20	100	300	400
	<b>0</b>	30	<b>200</b>	150	<b>350</b>
	+10	40	350	50	400
	+20	50	550	0	550
40	-30	10	0	500	500
	-20	20	100	300	400
	<b>-10</b>	30	<b>200</b>	150	<b>350</b>
	<b>0</b>	40	<b>300</b>	50	<b>350</b>
	+10	50	450	0	450
50	-40	10	0	500	500
	-30	20	100	300	400
	<b>-20</b>	30	<b>200</b>	150	<b>350</b>
	<b>-10</b>	40	<b>300</b>	50	<b>350</b>
	0	50	400	0	400

Ausgehend von den Zuständen  $z_1 = 30$ ,  $z_1 = 40$  beziehungsweise  $z_1 = 50$  gibt Tabelle 11 an, dass es mehrere optimale Entscheidungsfolgen gibt, um den Endzustand  $z_3 = 50$  zu erreichen.

Die bisher optimale Zielfunktion ergibt sich aus:

$$F_{k-1}^*(z_{k-1}) = \min\{f_k(z_{k-1}, x_k) + F_k^*(z_k = t_k(z_{k-1}, x_k)) \mid x_k \in X_k(z_{k-1})\}$$

$$F_1^*(z_1) = \min\{f_2(z_1, x_2) + F_2^*(z_2)\}$$

Es gilt:

Für  $z_1 = 30$  ist  $X^*_2 = \{30\}$ , für  $z_1 = 40$  ist  $X^*_2 = \{30, 40\}$  und für  $z_1 = 50$  ist  $X^*_2 = \{30, 40\}$  die Entscheidung optimal.

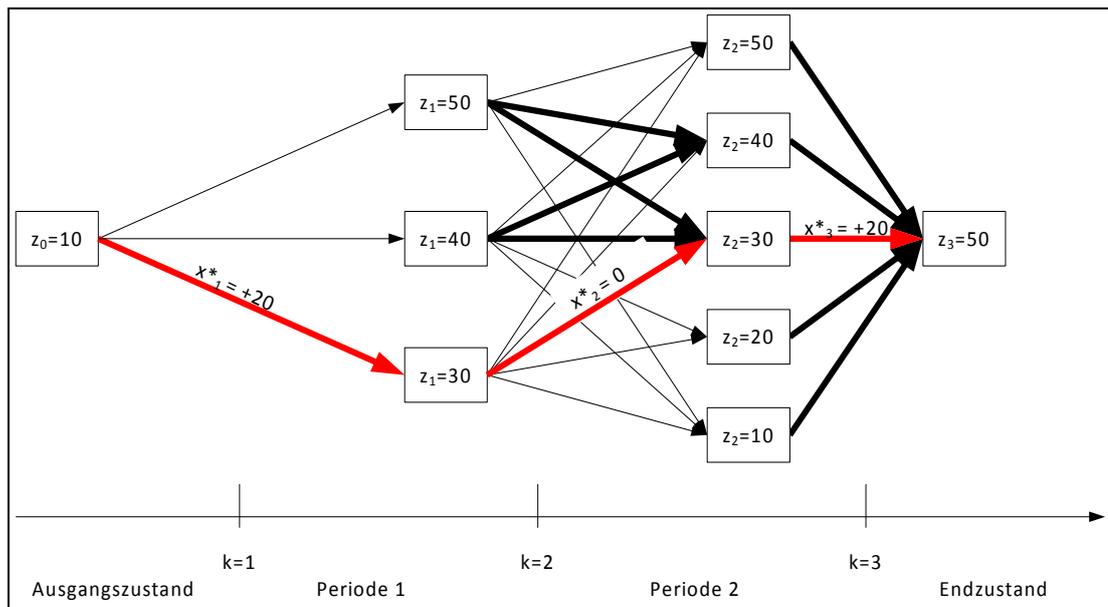
Berechnung für  $k = 1$

Analog zu der Berechnung für  $k = 2$  wird die Iterationsschleife für  $k = 1$  durchgeführt.

**Tabelle 12: Berechnung der optimalen Entscheidung für  $k = 1$**

Personalkapazität $z_0$ zu Planungsbeginn ( $z_0 = 10$ )	Getroffene Entscheidung $x_1$ ( $x_1 \in X_1$ )	Resultierende Personalkapazität $z_1$ in Periode $k = 1$ ( $z_1 \in Z_1$ )	Zusätzliche Kosten durch die Entscheidung $x_1$ $f_1(z_0, x_1)$	Optimaler Zielfunktionswert in Periode $k = 1$ : $F^*_1(z_1)$	Gesamtkosten bis zum Endzustand $F_0(z_0)$
10	<b>+20</b>	30	<b>150</b>	350	<b>500</b>
	+30	40	400	350	750
	+40	50	700	350	1050

Aus der Tabelle 12 leitet sich die optimale Folge der Entscheidungen ab. Das beeinflussbare Kostenminimum für das Gesamtproblem  $P_0(z_0)$  liegt bei  **$F^*_0(z_0) = 500$  GE**. Die optimale Strategie für das Gesamtproblem mit  $X^* = \{x^*_1, x^*_2, x^*_3\}$  ist  **$X^* = \{+20, 0, +20\}$** . In Abbildung 39 ist die optimale Entscheidungsfolge in rot gekennzeichnet. Ebenfalls sind alle im Laufe des Lösungsprozesses ermittelten optimalen Entscheidungsfolgen im Diagramm hervorgehoben.



**Abbildung 39: Optimale Entscheidungen**

Abbildung 40 stellt die Anpassungskosten und den gesamten Kostenverlauf für die optimale Strategie dar.

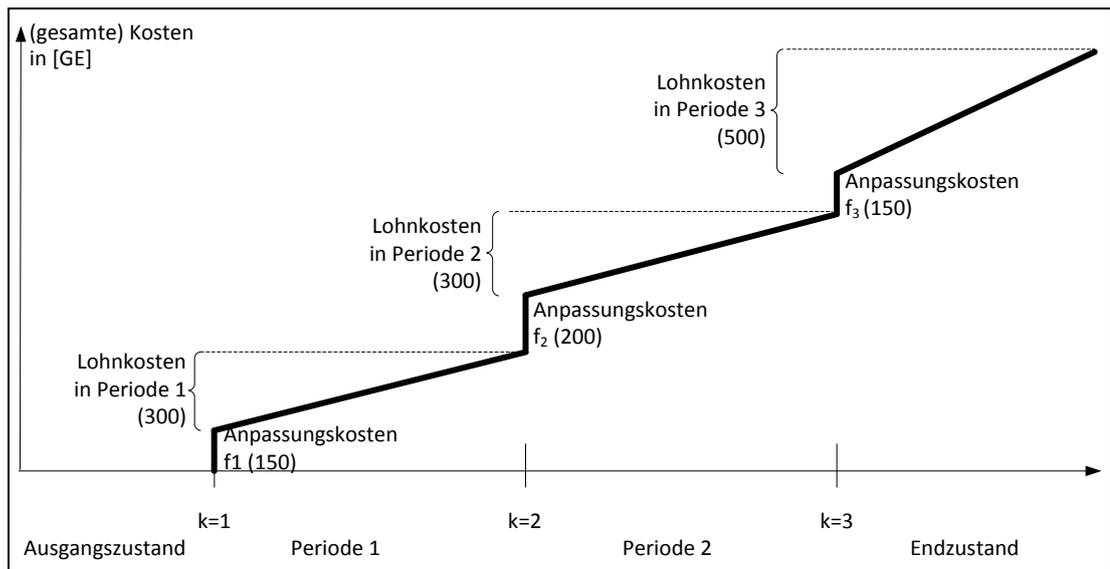


Abbildung 40: Kostenverlauf der optimalen Strategie

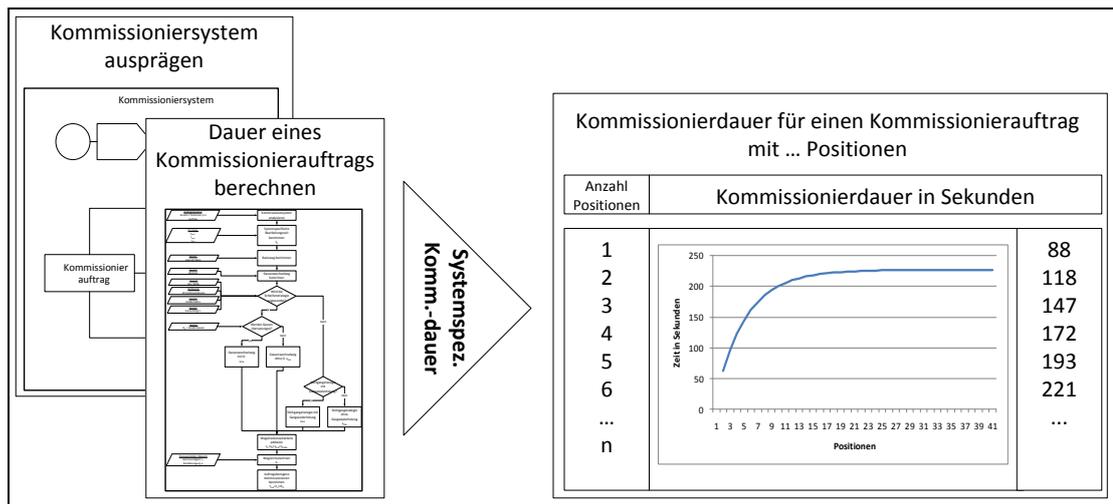
## 5.4 Konzept des Entscheidungsmodells für konventionelle Kommissioniersysteme

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Entscheidungsmodells für Kommissioniersysteme mathematisch formuliert. Das Entscheidungsmodell ermittelt durch die Anwendung der Dynamischen Optimierung (auf Basis der Bellman'schen Rekursionsformel) die optimale Folge von Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung einer prognostizierten Kapazitätsnachfrage. Die Modellierung konzentriert sich auf die kurzfristig beeinflussbaren Größen in der Personalkapazität. Schwerpunkte der Modellierung sind die Ermittlung des kommissioniersystemspezifischen Periodenbedarfs (Kapazitätsbedarf), die Ermittlung des Kapazitätsangebots und die Abbildung der zulässigen Anpassungsmaßnahmen in einer Entscheidungsmenge.

### 5.4.1 Periodenbedarf

Im ersten Schritt sind die leistungsbeeinflussenden Elemente der Aufbau- und Ablauforganisation abzubilden (s. Abbildung 41). Zu den leistungsbestimmenden Elementen gehört maßgeblich die Dauer der einzelnen Kommissionierprozesse (Basiszeit, Greifzeit, Totzeit und Wegzeit), die wiederum abhängig ist von der Anordnung der Regale, der zurückzulegenden Wegstrecken, der Sortimentsbreite, etc. (s. Kapitel 4.1). Sind diese Parameter bestimmt, kann auf dieser Basis die erwartete Dauer der Kommissionierung  $t_{Auf}$  für einen Kommissionierauftrag in Abhängigkeit der Anzahl Positionen  $n$  bestimmt werden (vgl. Abbildung 27).

$$t_{Auf}(n) = t_n + n \times t_B$$



**Abbildung 41: Systemspezifische Kommissionierdauer in Abhängigkeit von der Anzahl Positionen**

Die Kommissionieraufträge mit ihren n Positionen werden als Zeitreihe abgebildet. Die Darstellung als Zeitreihe ermöglicht für verschiedene Nachfragesituationen eigene Zeitreihen zu entwickeln (s. Abbildung 42). Die Kapazitätsbedarfe je Auftrag werden zu Periodenkapazitäten  $r_k$  (s. Kapitel 3.3.1) zusammengefasst. Das Ergebnis ist der Kapazitätsbedarf je betrachteter Periode.

$$r_k = \left( \sum_{n=1}^{n=\max(n)} t_{Auf,n}(n) \right)_k$$

Der Kapazitätsbedarf wird für jede Periode innerhalb des Planungszeitraums T bestimmt. Um Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen gezielt darzustellen, werden Kapazitätsbedarfe mit den Nachfrageverlaufs-Komponenten Trend, Saison oder Konjunktur überlagert (vgl. Kapitel 1.2.1). Diese Berechnung ist nicht Bestandteil der Software. Allerdings können die Kapazitätsbedarfe manuell eingegeben werden.

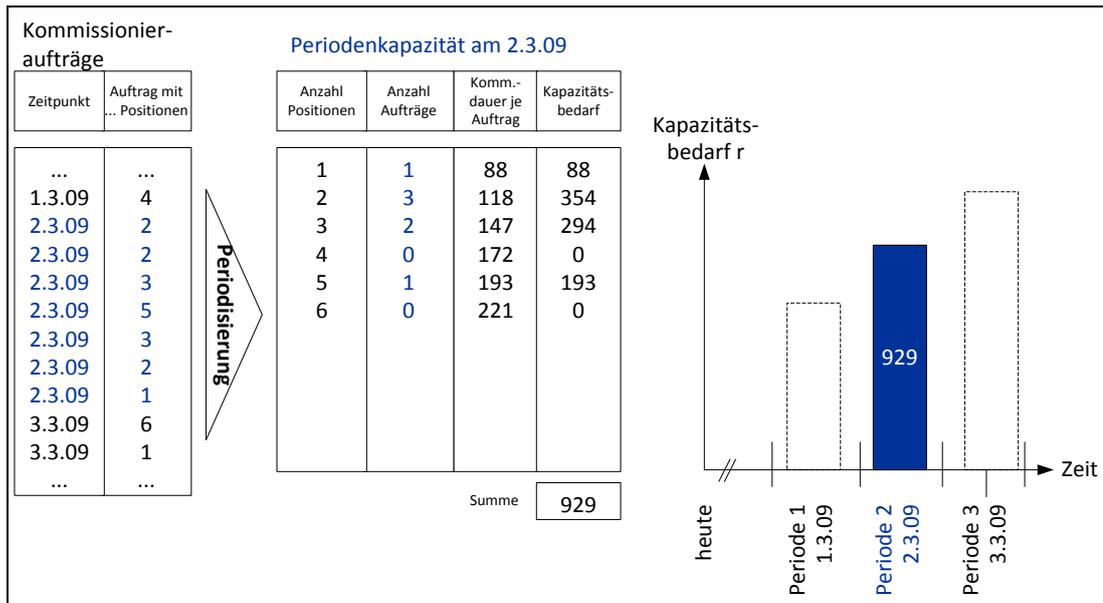


Abbildung 42: Periodenbezogener Kapazitätsbedarf

### 5.4.2 Kapazitätsangebot und Entscheidungsmengen

Das Kapazitätsangebot zur Deckung des Kapazitätsbedarfs wird bereitgestellt von den Elementen Kommissionierlager, Transportmittel und Mensch. Das vorliegende Forschungsvorhaben konzentriert sich auf die kurzfristige Beeinflussung der entscheidungsrelevanten Kosten, verursacht durch die Bereitstellung der Personalkapazität (s. Kapitel 3.4). Für die möglichst wirtschaftliche Kommissionierung über einen definierten Zeitraum müssen Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf identisch sein (s. Kapitel 3.3.3). Zur Vermeidung von Überkapazitäten ist die Aufgabe der Flexibilitätsplanung in konventionellen Kommissioniersystemen, das Kapazitätsangebot möglichst schnell an den Kapazitätsbedarf anzupassen (Gleichlaufprinzip, s. Kapitel 3.3.4). Die Personalkapazität  $z_{MA}$  ist abhängig vom Zeitgrad  $\beta_{MA}$ , der Anwesenheitszeit  $a_{MA}$  und der Anzahl Mitarbeiter  $\#_{MA}$ .

$$z_{MA} = \beta_{MA} \times a_{MA} \times \#_{MA}$$

Die (kostenwirksame) Veränderung der Personalkapazität von der Periode  $k-1$  durch eine Anpassungsmaßnahme  $x_k$  in die Periode  $k$  erfolgt durch die Variation der Personalstärke. Die Anzahl Mitarbeiter, um die die Personalstärke erhöht wird, wird mit  $\#^{MA+}$  bezeichnet. Die Anzahl Mitarbeiter, um die die Personalstärke reduziert wird, wird mit  $\#^{MA-}$  bezeichnet. Mit:

$$\#_{MA_k} = (\#_{MA_{k-1}} + \#_k^{MA+} + \#_k^{MA-})$$

Abhängig vom Anstellungsverhältnis der Mitarbeiter wird für jedes Beschäftigungsverhältnis eine eigene Kapazitätsberechnungsformel ausgeprägt. Es gilt:

$$\text{Index MA} = \{FA; ZA; AU\}$$

mit:

*FA: Festangestellter Mitarbeiter, ZA: Zeitarbeiter, AU: Aushilfe*

Für die Personalkapazität in  $k$  gilt:

$$z_k = z_{MA_k} = z_{FA_k} + z_{ZA_k} + z_{AU_k}$$

Die maximale Entscheidungsmenge  $X_k$  in jedem Zustand  $z_k$  wird beschrieben durch die Kombination aller zulässigen Anpassungsmaßnahmen ( $x_k \in X_k$ ). Eine Anpassungsmaßnahme besteht zum Beispiel darin, die Anzahl festangestellter Mitarbeiter um 1 zu erhöhen ( $x_1 = \#^{FA+} = 1$ ). Eine weitere Anpassungsmaßnahme ist die Anzahl festangestellter Mitarbeiter um 1 zu erhöhen und die Anzahl an Aushilfskräften um 1 zu reduzieren ( $x_2 = (\#^{FA+}; \#^{AU-} = (1;1))$ ). Veranschaulicht bedeutet dieses:

$$X_k(FA, AU) = \{x_1; x_2\} = \{(1,0); (1,1)\}$$

Die maximale Entscheidungsmenge wird mathematisch gebildet, indem das kartesische Produkt aller Anpassungsmaßnahmen jedes Beschäftigungsverhältnisses gebildet wird (vgl. Schubert 2007, S. 97).

$$X_k(FA, AZ, AU) = \left\{ \{ \#_k^{FA+} \} \times \{ \#_k^{FA-} \} \times \{ \#_k^{ZA+} \} \times \{ \#_k^{ZA-} \} \times \{ \#_k^{AU+} \} \times \{ \#_k^{AU-} \} \right\}$$

Die Gesamtzahl an Anpassungsmaßnahmen in der Entscheidungsmenge  $X_k$  entspricht der Multiplikation der Elemente aller Teilmengen. Die Folge ist in der Regel eine große Entscheidungsmenge. Um die Entscheidungsmenge und damit den Rechenaufwand zu begrenzen, ist es empfehlenswert, sowohl für die Teilmengen  $\{ \#_k \}$  als auch für die Gesamtmenge  $\{ X_k \}$  Grenzen festzulegen nach dem Muster:

$$\{ \#_k^{MA\pm} \} = \{ g_{MA} \mid \min(g_{MA}) \leq g_{MA} < \max(g_{MA}); g \in \mathbb{N} \}$$

Eine sinnvolle untere Grenze für die Entscheidungsmenge  $X_k$  ist zum Beispiel, dass die entstehenden Zustände  $z_k$  im Zeitpunkt  $k$  (Kapazitätsangebot) nicht kleiner sein dürfen als  $r_k$  (Kapazitätsbedarf). Als obere Grenze ist es sinnvoll alle Zustände auszuschließen für die gilt:  $z_k \gg r_k$ .

Hintergrund der Grenzbildung ist, dass die maximale Menge an Anpassungsmaßnahmen  $x_k$  in der Entscheidungsmenge  $X_k$  der Mächtigkeit der Entscheidungsmenge entspricht. Kann zum Beispiel die Personalstärke der festangestellten Mitarbeiter, der Aushilfskräfte und der Zeitarbeiter jeweils um 0 bis maximal 3 Personen erhöht werden, ergibt sich folgende Entscheidungsmenge mit  $m = 64$  Elementen (Schubert 2007, S. 94):

$$\begin{aligned} X_k &= \{ \{0,1,2,3\}_{FA}; \{0,1,2,3\}_{AU}; \{0,1,2,3\}_{ZA} \} \\ &= \{ \{0,1,2,3\}_{FA} \times \{0,1,2,3\}_{AU} \times \{0,1,2,3\}_{ZA} \} = \{ x_1, \dots, x_{m=64} \} \end{aligned}$$

In der Logik des Entscheidungsmodells wird für jeden Zustand  $z_k$  anhand der Elemente der Entscheidungen  $X_k$  jeweils ein nachfolgender Zustand  $z_{k+1, 1 \dots m}$  berechnet. Hat  $X_k$   $m$ -Elemente, entstehen  $m$  neue Zustände in  $k+1$ . Für jeden dieser neuen  $m$  Zustände in  $k+1$  werden wiederum  $m$  neue Zustände in  $k+2$  ermittelt. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass je Periode die Anzahl Zustände um  $k^m$  zunimmt. Daher ist es für die praktische Anwendung des Lösungsalgorithmus ratsam, die Entscheidungsmenge  $X_k$  in jedem Zustand  $z_k$  zu begrenzen und die Anzahl der Elemente in der Entscheidungsmenge auf die für die Planung interessanten Fälle zu konzentrieren.

### 5.4.3 Anpassungskosten (periodenbezogener Zielfunktionswert)

Kann der Kapazitätsbedarf nicht unmittelbar und exakt gedeckt werden, entstehen Kosten für Überkapazitäten  $((z_k - r_k) k_{l,MA})$ . Des Weiteren fallen für jede Anpassungsmaßnahme Kosten  $(k_{x,MA})$  an. Die entscheidungsrelevanten Kosten werden in der periodenbezogenen Zielfunktion  $f_k$  zusammengefasst (s. Kapitel 5.2):

$$f_k = \#_{MA_k} [(z_k - r_k) k_{l,MA} + k_{x,MA}]$$

$$\text{mit } k_{x,MA} = k(\#_k^{MA+}) + k(\#_k^{MA-})$$

Die zu optimierende Zielfunktion für den betrachteten Planungszeitraum  $k = 1, \dots, T$  ist

$$\text{Minimiere } F(x_1, \dots, x_T) = \sum_{k=1}^T \left[ \sum_{MA \in \{FA;ZA;AU\}} \#_{MA} [(z_k - r_k) k_{l,MA} + k_{x,MA}] \right]_p$$

Mit der Darstellung der Anpassungskosten sind alle Elemente des Entscheidungsmodells für Kommissioniersysteme bestimmt. Zur einfacheren Handhabung wird das Entscheidungsmodell für Kommissioniersysteme als Software programmiert. Der Aufbau der Software ist Gegenstand des Kapitels 6.

## 6 Entwickelte Software

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird für die Quantifizierung und Berechnung der optimalen Strategie innerhalb des Entscheidungsmodells für Kommissioniersysteme eine Software programmiert, welche die zahlreichen Berechnungen selbständig durchführt. Die Software besteht strukturell aus zwei Komponenten. In der ersten Komponente werden die unternehmensspezifischen Parameter des Kommissioniersystems eingetragen und verarbeitet. Berechnungsergebnis ist der Kapazitätsbedarf je Periode. In der zweiten Komponente wird die optimale Personaleinsatzstrategie mit Hilfe der Bellman'schen Rekursionsformel bei schwankender Nachfrage bestimmt.

Dieses Kapitel beschreibt zuerst eingesetzten Programmierwerkzeuge (Kapitel 6.1) und die Anwendung der Software (Kapitel 6.2). Die Funktionalität der Software wird an einem Fallbeispiel konkretisiert (Kapitel 6.3).

### 6.1 Eingesetzte Programmierwerkzeuge

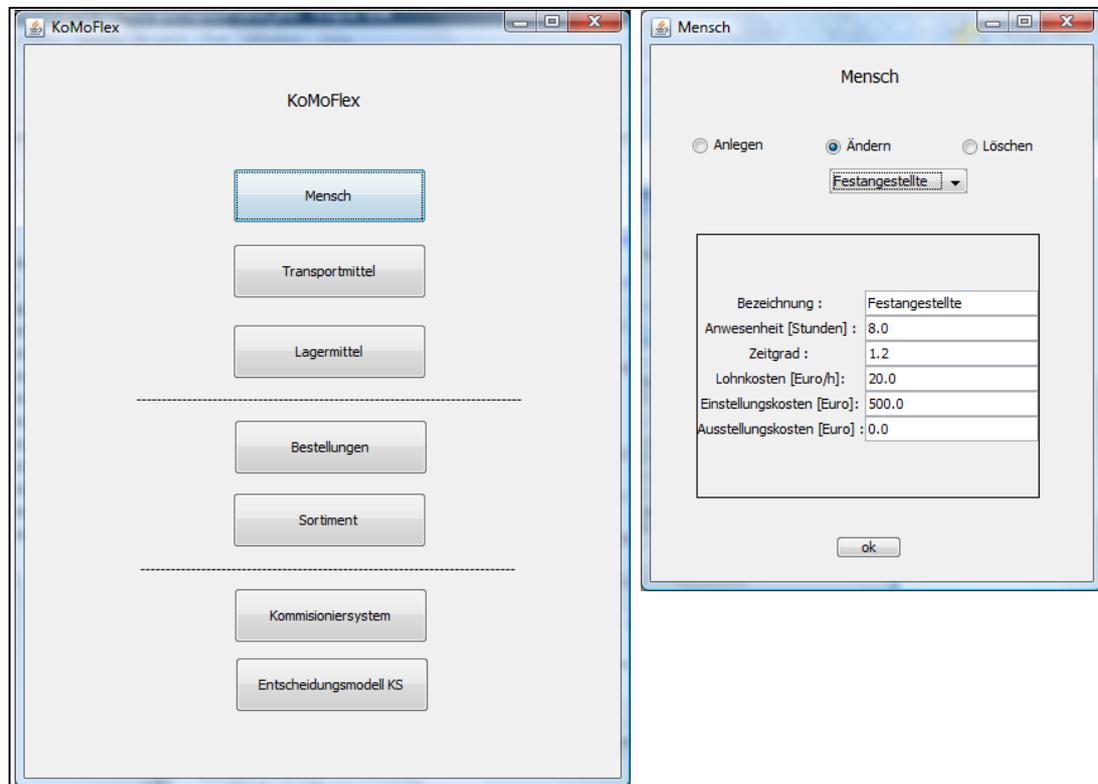
Zur automatisierten Lösung der zahlreichen und umfangreichen Berechnungen ist das Entscheidungsmodell in der Entwicklungsumgebung Eclipse IDE for Java Developers (Version 1.2.0.2009) programmiert. Die Programmiersprache ist Java. Die Informationen zur Beschreibung eines Kommissioniersystems sind in mehreren Tabellen innerhalb einer Datenbank zusammengefasst. Zur Datenbankverwaltung wird der Datenbankserver von MySQL eingesetzt. Die Lizenzen von Eclipse (Common Public License) und MySQL (General Public License) gestatten das Recht zur freien Nutzung, Weiterverbreitung und auch Veränderung der Softwaresysteme. Beide Programme sind kostenfrei und können im Internet heruntergeladen werden ([www.mysql.com](http://www.mysql.com), <http://www.eclipse.org/>)

Die Daten in den Datenbanktabellen werden von der in Java programmierten Software verwaltet. Die Berechnungsergebnisse des Kapazitätsbedarfs, des Kapazitätsangebots und der optimalen Strategie werden graphisch dargestellt.

### 6.2 Anwendung der Software

In der ersten Komponente der Software wird das Kommissioniersystem unternehmensspezifisch abgebildet. Die leistungsbeeinflussenden Größen sind auszuprägen (vgl. Kapitel 4.1). Die Daten für das Layout, die Mitarbeiter, das Fördermittel und die Lagermittel sowie die auftragsbezogenen Daten werden in relationalen Datenbanken gespeichert. Die Speicherung in Datenbanken ermöglicht die Daten erneut zu

nutzen und einzelne Daten gezielt zu variieren. Daten werden entweder über eine graphische Oberfläche eingegeben oder über CSV-Dateien importiert. In einer CSV-Datei liegen die Daten in einer strukturierten Textform vor. Der Vorteil des CSV-Datenformats ist das einfache Erzeugen, Speichern und Austauschen der Informationen.



**Abbildung 43: Startbildschirm und Eingabemaske für die Parameter der Mitarbeiter**

Abbildung 43 stellt das Startfenster der Software dar. Zu sehen sind die Verknüpfungen zu den Datenbanken für die Kapazität Mensch, Fördermittel, Lagermittel, Sortiment und Bestellung.

Unter „Kommissioniersystem“ im Startfenster werden die unternehmensspezifischen und leistungsbestimmenden Parameter ausgeprägt. Im Fenster „Kommissioniersystem-Einstellungen“ werden die Daten des Menschen, Fördermittel und Lagermittel zu einem Kommissioniersystem verknüpft (vgl. Abbildung 44). Der entsprechende Datensatz für das unternehmensspezifische Kommissioniersystem wird abgespeichert. Innerhalb desselben Fensters wird das Fenster zur Bestimmung des Layouts aufgerufen. Durch diese beiden Fenster in Abbildung 44 ist das Leistungsverhalten des Kommissioniersystems festgelegt.

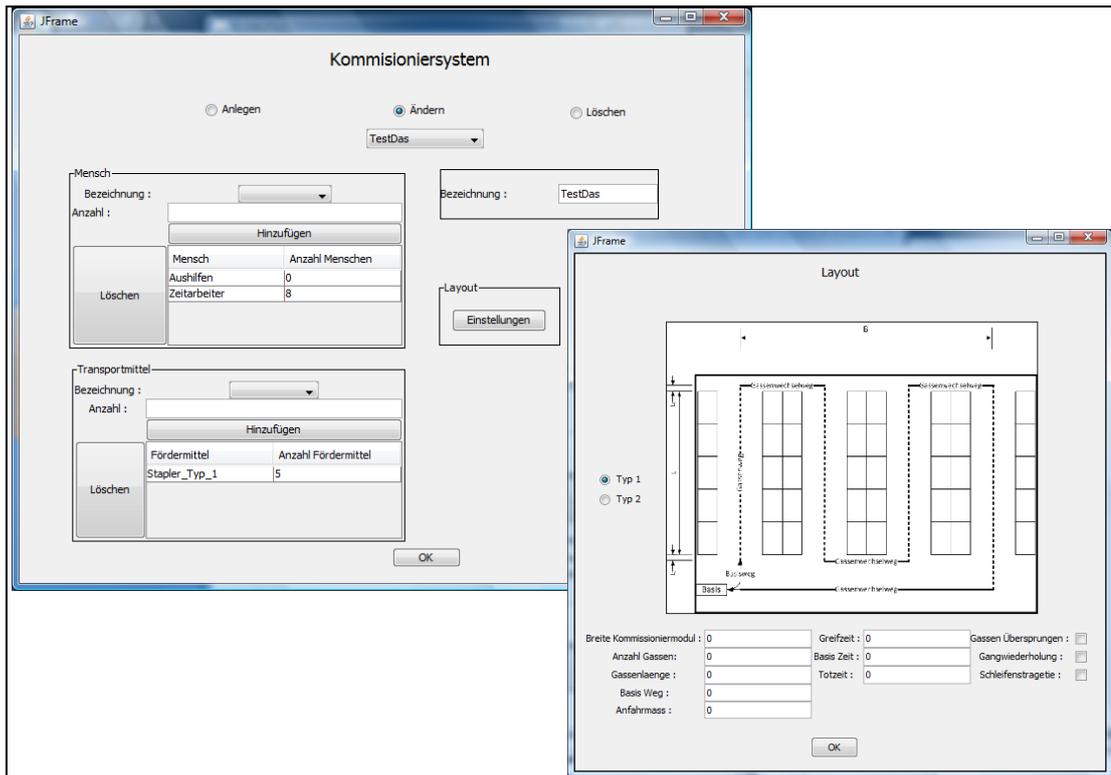


Abbildung 44: Leistungsbestimmende Parameter des Kommissioniersystems

Zur Bestimmung des Kapazitätsbedarfs des angelegten Kommissioniersystems müssen die Auftragsdaten bekannt sein. Die Daten werden über eine CSV-Datei importiert. Im Fenster Bestellungen besteht die Möglichkeit zur Verwaltung der Auftragsdaten (s. Abbildung 45).

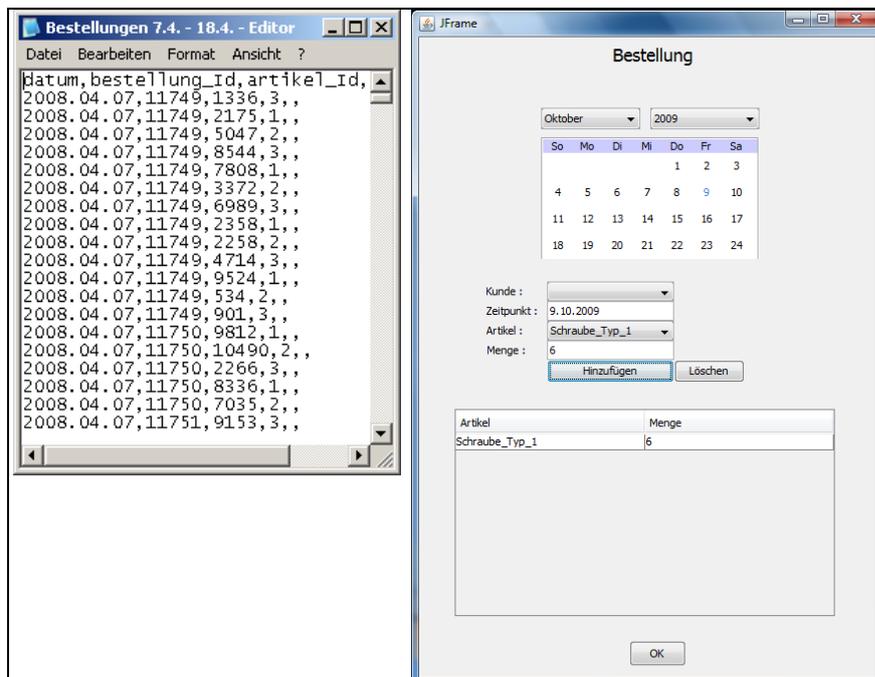
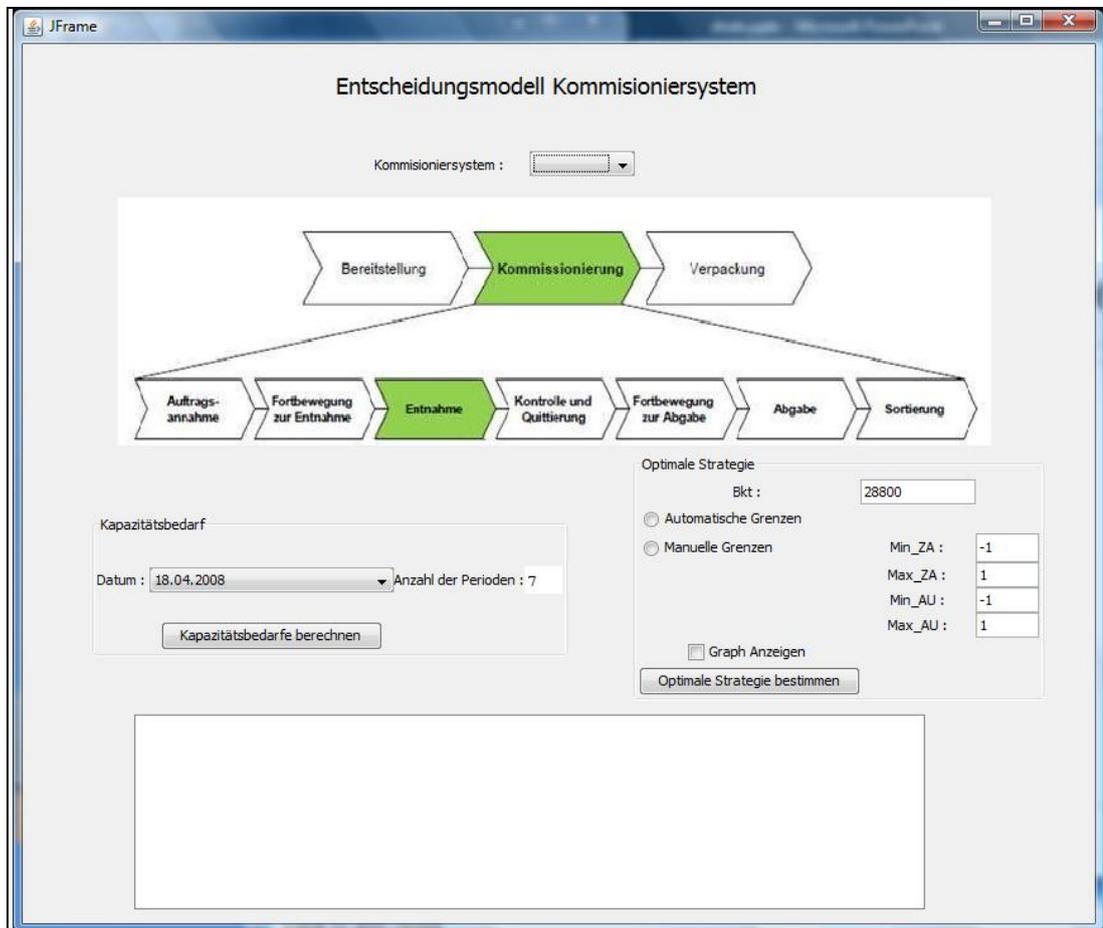


Abbildung 45: Auftragsdaten

Sind alle leistungsbestimmenden Parameter ausgeprägt und die zu kommissionierenden Aufträge bekannt, kann die Bestimmung der jeweiligen Periodenkapazität innerhalb des Planungszeitraums erfolgen. Hierzu werden die Startperiode und die Anzahl Folgeperioden ausgewählt (s. Abbildung 43). Das Berechnungsergebnis wird als Graph dargestellt.



**Abbildung 46: Entscheidungsmodell für Kommissioniersysteme**

Zur Berechnung der optimalen Strategie für den Personaleinsatz wird in der ersten Periode die Anzahl angegebener Mitarbeiter im Kommissioniersystem eingelesen. Die Grenzen für die Entscheidungsmenge sind voreingestellt, können aber manuell geändert werden. Von diesem Startpunkt aus werden alle zulässigen Zustände, die den Kapazitätsbedarf je Periode (unter Berücksichtigung der Grenzen) decken, berechnet und die optimale Strategie bestimmt. Abbildung 47 stellt einen Auszug der zulässigen Zustände für einen Entscheidungsprozess als Graph dar. Der Wert auf den Kanten ist der periodenbezogene Funktionswert, der durch die getroffene Entscheidung bestimmt wird. Die Werte in den Knoten repräsentieren das jeweilige Kapazitätsangebot. Durch Klicken auf den Knoten werden die Personalstärke und die knotenspezifische Entscheidungsmenge sichtbar.

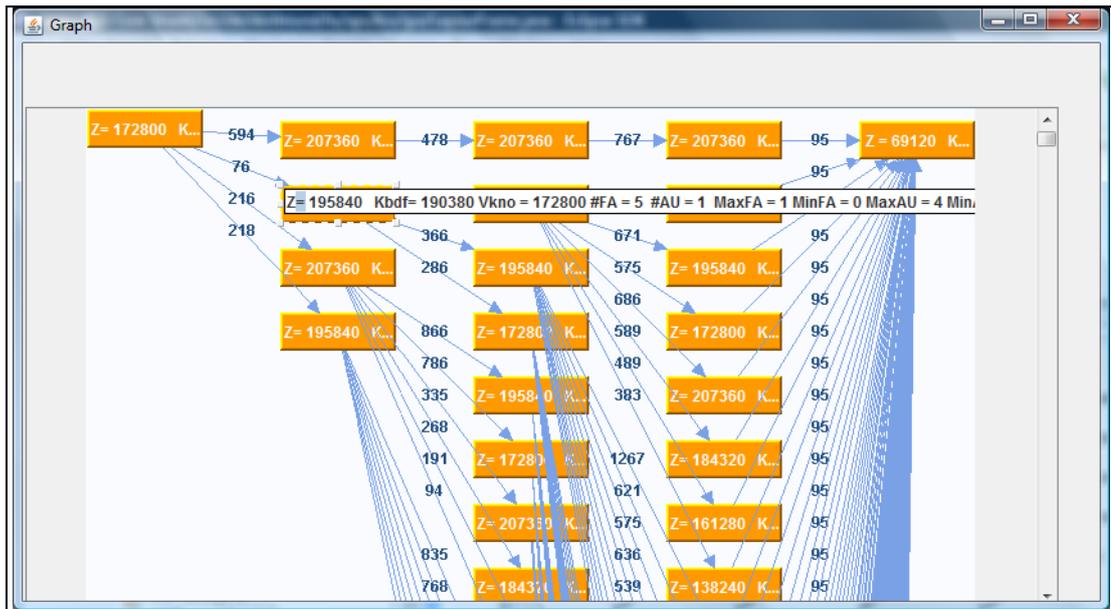


Abbildung 47: Zulässige Zustände und Entscheidungen als Graph

Die berechnete optimale Strategie wird ebenfalls visualisiert (s. Abbildung 48). Für jede Periode wird die Anzahl benötigter Mitarbeiter und der Kostenverlauf dargestellt.

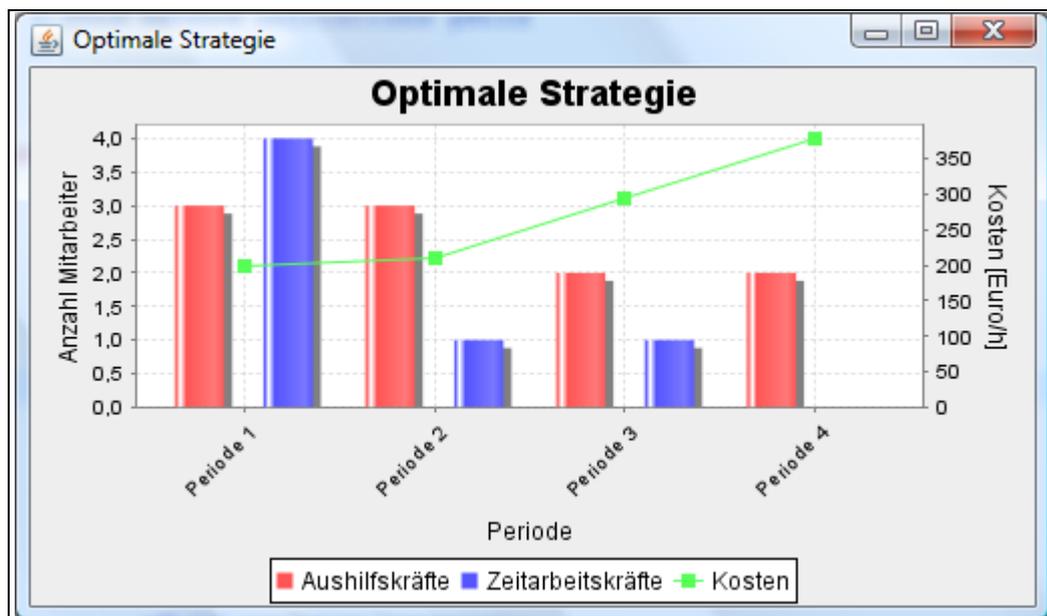


Abbildung 48: Visualisierung der optimalen Strategie

In der Darstellung der optimalen Strategie kann für jede Periode das einzusetzende Personal (Kapazitätsangebot) abgelesen werden. Der verursachte Kostenverlauf durch Überkapazitäten und Anpassungskosten ist kumuliert über den Planungszeitraum (hier 5 Perioden) abgebildet. Dieser Kostenverlauf ist bei den zu Grunde liegenden Kapazitätsbedarfen und unter Berücksichtigung der Start- und Grenzwerte minimal.

### 6.3 Praxisbeispiel

Die entwickelte Software wird anhand eines Praxisbeispiels validiert. Das zu optimierende Kommissioniersystem im Praxisbeispiel ist Teil eines Versandlagers. Der Aufbau entspricht den betrachteten Kommissioniersystemen im Forschungsvorhaben. Im Folgenden wird zuerst der Aufbau des Kommissioniersystems beschrieben. Die Absatzschwankungen werden in Szenarien abgebildet und anschließend wird auf der dargestellten Datenlage die Software getestet und die Ergebnisse bewertet.

#### 6.3.1 Aufbau des Kommissioniersystems und durchzuführende Untersuchung

Aus dem betrachteten Kommissioniersystem werden durchschnittlich 2000 Sendungen pro Tag verschickt. Die durchschnittliche Anzahl an Positionen pro Auftrag beträgt 3.

In den letzten 3 Jahren lag das Wachstum der Aufträge bei gleichbleibender Struktur bei bis zu 20 % pro Jahr. Seit 16 Monaten ist das Wachstum rückläufig und liegt derzeit bei -15 % im Vergleich zum Vorjahr. Der Trend aus den letzten Jahren und der konjunkturell bedingte Rückgang der Nachfrage in jüngster Vergangenheit werden von einer stark schwankenden Nachfrage innerhalb einer Kalenderwoche (5 Arbeitstage) überlagert (s. Abbildung 49).

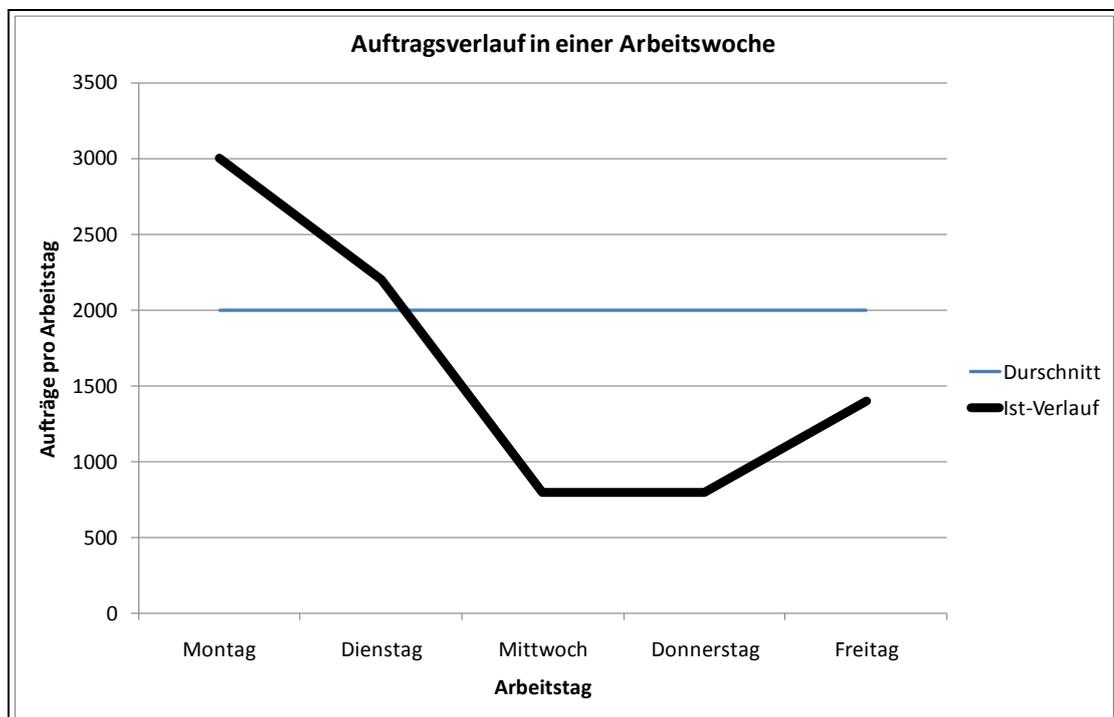
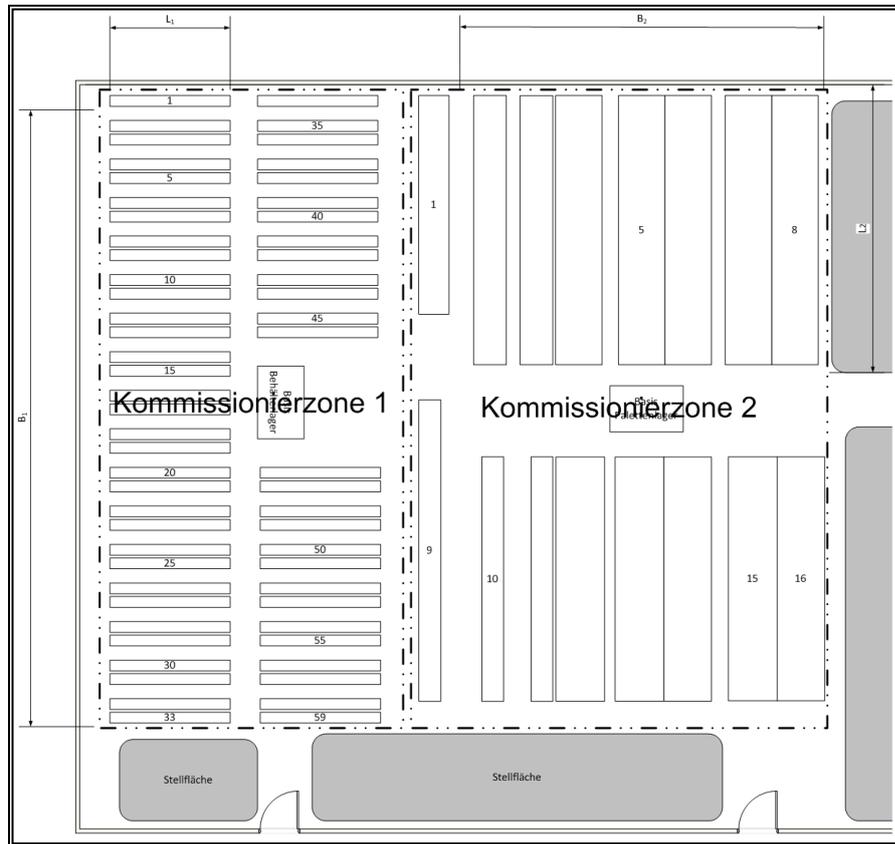


Abbildung 49: Typischer Auftragsverlauf über eine Woche im Beispielunternehmen

Das Kommissioniersystem besteht aus 2 Kommissionierzonen (s. Abbildung 50). Kundenaufträge werden den entsprechenden Kommissionierzonen zugeordnet und anschließend in jeder Zone auftragsweise und nacheinander kommissioniert. In

Kommissionierzone 1 werden die Artikel auf Fachböden bereitgestellt. Bei den Artikeln handelt es sich um kleinere Bauteile mit geringem Gewicht. Insgesamt sind 59 Regalzeilen mit 30 Gängen installiert. Die Ganglänge beträgt 7 m, die Regaltiefe ist 0,5 m und die Gangbreite 0,6 m. In der Kommissionierzone 2 wird Ware ausschließlich auf Paletten bereitgestellt. 16 Palettenregale mit einer Tiefe von 2,2 m sind über 10 Gänge miteinander verbunden.



**Abbildung 50: Layout im Beispielunternehmen**

In dem gesamten Kommissioniersystem sind derzeit 6 Mitarbeiter mit der Kommissionierung beschäftigt. Bei den Mitarbeitern handelt es sich um 3 festangestellte Mitarbeiter und um 3 regelmäßig eingesetzte Aushilfskräfte. Zusätzlich werden zu Spitzenlastzeiten oder bei hohem Krankenstand Zeitarbeitskräfte eingesetzt.

Unter Annahme prognostizierter Auslastungsschwankungen ist zu überprüfen, ob die derzeitige Personalstärke an Aushilfskräften ausreichend und wirtschaftlich ist, um die erwarteten Kapazitätsspitzen zu decken. Diese werden in Szenarien abgebildet. Folgende Untersuchungsbedingungen sind zu berücksichtigen:

- Betrachtet werden 5 Arbeitstage.
- Ausgangspunkt sind die angenommenen Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen (s. Abbildung 49).
- Die Personalstärke der festangestellten Mitarbeiter soll nicht verändert werden.

- Sowohl Aushilfen als auch Zeitarbeitskräfte können eingesetzt werden.
- Alle Mitarbeiter können in beiden Kommissionierzonen arbeiten.
- In der letzten Periode (freitags) stehen mindestens 4 Aushilfskräfte zur Verfügung (spezielle Randbedingung des Unternehmens).

Die wichtigsten Randbedingungen für die Entscheidung über den Personaleinsatz von Aushilfskräften und Zeitarbeitskräften sind in Tabelle 13 aufgelistet.

**Tabelle 13: Wichtige Randbedingungen im untersuchten Kommissioniersystem**

Parameter	Aushilfskraft	Zeitarbeiter
Kosten pro Arbeitsstunde	7 €	15 €
Zeitgrad	1,0	0,8
Anpassungskosten (Personalstärke erhöhen)	0	100 €
Anpassungskosten (Personalstärke reduzieren)	0 €	0 €
Anzahl Mitarbeiter zu Planungsbeginn	3	0

Der Einsatz von Zeitarbeitskräften ist für das Unternehmen je Stunde deutlich teurer als der Einsatz von Aushilfskräften. Jedoch liegen das Ausfallrisiko und der Beschaffungsaufwand beim Personaldienstleister. Die Erfahrung im Unternehmen zeigt, dass der erreichbare Zeitgrad der Zeitarbeiter unter dem der Aushilfskräfte liegt. Dies ist in der Bemühung des Unternehmens begründet, immer wieder dieselben Aushilfen zu einzusetzen.

Die zu untersuchenden Fälle sind (siehe auch Tabelle 14):

- Die Personalstärke der Aushilfskräfte kann maximal 3 betragen. Die Personalstärke der Zeitarbeitskräfte ist nicht begrenzt.  
(Experiment 1, 3, 5, 7)
- Die Personalstärke der Aushilfskräfte kann maximal 5 betragen. Die Personalstärke der Zeitarbeitskräfte ist nicht begrenzt  
(Experiment 2, 4, 6, 8)

Für die Untersuchungen werden folgende Experimente definiert:

**Tabelle 14: Experimente zur Anwendung der Software**

Experiment	Szenario	Maximale Anzahl Aushilfen	
(1)	1	3	
(2)	1		5
(3)	2	3	
(4)	2		5
(5)	3	3	
(6)	3		5
(7)	4	3	
(8)	4		5

### 6.3.2 Berechnung des Kapazitätsbedarfs

Bei dem dargestellten Kommissioniersystem mit 2 Kommissionierzonen handelt es sich bei näherer Betrachtung um 2 parallel arbeitende Kommissioniersysteme, die von dem gleichen Pool an Mitarbeitern bedient werden. Greifzeit, Totzeit und Basiszeit werden geschätzt und entsprechend in der Software eingegeben.

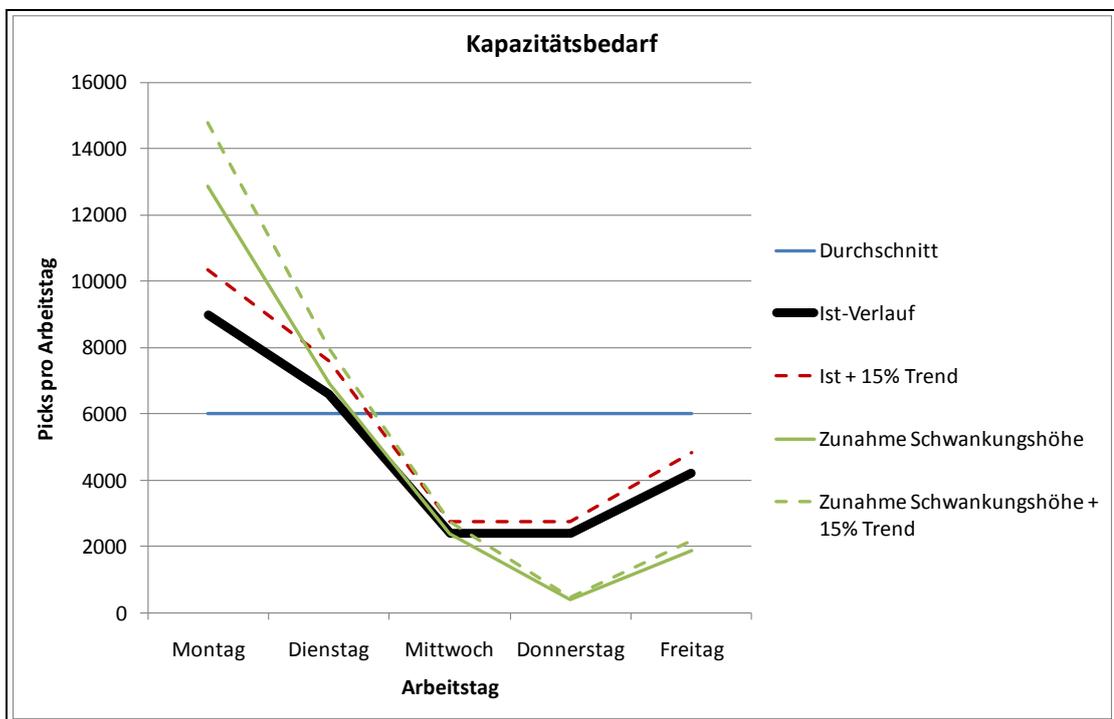
Für jede Kommissionierzone werden die Auftragsdaten in das System geladen und auf Grund der leistungsbestimmenden Parameter der Kapazitätsbedarf berechnet. Anschließend werden die Kapazitätsbedarfe beider Zonen addiert. Bevor das optimale Personalkapazitätsangebot bestimmt werden kann, wird der Kapazitätsbedarf entsprechend dem Untersuchungsziel modifiziert. Die Anzahl festangestellter Mitarbeiter soll nicht variiert werden. Damit sind die Kosten für diese Mitarbeiter nicht mehr entscheidungsrelevant. Um den Rechenaufwand reduzieren zu können, wird das Kapazitätsangebot der festangestellten Mitarbeiter vor Untersuchungsbeginn vom Kapazitätsbedarf subtrahiert. Untersucht wird nur, wie der verbleibende Kapazitätsbedarf durch Aushilfskräfte und Zeitarbeitskräfte kostenoptimal gedeckt werden kann. Nach Eingabe der Randbedingungen kann die optimale Strategie für das Kommissioniersystem bestimmt werden.

Zur Untersuchung der Kostenstruktur bei schwankender Nachfrage wird auf Basis der Ist-Nachfrage der Kapazitätsbedarf im Kommissioniersystem verändert (s. Tabelle 15). Im 1. Szenario wird der Ist-Verlauf als Referenzwert getestet. Im 2. Szenario wird der Ist-Verlauf von einem Trend von 15 % überlagert. Szenario 3 stellt nur die Zunahme der Höhe der Schwankung dar. Die Abweichungen vom Durchschnittswert werden um 30 % verstärkt. In Szenario 4 wird die erhöhte Schwankung zudem vom 15 % Trend überlagert.

**Tabelle 15: Untersuchte Kapazitätsbedarfsverläufe**

Szenario	Marktveränderung	Nachfrageschwankung
1	0	keine Veränderung
2	+15 %	keine Veränderung
3	0	± 30 %
4	+15 %	± 30 %

Der berechnete Kapazitätsbedarf der Szenarien ist in Abbildung 51 dargestellt. Die Trendkomponente bewirkt eine relative Zunahme der Pickleistung je Arbeitstag. Die Zunahme der Schwankungshöhe verstärkt die Werte, die weit vom Durchschnitt entfernt liegen. Hingegen bleibt der Mittelwert bei der Veränderung der Schwankungshöhe unverändert.



**Abbildung 51: Szenarien im Praxisbeispiel**

### 6.3.3 Kapazitätsangebot und optimale Strategie

Die Software berechnet mit der Dynamischen Optimierung die minimalen Kosten für jedes Experiment. Die Ergebnisse sind in Abbildung 52 veranschaulicht.

Szenario	Maximale Anzahl Aushilfen 3	Maximale Anzahl Aushilfen 5																																																
1	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3</td><td>5</td><td>200</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>300</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>350</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>400</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	3	5	200	2	2	4	250	3	1	3	300	4	2	2	350	5	4	1	400	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>3</td><td>150</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>200</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>300</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>350</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	5	3	150	2	2	3	200	3	1	2	250	4	2	2	300	5	4	1	350
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	3	5	200																																															
2	2	4	250																																															
3	1	3	300																																															
4	2	2	350																																															
5	4	1	400																																															
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	5	3	150																																															
2	2	3	200																																															
3	1	2	250																																															
4	2	2	300																																															
5	4	1	350																																															
	(Experiment 1) Minimale Kosten 400 €	(2) Minimale Kosten 320 €																																																
2	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>200</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>300</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>350</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>400</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	3	7	200	2	2	4	250	3	1	3	300	4	1	2	350	5	4	1	400	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>4</td><td>150</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>200</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>4</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>300</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>350</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	5	4	150	2	2	4	200	3	1	4	250	4	1	2	300	5	4	1	350
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	3	7	200																																															
2	2	4	250																																															
3	1	3	300																																															
4	1	2	350																																															
5	4	1	400																																															
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	5	4	150																																															
2	2	4	200																																															
3	1	4	250																																															
4	1	2	300																																															
5	4	1	350																																															
	(3) Minimale Kosten 480 €	(4) Minimale Kosten 250 €																																																
3	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3</td><td>10</td><td>200</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>300</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>350</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>400</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	3	10	200	2	3	2	250	3	2	1	300	4	1	1	350	5	3	1	400	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>7</td><td>150</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>200</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>300</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>350</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	5	7	150	2	3	2	200	3	1	2	250	4	1	1	300	5	3	1	350
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	3	10	200																																															
2	3	2	250																																															
3	2	1	300																																															
4	1	1	350																																															
5	3	1	400																																															
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	5	7	150																																															
2	3	2	200																																															
3	1	2	250																																															
4	1	1	300																																															
5	3	1	350																																															
	(5) Minimale Kosten 680 €	(6) Minimale Kosten 420 €																																																
4	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3</td><td>12</td><td>200</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>5</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>300</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>350</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>400</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	3	12	200	2	2	5	250	3	1	3	300	4	1	2	350	5	3	1	400	<p><b>Optimale Strategie</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Periode</th> <th>Aushilfskräfte</th> <th>Zeitarbeitskräfte</th> <th>Kosten (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>10</td><td>150</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>5</td><td>200</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>4</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>300</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>350</td></tr> </tbody> </table>	Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)	1	5	10	150	2	2	5	200	3	1	4	250	4	1	2	300	5	3	1	350
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	3	12	200																																															
2	2	5	250																																															
3	1	3	300																																															
4	1	2	350																																															
5	3	1	400																																															
Periode	Aushilfskräfte	Zeitarbeitskräfte	Kosten (€)																																															
1	5	10	150																																															
2	2	5	200																																															
3	1	4	250																																															
4	1	2	300																																															
5	3	1	350																																															
	(7) Minimale Kosten 710 €	(8) Minimale Kosten 630 €																																																

Abbildung 52: Optimale Strategien der Experimente

In den dargestellten Ergebnissen wird deutlich, wie sich in Abhängigkeit der Szenarien die (kosten-) optimale Strategie verändert. Tabelle 16 stellt die Kosten der optimalen Strategien für jedes Szenario gegenüber.

**Tabelle 16: Auswertung der Experimente**

Szenario	Maximale Anzahl Aushilfen 3	Maximale Anzahl Aushilfen 5	Differenz linker – rechter Zeilenwert
1	(Experiment 1) Minimale Kosten 400 €	(2) Minimale Kosten 320 €	80 €
2	(3) Minimale Kosten 480 €	(4) Minimale Kosten 250 €	230 €
3	(5) Minimale Kosten 680 €	(6) Minimale Kosten 420 €	260 €
4	(7) Minimale Kosten 710 €	(8) Minimale Kosten 630 €	80 €
Spaltensumme	2270 €	1620 €	650 €

Die Kosten der optimalen Strategien setzen sich zusammen aus den Anpassungskosten und den Kosten für Überkapazitäten. Werden in dem untersuchten Kommissioniersystem maximal 3 Aushilfen beschäftigt, überwiegen die durch die Zeitarbeitskräfte verursachten Kosten. Ursache hierfür ist, dass das Kapazitätsangebot von 3 Aushilfskräften unter dem durchschnittlichen Kapazitätsbedarf des Planungszeitraums liegt und die Kosten je Stunde von Zeitarbeitskräften in etwa doppelt so hoch sind wie für Aushilfskräfte. Wenn jedoch bis zu 5 Aushilfskräfte eingesetzt werden können, reduziert sich der Bedarf an Zeitarbeitskräften entsprechend. Die resultierenden Gesamtkosten sind in allen Szenarien geringer.

Im Ergebnis ist es für das untersuchte System von Vorteil, die Anzahl an Aushilfskräfte auf 5 und damit auf den überdurchschnittlichen Kapazitätsbedarf des Planungszeitraums zu erhöhen. Sowohl bei einer Zunahme des mittleren Kapazitätsbedarfs um 15 % und der Zunahme der Schwankungshöhe um  $\pm 30$  % können die Kosten abhängig von dem jeweiligen Szenario zwischen 80 € und 280 € variieren. Werden die ermittelten Einsparungen den absoluten Personalkosten gegenübergestellt, ergibt sich ein Rationalisierungspotenzial von 3 % bis 12 %, welches die Software

auf Grundlage der Dynamischen Optimierung und der Identifizierung der optimalen Strategie bestimmen konnte (s. Tabelle 17).

**Tabelle 17: Differenz zwischen den beiden optimalen Strategien**

Szenario	Maximale Anzahl Aushilfen 3	Maximale Anzahl Aushilfen 5	
		Differenz absolut	Rationalisierungspotenzial in %
1	(Experiment 1) Absolute Personalkosten 1872 €	80 €	4 %
2	(3) Absolute Personalkosten 2536 €	230 €	9 %
3	(5) Absolute Personalkosten 2232 €	280 €	12 %
4	(7) Absolute Personalkosten 3144 €	80 €	3 %

## 7 Zusammenfassung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Instrumentariums zur Auswahl eines kostenoptimalen Kommissioniersystems. Ein wesentlicher Aspekt ist die Berücksichtigung von saisonalen und lebenszyklusbedingten Auslastungsschwankungen.

Das Forschungsvorhaben unterscheidet bei den Ursachen für Auslastungsschwankungen die Fristigkeit der Absatzveränderung und die Höhe der Absatzveränderung. Besondere Herausforderungen stellen kurzfristige und hohe Veränderungen an den wirtschaftlichen Betrieb von Kommissioniersystemen.

Auf Grund der gefundenen Kostenstruktur in Kommissioniersystemen sind die meisten Kostenverläufe unabhängig von der Kommissionierleistung. Dies gilt vor allem in der Betrachtung von kurzfristigen Absatzveränderungen. Es wird systematisch untersucht, wie die Kosten in Kommissioniersystemen verursacht werden und die verursachten Kosten unter Berücksichtigung der (insbesondere kurzfristigen) Absatzveränderung beeinflusst werden können. Methodischer Ansatzpunkt in der Suche nach kostenbeeinflussenden Größen sind die Kapazitäten zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft.

Die Kapazitäten im Kommissioniersystem (Mensch, Transportmittel, Lagermittel) werden hinsichtlich ihres Kostenverhaltens und ihres Flexibilitätspotenzials bewertet. Die Untersuchung identifiziert das größte Flexibilitätspotenzial für kurzfristige Anpassungsmaßnahmen in der Personalkapazität. Die Flexibilitätspotenziale der Kapazitäten Transportmittel und Lagermittel werden als vergleichsweise gering eingeschätzt. Der Grund sind die hohen Anschaffungskosten und die lange wirtschaftliche Nutzungsdauer, die einer kurzfristigen und wirtschaftlichen Anpassung entgegen stehen. Die kostenwirksamen Einflussmöglichkeiten auf die Personalkapazität werden als konkrete Anpassungsmaßnahmen formuliert, die es ermöglichen, auf unterschiedliche Absatzveränderungen zu reagieren. Darüber hinaus wird der leistungsbezogene und monetäre Nutzen der Anpassungsmaßnahmen bestimmt.

Ein Entscheidungsmodell ist der methodische Kern zur Auswahl der Anpassungsmaßnahmen in Kommissioniersystemen bei Absatzveränderungen. Das Modell ist in der Lage, nicht nur für einen definierten Kapazitätsbedarf den optimalen Personaleinsatz zu bestimmen, sondern kann unter Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen eine optimale Folge von Anpassungsmaßnahmen über mehrere Perioden hinweg zu ermitteln.

Die Berechnung und die Ergebnisdarstellung (in Form von Kostenkennlinien) erfolgt in einer programmierten Software. Unterschiedliche Gestaltungsalternativen von Kommissioniersystemen und die unternehmensspezifischen Kosten- und Leistungsgrößen können durch das Ausprägen von Parametern im Entscheidungsmodell abgebildet werden.

Im Gegensatz zu bestehenden Planungsmethoden zum Personaleinsatz in konventionellen Kommissioniersystemen in KMU entsteht so ein Instrumentarium, welches für Kommissioniersysteme bei Nachfrageschwankungen und Marktveränderungen unternehmensspezifisch eine optimale Folge von Anpassungsmaßnahmen bestimmen und monetär bewerten kann. Somit wird der Betrieb des Kommissioniersystems bei Absatzveränderungen wirtschaftlicher.

## Literaturverzeichnis

- A.S. (2009): Immer flexibel bleiben. In: Logistik für Unternehmen, H. 1/2, S. 34–37.
- Appelhans (2007): Training, Motivation, Kontrolle. „Vom richtigen Umgang mit Basismitarbeitern im Versand.“. In: Deutsche Logistik Akademie gGmbH (Hg.): 13. Pick-Pack-Forum Kommissionierung. Frankfurt am Main.
- Arnold; Furmans (2005): Materialfluss in Logistiksystemen. Berlin: Springer.
- Baker (2008): The design and operation of distribution centres within agile supply chains. In: International Journal of Production Economics, Jg. 111, H. 1, S. 27–41.
- Bamberg; Coenenberg (2002): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. München: Verlag Franz Vahlen.
- Barth; Hartmann; Schröder (2007): Betriebswirtschaftslehre des Handels. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler.
- Bauer (2008): Die Fabrik von heute für das Auto von morgen. In: Baumgarten, Helmut (Hg.): Das Beste der Logistik. Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Berlin: Springer, S. 259–266.
- Bellman (1954): The Theory of Dynamic Programming. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Jg. 38, H. 8, S. 503–515.
- Bertsekas (2000): Dynamic Programming and Optimal Control. Volume One. Belmont: Athena Scientific.
- Borries (1975): Kennziffern zur Auswahl von Kommissioniersystemen für Stückgutlager des Handels und der Industrie. Zugelassene Dissertation. Technische Universität Berlin.
- Borries; Fürwentsches (1975): Kommissioniersysteme im Leistungsvergleich. München: Verlag Moderne Industrie.
- Browne; Dubois; Rathmill; Sethi; Stecke (1984): Classification of flexible manufacturing systems. In: The FMS Magazine, Jg. 2, H. 2, S. 114–117.
- Chatfield (1982): Analyse von Zeitreihen. München: Carl Hanser Verlag.
- Christopher; Towill (2002): Developing Market Specific Supply Chain Strategies. In: International Journal of Logistics Management, Jg. 13, H. 1, S. 1–14.
- Corporate Express (2008): Pick und Pack mit PickCart und by Voice. In: Deutsche Logistik Akademie gGmbH (Hg.): 14. Pick-Pack-Forum Kommissionierung. Offenbach am Main.
- Deuse; Pfohl; Wischniewski; Köhler (2007a): Optimierung des Personaleinsatzes. In: Wolf-Kluthausen, Hanne; Gremm, Franz (Hg.): Jahrbuch Logistik 2007. Korschbroich: free beratung, S. 286–289.
- Deuse; Stausberg; Wischniewski (2007b): Leitsätze zur Gestaltung einer verschwendungsarmen Produktion. Adaption von Ganzheitlichen Produktionssys-

- temen für den Mittelstand. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 102, H. 5, S. 291–294.
- Deutsche Logistik Akademie gGmbH (Hg.) (2008): 14. Pick-Pack-Forum Kommissionierung. Offenbach am Main.
- DIN EN 15635, Mai 2007: Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl – Verstellbare Palettenregale – Leitlinien zum sicheren Arbeiten. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Domschke; Drexl (2004): Einführung in Operations Research. Berlin: Springer.
- Droste; Keßler; Uygun (2008): Ganzheitliche Produktionssysteme für Logistikdienstleister. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 103, H. 9, S. 594–597.
- Drumm (2004): Personalwirtschaft. Berlin: Springer.
- Dyckhoff (2006): Produktionstheorie. Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft. Berlin: Springer.
- Faißt (1992): Instrumente des Arbeitszeitmanagements. In: Schneeweiß, Christoph (Hg.): Kapazitätsorientiertes Arbeitszeitmanagement. Heidelberg: Physica-Verlag, S. 40–59.
- Frazelle (2001): World-class warehousing and material handling. New York: McGraw-Hill.
- Fricke, Jens (Hg.) (2006): Value-at-Risk Ansätze zur Abschätzung von Marktrisiken. Theoretische Grundlagen und empirische Analysen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Funke (1995): Fixkosten und Beschäftigungsrisiko. Eine theoretische und empirische Analyse. München: Verlag Franz Vahlen.
- Fürwentsches (1974): Verfahren zur Planung und Bewertung von Kommissioniersystemen in Stückgut-Warenverteilanlagen des Handels und der Industrie. Zugelassene Dissertation. Technische Universität Berlin.
- Giere (2008): Marketingflexibilität. Eine empirische Analyse ihrer Konzeptionalisierung, Operationalisierung und Erfolgswirkung. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Goldscheid (2008): Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung in manuellen Kommissioniersystemen. Aachen: Shaker Verlag.
- Grünz; Lolling (1999): Kostenoptimierung von Kommissioniersystemen mit Hilfe Genetischer Algorithmen. AiF-Vorhaben Nr. 11269. Herausgegeben von Klaus Heinz.
- Grünz; Nave: Untersuchung und Bewertung von Fehlern in der Materialbereitstellung hinsichtlich Zeit, Kosten und Fehlerrisiko. AiF-Vorhaben Nr. 11269. Herausgegeben von Klaus Heinz und Michael ten Hompel.
- Gudehus (1973): Grundlagen der Kommissioniertechnik. Dynamik der Warenverteil- und Lagersysteme. Essen: Girardet.
- Gudehus (1978): Die mittlere Zeilenzahl von Sammelaufträgen. In: Zeitschrift für Operations Research, H. 22, S. B71-B78.

- Gudehus (1993a): Der Weg zum optimalen Kommissioniersystem. Analytische Verfahren zur Dimensionierung und Optimierung von Kommissioniersystemen. Teil 1. In: Technica, H. 9, S. 49–54.
- Gudehus (1993b): Der Weg zum optimalen Kommissioniersystem. Analytische Verfahren zur Dimensionierung und Optimierung von Kommissioniersystemen. Teil 2. In: Technica, H. 23, S. 19–28.
- Gudehus (2005): Logistik. Grundlagen - Strategien - Anwendungen. Berlin: Springer.
- Günther (1989): Produktionsplanung bei flexibler Personalkapazität. Stuttgart: Poeschel.
- Gutenberg; Albach (1990): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Hanssmann (1987): Einführung in die Systemforschung. Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung. München: Oldenbourg.
- Hanssmann (1990): Quantitative Betriebswirtschaftslehre. Lehrbuch der modellgestützten Unternehmensplanung. München: Oldenbourg.
- Heinz; ten Hompel (2004): Untersuchung und Bewertung von Fehlern in der Materialbereitstellung hinsichtlich Zeiten, Kosten und Fehlerrisiko. Herausgegeben von Klaus Heinz und Michael ten Hompel.
- Heinz; Wichmann (1992): Praxisorientierte Gestaltung manueller Kommissioniersysteme. AiF-Vorhaben Nr. 8301. Herausgegeben vom Lehrstuhl für Fertigungsvorbereitung an der Universität Dortmund. Dortmund.
- Hocke (2004): Flexibilitätsmanagement in der Logistik. Systemtheoretische Fundierung und Simulation logistischer Gestaltungsparameter. Frankfurt am Main: Lang.
- Hoitsch, Hans J. (Hg.) (1993): Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. München: Verlag Franz Vahlen.
- Horstmann (2005): Operationalisierung der Unternehmensflexibilität. Ganzheitliche Konzeption zur umwelt- und unternehmensbezogenen Flexibilitätsanalyse. Zugelassene Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen. Gießen
- Hoyndorff (2008): Heutige Ausprägungsformen und zukünftige Entwicklungen des Fashion Marktes: Praxis-Forum „Fashion Logistik“. Stuttgart.
- Irrgang (2004): Beleglos-Kommissionierung. Fitnesskur für Filmversand. In: Hebezeuge und Fördermittel, H. 12, S. 684–686.
- Jacob (1974): Unsicherheit und Flexibilität. Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 44, H. 5-8, S. 299-326.
- Jünemann (1989): Materialfluß und Logistik. Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Berlin: Springer.
- Kaluza (1993): Betriebliche Flexibilität. In: Wittmann; Kernm; Köhler; Küpper; Wysocki (Hg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Band 1. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 1174–1184.

- Koste; Malhotra (1999): A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility. In: *Journal of Operations Management*, Jg. 18, H. 1, S. 75-93.
- Krüger (2004): *Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme*. München: Utz.
- Kühn (1989): *Flexibilität in logistischen Systemen*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Laux (2005): *Entscheidungstheorie*. Berlin: Springer.
- Leinhäuser; Tomasevic; Ileri; Rudzio (2008): Extremlogistik im Landmaschinenbau. In: Baumgarten (Hg.): *Das Beste der Logistik. Innovationen, Strategien, Umsetzungen*. Berlin: Springer, S. 281–291.
- Lipke (29.05.2009): *Wahl-Logistik: Unterstützende Personal-, Flächen- und IT-Konzepte am Beispiel der Kalenderlogistik*. Veranstaltung vom 29.05.2009. Dortmund. Veranstalter: Lehrstuhl APS und LFO der Technischen Universität Dortmund.
- Lüning (2005): *Beitrag zur optimierten Gestaltung des Durchsatzes in Kommissioniersystemen für Stückgüter*. Göttingen: Cuvillier.
- Martin (2006): *Transport- und Lagerlogistik. Planung Struktur Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*. Wiesbaden: Vieweg.
- Mason-Jones; Naylor; Towill (2000): Engineering the leagile supply chain. In: *International Journal of Agile Management Systems*, Jg. 2, H. 1, S. 54–61.
- Meffert (1969): Zum Problem der betriebswirtschaftlichen Flexibilität. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 39, H. 12, S. 779–800.
- Menk (1998): *Beitrag zur Planung qualitätsfähiger Kommissioniersysteme. Ein humanorientierter Ansatz*. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
- Mosler; Schmid (2004): *Beschreibende Statistik und Wirtschaftsstatistik*. Berlin: Springer.
- Pfohl (2004): *Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Berlin: Springer.
- Pfohl (Hg.) (2006a): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Pfohl (2006b): *Logistik*. In: Pfohl (Hg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 261–296.
- Pfohl (2006c): *Unternehmensführung*. In: Pfohl (Hg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 79–111.
- Pibernik (2001): *Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Pieper (1982): *Auswahl und Bewertung von Kommissioniersystemen. Entwicklung von Entscheidungshilfen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

- Potyka (1994): Systematik zur Selektion von Kommissioniersystemen in der Planung. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
- REFA Bundesverband e.V. (2002): Ausgewählte Methoden zur prozessorientierten Arbeitsorganisation. REFA-Modulkonzept für Kooperationen in der Aus- und Weiterbildung. REFA-Sonderdruck Methodenteil.
- Roscher (2008): Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie. Zugelassene Dissertation: Universität Stuttgart.
- Sadowsky (2007): Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
- Schmalenbach (1928): Die Betriebswirtschaftslehre an der Schwelle der neuen Wirtschaftsverfassung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 22, S. 241–251.
- Schmalenbach; Bauer (Hg.) (1963): Kostenrechnung und Preispolitik. Köln, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schmidt (1926): Die Anpassung der Betriebe an die Wirtschaftslage. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 3, S. 85-106.
- Schneeweiß (1974): Dynamisches Programmieren. Würzburg: Physica-Verlag.
- Schneeweiß (Hg.) (1992): Kapazitätsorientiertes Arbeitszeitmanagement. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Schneeweiß; Kühn (1990): Zur Definition und gegenseitigen Abgrenzung der Begriffe Flexibilität, Elastizität und Robustheit. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 42, H. 5, S. 378–395.
- Schubert (2007): Datenbanken. Theorie, Entwurf und Programmierung relationaler Datenbanken. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Schulte (2005): Logistik. Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses. München: Verlag Franz Vahlen.
- Schulte (1996): Berechnungsgrundlagen konventioneller Kommissioniersysteme. Zugelassene Dissertation. Universität Dortmund.
- Schulte (2003): Gestaltung von Kommissioniersystemen 2. Auftragsstrukturen und Kosten der Aufbauorganisation. In: Hebezeuge und Fördermittel, Jg. 43, H. 7-8, S. 326–329.
- Schulte Lagertechnik GmbH & Co. KG (Hg.) (2009): Hauptkatalog 2009/10. Lagertechnik mit System.
- Schwarting (1985): Optimierung der ablauforganisatorischen Gestaltung von Kommissioniersystemen. München: Huss-Verlag.
- Sethi; Sethi (1990): Flexibility in manufacturing: A survey. In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Jg. 2, H. 4, S. 289-328.
- Slack (2005): The flexibility of manufacturing systems. In: International Journal of Operations & Production Management, Jg. 25, H. 12, S. 1190.
- Stockert (2008): Herausforderungen in der Bekleidungslogistik. Bericht eines Einzelhändlers: Praxis-Forum „Fashion Logistik“. Stuttgart .

- Straube; Pfohl (2008): Studie Trends und Strategien in der Logistik 2008: Die Kernaussagen. Herausgegeben von Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.
- ten Hompel (2008): Warehouse Management. Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. Berlin: Springer.
- ten Hompel; Schmidt; Nagel (2007): Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik. Berlin: Springer.
- Upton (1994): The Management of Manufacturing Flexibility. In: California Management Review, Jg. 36, S. 72-89.
- Richtlinie, VDI 3590, 2002: VDI-Richtlinie 3590: Kommissioniersysteme Blatt 2. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Richtlinie, VDI 3590, 2004: VDI-Richtlinie 3590: Kommissioniersysteme Blatt 1. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Richtlinie (Entwurf), VDI 2695, 2006: VDI 2695: Ermittlung der Betriebskosten für Gabelstapler. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Warmbold (2009): Kontinuierlicher Optimierungsprozess im Materialfluss. In: Logistik für Unternehmen, Jg. 23, H. 1-2, S. 58–60.
- Weber (2002): Logistikkostenrechnung. Kosten-, Leistungs- und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik. Berlin: Springer.
- Wesselmann (2002): Benchmarking für manuelle Kommissioniersysteme. Ergebnisse einer Studie. Lehrstuhl für Fertigungsvorbereitung an der Universität Dortmund.
- Wesselmann (2003): Benchmarking von Kommissioniersystemen. München: Huss-Verlag.
- Wichmann (1997): Planungshilfsmittel für manuelle Kommissioniertätigkeiten. München: Huss-Verlag.
- Wiendahl (2004): Betriebsorganisation für Ingenieure. München: Carl Hanser Verlag.
- Wöhe; Döring (2008): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München: Verlag Franz Vahlen.
- Yusuf; Sarhadi; Gunasekaran (1999): Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes. In: International Journal of Production Economics, Jg. 62, H. 1-2, S. 33-43.