

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18689 N

## Thema

Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen

## Berichtszeitraum

01.04.2015 - 31.03.2017

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

## Forschungsstelle(n)

Universität Stuttgart,

Institut für Fördertechnik und Logistik

Holzgartenstraße 15 B, 70174 Stuttgart

Stuttgart, 14.07.2017

---

Ort, Datum

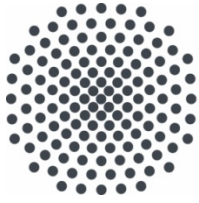
Dipl.-Ing. David Korte



---

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)





**Universität Stuttgart**



Institut für Fördertechnik und Logistik

**Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in manuellen  
Kommissioniersystemen (ReKom)**

**Abschlussbericht**

David Korte  
Manuel Hagg  
Karl-Heinz Wehking

## **Kurzfassung**

Im Rahmen des Forschungsprojektes ReKom wurde eine Methodik entwickelt, mit deren Hilfe auf Basis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung der Umfang von Reorganisationsmaßnahmen in Kommissioniersystemen bestimmt werden kann. Die Kommissioniersysteme sind die Bereiche in den Unternehmen, in denen aufgrund der oft manuellen Tätigkeit hohe Kosten verursacht werden, die aber auch maßgeblich für die Kundenzufriedenheit verantwortlich sind.

Reorganisationsmaßnahmen werden beispielsweise bei einer Veränderung der Nachfrage nach bestimmten Artikeln oder auch allgemeinen Veränderungen im Artikelsortiment notwendig. Bisherige Ansätze beschränken sich häufig auf einen spezifischen Anwendungsfall und sind nicht allgemeingültig. Genutzt werden kann das Verfahren mittels des dafür entwickelten Reorganisationstools oder in Form einer Implementierung in bestehende Lagerverwaltungssysteme. Durch den Einsatz dieses Verfahrens können Optimierungen in der Kommissionierung, wie beispielsweise eine Reduktion der Wegstrecken realisiert werden. Der Nachweis der Anwendbarkeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes durch die Implementierung in ein Simulationsmodell erbracht.

Die im vorliegenden Abschlussbericht beschriebenen Arbeiten wurden zwischen dem 01.04.2015 und dem 31.03.2017 in Kooperation mit dem projektbegleitenden Ausschuss durchgeführt.

# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	ii
Abkürzungsverzeichnis .....	iv
1 Einleitung .....	1
1.1 Problemstellung/Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
2 Kommissionierung.....	2
2.1 Kommissionierkosten.....	10
2.2 Leistung in der Kommissionierung.....	14
3 Reorganisation .....	16
3.1 Healing-Strategien .....	17
3.2 Rewarehousing-Strategien .....	21
4 Vorgehensweise der Projektbearbeitung .....	27
4.1 AP1 Ermittlung und Aufnahme von Kennzahlen.....	27
4.2 AP2 Erstellung einer Methodik zur Durchführung von Umlagermaßnahmen .....	30
4.3 AP3 Erweiterung der Methodik um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	41
4.4 AP4 Validierung der Methodik .....	45
4.5 AP5 Evaluation und Aufbereitung für Partnerunternehmen.....	50
4.6 AP6&7 Verfassen des Abschlussberichts, Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnistransfer	59
4.7 Einsatz von wissenschaftlich-technischem Personal, Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	59
5 Gesamtbeurteilung und Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	59
5.1 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der erzielten Ergebnisse	60
5.2 Auflistung Projektbezogener Veröffentlichungen und Präsentationen.....	62
5.3 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts.....	63
6 Literaturverzeichnis.....	65

7	Anhang.....	70
---	-------------	----

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennzahlen des Interviewleitfadens .....	29
Tabelle 2: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse.....	30
Tabelle 3: Verfahren zur Reorganisation.....	32
Tabelle 4: Reorganisationsverfahren und deren Merkmale .....	35
Tabelle 5: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse.....	41
Tabelle 6: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 3 ..	45
Tabelle 7: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 4 ..	50
Tabelle 6: Generierte Distanzmatrix.....	52
Tabelle 7: Bestimmte umzulagernde Artikel.....	53
Tabelle 8: Auszug I Lagerplatzzuordnung vor der Reorganisation .....	53
Tabelle 9: Auszug II Lagerplatzzuordnung vor der Reorganisation .....	53
Tabelle 10: Auszug I Lagerplatzzuordnung nach der Reorganisation.....	53
Tabelle 11: Auszug II Lagerplatzzuordnung nach der Reorganisation.....	53
Tabelle 14: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 5	59
Tabelle 12: Erzielte Maßnahmen zum Transfer in die Wirtschaft.....	63
Tabelle 13: Geplante Maßnahmen zum Transfer in die Wirtschaft .....	63

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Nachfrage eines Artikels .....	1
Abbildung 2: Anteil der Kommissionierkosten (Pulverich und Schietinger 2009).....	2
Abbildung 3: Aufbau eines Kommissioniersystems.....	3
Abbildung 4: Klassenbasierte Lagerplatzzuordnung .....	9
Abbildung 5: Bestandteile der Kommissionierzeit .....	9
Abbildung 6: Anteil der Aktivitäten an der Kommissionierzeit .....	10
Abbildung 7: Kostenrechnung bei logistischen Tätigkeiten .....	13
Abbildung 8: Vorgehensweise und Arbeitspakete.....	27
Abbildung 9: Indikatoren für den Reorganisationsbedarf .....	29
Abbildung 10: Entnahmehäufigkeit der Artikel aus vier Zonen.....	31
Abbildung 11: Identifizierte umzulagernde Artikel .....	36
Abbildung 12: Optimierte Lagerplatzbelegung .....	37
Abbildung 13: Wegstrecke pro Kommissionierauftrag bei Umlagerungen .....	38
Abbildung 14: Reduktion der Wegstrecke unter Berücksichtigung des Umlagerwegs.....	38
Abbildung 15: Ausschnitt vereinfachtes Layout mit Wegdistanzen .....	39
Abbildung 16: Umlagermatrix .....	40
Abbildung 17: Unterschied manuelle und automatisierte Reorganisationsbestimmung .....	40
Abbildung 18: Zusammensetzung der Reorganisationskosten .....	42
Abbildung 19: Reorganisationskostenrechner.....	44
Abbildung 20: Simulationsmodell des manuellen Kommissioniersystems .....	47
Abbildung 21: Simulationsmodell mit Ladungsträgern befüllt.....	48
Abbildung 22: Kommissionierer im Simulationsmodell.....	48
Abbildung 23: Ergebnis- und Statistikbericht.....	49
Abbildung 24: Plant Simulation Methode .....	50
Abbildung 25: Benutzeroberfläche des Excel- Reorganisationstools .....	51
Abbildung 26: Entwicklung der Reorganisationskosten .....	54
Abbildung 27: Reorganisation von 5 Prozent der Artikel.....	55
Abbildung 28: Reorganisation von 10 Prozent der Artikel.....	55
Abbildung 29: Reorganisation von 15 Prozent der Artikel.....	56
Abbildung 30: Reorganisation von 20 Prozent der Artikel.....	56
Abbildung 31: Reorganisation von 25 Prozent der Artikel.....	57
Abbildung 32: Reorganisation von 30 Prozent der Artikel.....	57
Abbildung 33: Reorganisation von 35 Prozent der Artikel.....	58
Abbildung 34: Reorganisation von 40 Prozent der Artikel.....	58
Abbildung 35: Zustand vor der Reorganisation .....	60

Abbildung 36: Zustand nach der Reorganisation .....61



## **Abkürzungsverzeichnis**

<b>COI</b>	Cube-per-Order-Index
<b>IFT</b>	Institut für Fördertechnik und Logistik
<b>MDA</b>	Minimum Delay Algorithm
<b>MTM</b>	Methods-Time Measurement
<b>PA</b>	Part Affinity Score
<b>PF</b>	Pick Frequency Score
<b>RWW</b>	Rearrange-While-Working
<b>SI</b>	Shuffling with insertion
<b>SNN</b>	Shuffling with nearest neighbor heuristic
<b>VBA</b>	Visual Basic for Applications
<b>WGTL</b>	Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung/Motivation

Die zunehmende Globalisierung, der technologische Fortschritt und der kundenseitige Wunsch nach Individualisierung führen zu einer turbulenteren Umgebung für Unternehmen (Westkämper und Zahn 2009). Die Unternehmen werden dadurch gezwungen, sich diesen Veränderungen anzupassen. Großes Potential ist dabei im Bereich der Logistik und speziell im Bereich der Lagerbelegung zu erkennen. Ihr wird eine große Wichtigkeit zuteil, da sie nahezu alle Kennzahlen eines Lagers beeinflusst. So hat sie beispielsweise Einfluss auf die Produktivität, den Raumnutzungsgrad oder die durchschnittliche Ein-/Auslagerungszeit eines Artikels (Chen et al. 2011). Aus diesem Grund gilt es, die Lagerplatzzuordnung bzw. die Lagerbelegung immer wieder auf ihre Effizienz hin zu überprüfen. Saisonale Schwankungen im Produktsortiment, wie in Abbildung 1 dargestellt, und die immer kürzeren Produktlebenszyklen können dazu führen, dass eine einmal optimierte Lagerbelegung innerhalb weniger Wochen an Effizienz verliert, sodass periodisch immer wieder Umlagerungen angestoßen werden müssen (ten Hompel und Schmidt 2010).

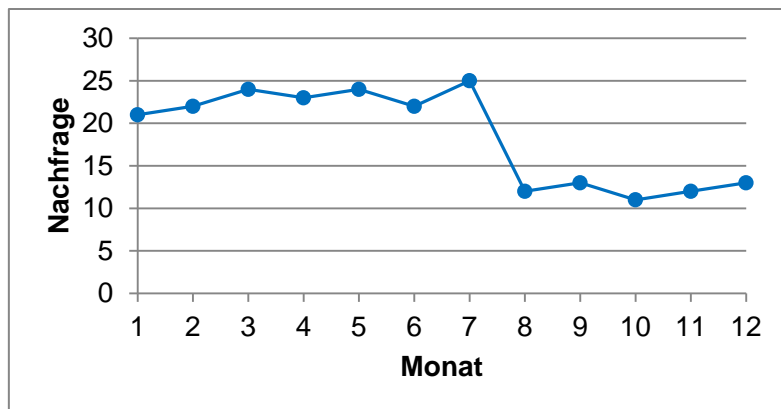


Abbildung 1: Entwicklung der Nachfrage eines Artikels

Auch Änderungen im Zugriffsverhalten einzelner Artikel wie zum Beispiel das Absinken des Artikeldurchsatzes oder eine Veränderung der bisher genutzten Entnahmeeinheiten können Auslöser für eine Lagerreorganisation sein (Freitag 1993). Des Weiteren können an- oder auslaufende Vertriebsaktionen oder Veränderungen des Sortiments Umlagerungen veranlassen. Auch das Anwachsen der Menge angebrochener Lagereinheiten und der daraus resultierende schlechte Volumenraumnutzungsgrad können Lagerreorganisationsmaßnahmen auslösen (ten Hompel und Schmidt 2010). Umlagerungen werden demnach durchgeführt, um eine optimale Lagerplatzbelegung zu erreichen. Sofern bei der Einlagerung eines Artikels mangels Platz in der bevorzugten Zone ein suboptimaler Lagerplatz gewählt werden muss, kann im Zuge einer späteren Umlagerung die Idealzuordnung erreicht werden (Lange et al. 2013). Bereits bekannte, vorherzusehende

Auslagerungen können schneller durchgeführt werden, wenn die entsprechenden Artikel an verkehrsgünstigen Lagerplätzen nahe dem Ein-/Auslagerungspunkt eingelagert werden (Eizinger et al. 2005). Neben einer Verbesserung der Kommissionierleistung um acht bis 15 Prozent konnten durch Reorganisationsmaßnahmen bereits Einsparungen von bis zu 500 000 USD pro Jahr erzielt werden (Trebilcock 2011).

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Methodik, die einen Reorganisationsaufwand in Kommissioniersystemen bestimmen und die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Maßnahmen bis hin zu vollständigen Reorganisationen bewerten kann. Die Methodik soll allgemeingültig gestaltet werden und somit branchenübergreifend für die Kommissionierung angewendet werden.

## 2 Kommissionierung

Ein elementarer Vorgang innerhalb der Produktions- und der Distributionslogistik ist die Kommissionierung. Der Kommissionierbereich ist der Bereich innerhalb eines Distributionszentrums, in dem die personalintensivste Arbeit durchgeführt wird und dadurch auch die höchsten Kosten verursacht werden (Sadowsky und Hompel 2007; Ten Hompel et al. 2011).

Abbildung 2 zeigt den durchschnittlichen Anteil der Kommissionierkosten aus unterschiedlichen Branchen im Vergleich zu den Logistikkosten und dem Umsatz der Unternehmen (Pulverich und Schietinger 2009).

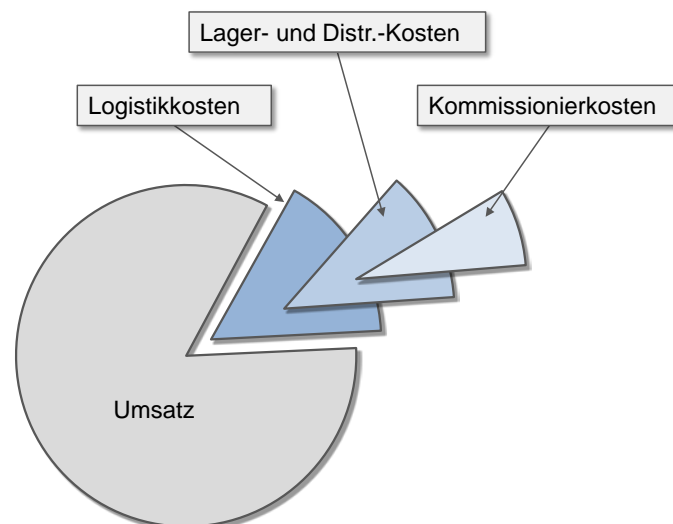


Abbildung 2: Anteil der Kommissionierkosten (Pulverich und Schietinger 2009)

So betragen die Logistikkosten bis zu 15 Prozent des Umsatzes. Die Lager- und Distributionskosten belaufen sich auf rund 70 Prozent der Logistikkosten und die

Kommissionierkosten betragen rund 70 Prozent der Lager- und Distributionskosten bzw. bis zu fünf Prozent des Umsatzes des Unternehmens. Die ist jedoch auch der Bereich, der maßgeblich für die Kundenzufriedenheit verantwortlich ist (Pulverich und Schietinger 2009). Werden bei der Kommissionierung Fehler gemacht, so bekommt der Kunde unter Umständen die falschen Artikel oder die falsche Menge geliefert (Arnold et al. 2008).

In der VDI-Richtlinie 3590 wird der Begriff der Kommissionierung wie folgt definiert: "Kommissionieren hat das Ziel aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträgen) zusammenzustellen." (VDI Richtlinie 3590)

Es wird also der Vorgang der Entnahme von Teilmengen größerer Einheiten einzelner Artikel und deren Zusammenführung und Versandbereitstellung beschrieben. Dieser arbeitsintensive, zu meist personalintensive und zugleich kostenintensive Bereich eines Lager- oder Distributionszentrums gilt es bei der Planung und dem anschließenden Betrieb dieses Systems detailliert zu betrachten. Aus der engen Verflechtung von technischen Maschinen, Organisationsstrukturen und dem Informationsmanagement erweist sich die Gestaltung von Kommissioniersystemen als eine sehr komplexe Aufgabe. Mit dem Ziel einer besseren Strukturierbarkeit beschreibt die VDI-Richtlinie 3590 Grundfunktionen und Standardabläufe eines Kommissioniersystems. Dabei wird das System, wie in Abbildung 3 dargestellt, in drei Bereiche unterteilt: (VDI Richtlinie 3590)

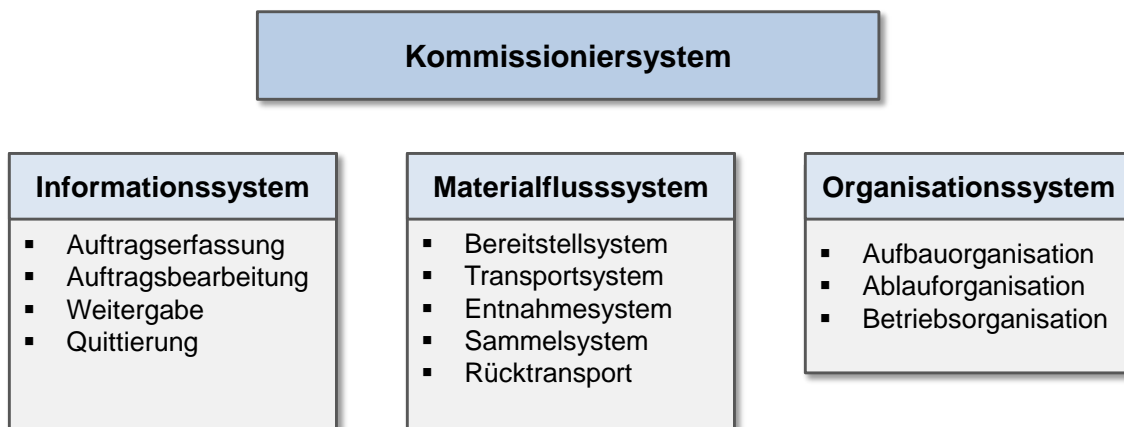


Abbildung 3: Aufbau eines Kommissioniersystems

Das Informationssystem setzt sich aus mehreren Elementen zusammen. Unter einem solchen Informationselement wird die Information verstanden, welche den für die Kommissionierung notwendigen Materialfluss auslöst. Grundsätzlich beinhaltet der Auftrag dabei die Grundinformationen über die Artikelidentifikation und die jeweiligen Bestellmenge. Die Kommissionierliste (Pickliste, Kommissionierauftrag) verknüpft anschließend die Auftragsdaten mit den spezifischen Daten des Kommissioniersystems, in welchem die exakten Positionen der bestellten Artikel im Lagersystem enthalten sind (VDI Richtlinie 3590). Die Identifikation des Bereitstellortes kann anhand eben beschriebener

Kommissionierlisten dezentral oder durch eine zentrale Bereitstellung der Informationen unmittelbar am Entnahmepunkt z.B. durch Pick-by-Light Systeme erfolgen. Als Maßnahmen der Qualitätssicherung können die Quittierung und Kontrolle der kommissionierten Artikel eingesetzt werden (Siepenkort 2013). Die Auswahl eines auf das jeweilige Unternehmen abgestimmten Kommissioniersystems ist bei der Konzeption von Materialflusssystemen von übergeordneter Bedeutung, da im Kommissionierbereich die Ausgangslage für eine schnelle und möglichst wirtschaftliche Abwicklung der Kundenaufträge geschaffen wird (Bernnat 1998). Bei der Auslegung dieses Flusses gilt es zunächst zu klären, in welcher Form Kommissionierer und Artikel räumlich und zeitlich zusammengeführt und in welcher Form die einzeln ausgelagerten Entnahmeeinheiten weiter gefördert werden (ten Hompel und Schmidt 2010). Der physische Materialfluss in Kommissioniersystemen kann durch fünf bestimmende Prozesse allgemein beschrieben werden:

- Bereitstellung der Güter
- Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
- Transport der Güter zum Ablageort
- Abgabe

Auf Grund dessen, dass unternehmensspezifische Systemanforderungen bei der Realisierung dieser Prozesse berücksichtigt werden müssen, existieren in der Praxis unterschiedlichste Varianten der Systemauslegung.

Die Bereitstellung der Güter kann entweder statisch oder dynamisch durchgeführt werden (Siepenkort 2013). Bei der statischen Variante befinden sich die zu kommissionierenden Artikel in Ruhe. Bei der dynamischen Bereitstellung erfolgt die Entnahme hingegen auf sich bewegenden Teilen. Eng damit in Verbindung steht die Differenzierung zwischen dezentraler (Person-zur-Ware) und zentraler (Ware-zur-Person) Bereitstellung (ten Hompel und Schmidt 2010). Die Bewegung des Kommissionierers zum Lagerort spielt beim Prinzip "Ware-zur-Person" keine Rolle, da die bestellten Artikel zum Entnahmeplatz gefördert werden. Erfolgt die Bereitstellung allerdings dezentral, so ist eine Fortbewegung des Kommissionierers zwingend notwendig. Diese kann entweder zu Fuß oder durch die Mithilfe von Fördermitteln erreicht werden. Durch den Einsatz autonom bewegter Flurförderer erfolgt die Bewegung ohne menschliche Arbeitskraft. Die anschließende Entnahme der Güter kann entweder manuell, mechanisiert oder automatisiert erfolgen. Analog zur Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung, klassifizieren sich die Möglichkeiten des Transports der Güter zum Ablageort. Die Abgabe der Güter kann wie bei der Bereitstellung bereits beschrieben statisch oder dynamisch erfolgen. Zusätzlich können die kommissionierten Artikel in geordneter oder ungeordneter Form abgegeben werden (Siepenkort 2013). Ein

wesentlicher Aspekt zur Beeinflussung der Effizienz und der damit einhergehenden Systemwahl stellt die Organisationsform des Systems dar. Das Organisationssystem teilt sich in die Teilsysteme Aufbauorganisation, Ablauforganisation und Betriebsorganisation auf (ten Hompel und Schmidt 2010). Die Aufbauorganisation wird direkt von den physikalischen Eigenschaften, dem mengenmäßigen Umschlag sowie den Identifikationsmerkmalen der Artikel bestimmt. Artikel mit ähnlichen Eigenschaften werden in separierten homogenen Kommissionierzonen zusammengefasst und können dort durch eine speziell auf die Gruppe abgestimmte Kommissioniertechnik bedient werden (VDI Richtlinie 3590). Die Vorgehensweise bei der Bearbeitung von Kundenaufträgen wird durch die Ablauforganisation bestimmt. Im Fall der einstufigen (auftragsorientierten) Kommissionierung entspricht der Kommissionierauftrag dem eingehenden Kundenauftrag. Dem entgegen wird bei der zweistufigen (artikelorientierten) Kommissionierung ein Kundenauftrag in zwei oder mehrere Kommissionieraufträge aufgeteilt, um eine parallele Bearbeitung in verschiedenen Zonen zu ermöglichen. Zur Zusammenführung der einzelnen Auftragspositionen ist anschließend ein Konsolidierungsprozess erforderlich, damit der Kunde sämtliche bestellte Artikel erhält (Siepenkort 2013). Die Betriebsorganisation fokussiert sich auf die zeitliche Reihenfolge, in der ein oder mehrere Kommissionieraufträge in einem Kommissioniersystem eingesteuert und bearbeitet werden. Durch die Regulierung von Zielgrößen wie beispielsweise Personaleinsatz, Auftragsgröße oder Auftragsdurchlaufzeit, kann eine Optimierung des Gesamtsystems angestrebt werden. Es ergibt sich also eine Vielzahl von Möglichkeiten für den Aufbau von Kommissioniersystemen, welche durch einzelne Komponenten des Informations- und Materialsystems sowie durch die Organisation variiert werden können (VDI Richtlinie 3590).

Im Folgenden werden zwei übliche Ausprägungsformen in der Kommissionierung und deren typischen Einsatzfelder vorgestellt:

Ein ursprünglicher Grundtyp der Kommissionierung wird durch einen Kommissionierer durchgeführt, der sich mit einem Wagen entlang der Regalfront eines Durchlauf- Paletten-, Fachboden- oder Hochregals bewegt und durch greifen, der auf der Pickliste vermerkten Artikel, die entsprechenden Güter aus dem Lager entnimmt. Dabei bewegt sich der Kommissionierer schleifen- oder mäanderförmig durch die Regalanordnung oder fährt nur gezielt einzelne Gassen an (ten Hompel und Schmidt 2010). Die Weglänge, die zum Anfahren aller gewünschten Lagerplätze benötigt wird, hängt neben der Artikelanordnung stark von der Reihenfolge ab, in welcher die Stellplätze angesteuert werden. Zur Minimierung dieser Wege existieren zahlreiche Methoden (Koch und Wäscher 2014). Entsprechend den zuvor beschriebenen Elementen eines Kommissioniersystems stellt diese Form eine auftragsparallele Kommissionierung nach dem Prinzip "Person-zur-Ware" mit ein-

dimensionaler Fortbewegung des Kommissionierers dar, bei der die Bereitstellung statisch-dezentral und die Abgabe statisch-zentral erfolgt. Bei der Kommissionierung nach dem Prinzip "Ware-zur-Person" fallen kaum Wegzeiten an. Als Beispiel ist hierzu ein automatisches Kleinteilelager zu nennen, bei welchem sich der Kommissionierer an der Stirnseite des Lagers befindet. Artikelreine Behälter werden durch die Fördertechnik des Systems zur Entnahme bereitgestellt und der Kommissionierer kann die geforderte Menge entnehmen. Die Bereitstellung erfolgt in diesem Fall zentral-dynamisch und die abschließende Abgabe von Entnahme- und Kommissioniereinheit zentral-statisch (ten Hompel und Schmidt 2010).

Es existieren bereits automatische Kommissioniersysteme, die die eingehenden Kundenaufträge ohne menschliches Eingreifen durchführen können. Dennoch ist festzuhalten, dass bisher kein Greifer entwickelt worden ist, der eine so große Vielfalt von Artikeln flexibel greifen und handhaben kann, wie ein Mensch mit seinen Händen (Koether 2014).

Dabei müssen die erzielten Einsparungen jedoch stets mit den Kosten für die Umlagerung verglichen werden. Die Ein- bzw. Auslagerung der Lagereinheiten ist einer der arbeitsintensivsten Vorgänge in einem Lager, 65 Prozent aller in Lägern verursachten Kosten entfallen auf Prozesse der Kommissionierung (Jane und Laih 2005). Hierbei werden gemäß eines Auftrages die geforderten Mengen dem Lager entnommen und bereitgestellt. Studien zur Folge macht die Wegzeit in manuellen Lager- bzw. Kommissioniersystemen über 50 Prozent der gesamten Bearbeitungszeit eines Auftrags aus. Hier gilt es demnach im Bereich der Lagerplatzvergabe anzusetzen.

### **Lagerplatzzuordnung**

Die Problematik einer möglichst effizienten Zuordnung zwischen Lagerplatz und Lagereinheit ist in Distributionszentren von großer Bedeutung. Da die Nachfrage ständiger Veränderung unterliegt, ändert sich auch die Art und Weise der besten Lagerplatzzuordnung über die Zeit, wodurch Reorganisationsmaßnahmen erforderlich werden (Pazour und Carlo 2015). Vor allem in Unternehmen, deren Läger über viele Lagereinheiten verfügen, sind große Einsparungen zu erzielen. Bereits um 1960 lieferte die Wissenschaft erste Ansätze, um eine Synchronisation zwischen Lagerplatzzuordnung und Kommissionierung zu erreichen. Ziel war und ist es weiterhin eine intelligente Zuordnung der Lagerplätze zu den Lagereinheiten zu finden, um Artikel über möglichst kurze Wege transportieren zu können und folglich sehr effizient ein- bzw. auslagern zu können (Kofler et al. 2012).

Für die Zuordnung der Artikel zu ihren Lagerplätzen gibt es verschiedene Methoden und Strategien, die nachfolgend erläutert werden sollen (Gudehus 2012; Martin 2016).

#### Feste Lagerplatzvergabe

Jeder Artikel im Lager hat einen festen Lagerplatz und ist stets an derselben Stelle vorzufinden. Die Ausnutzung der Lagerplätze ist hierbei unvollständig und uneinheitlich, da bei zeitlich sich ändernden Beständen freie Platzreserven nicht genutzt werden können und der Platzbedarf dementsprechend hoch ist (Käber 2014). Diese Form der Lagerhaltung erscheint deshalb am unzweckmäßigsten. Dennoch sind auch Vorteile auszumachen. Aus der festen Anordnung der Produkte resultiert eine sehr gute Bestimmbarkeit des Lagerortes, so dass nach einem Artikel nicht lange gesucht werden muss, bei einem manuellen Lagersystem kann gar eine Zeitoptimierung realisiert werden.

#### Chaotische Lagerplatzvergabe

Bei dieser Art der Lagerplatzzuordnung sind die Artikel an keinen festen Ort gebunden. Jeder Artikel kann an jedem freien Platz mit dem Ziel der optimalen Ausnutzung des Lagerraums eingelagert werden. Dadurch sind Zeitersparnisse zu erzielen, da die Artikel meist im vorderen Bereich des Lagers eingelagert werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei etwaigen Störungen innerhalb einer Lagergasse die erforderlichen Lagereinheiten in anderen Lagergassen weiterhin zugänglich sind. Ein Nachteil dieser Form der Lagerplatzbelegung ist die Unübersichtlichkeit vor allem in großen Lägern. Dies erfordert eine detaillierte Dokumentation der eingelagerten Artikel mit den jeweiligen Lagerplätzen.

#### Lagerplatzvergabe mit Querverteilung

Die Querverteilung stellt eine Form der festen Lagerplatzzuordnung dar. Dabei werden mehrere Einheiten eines Artikels über mehrere Gänge verteilt eingelagert. Sie kommt zum Einsatz, wenn parallel auf Artikel mit hoher Umschlagshäufigkeit zugegriffen werden soll. Zudem ist die Verfügbarkeit der Lagereinheiten bei eventuellen Störungen sichergestellt.

#### Lagerplatzvergabe gemäß Teilefamilien, nach Clustern

Bei dieser Art der Lagerplatzvergabe erfolgt eine Zuordnung der Artikel zu den Lagerplätzen gemäß der sogenannten Teileaffinität. Artikel, die häufig gemeinsam kommissioniert werden, bezeichnet man dabei als affin (Kofler et al. 2012). Sie sind in benachbarten Bereichen vorzufinden, um die Anschlusswege zu reduzieren.

#### Klassenbasierte Lagerplatzvergabe, nach Lagerzonen



Diese Art der Lagerplatzvergabe stellt einen Kompromiss der festen und der chaotischen Lösung dar, die jeweiligen Vor- und Nachteile treten lediglich in abgeschwächter Form auf. Die Strategie der chaotischen Lagerplatzvergabe wird dabei auf einzelne Bereiche beschränkt. Hierzu ist es erforderlich, jedes Lagerfach eindeutig zu nummerieren. Gemäß ihrer Nachfrage werden die Artikel dann in diesen Lagerfächern ohne festen Lagerplatz chaotisch gelagert (Weber 1993).

Dabei wird eine Strategie verfolgt, bei der die Artikel nach artikelspezifischen Merkmalen in Zonen eingelagert werden. Hier „lassen sich verschiedene Einflussfaktoren wie Weglänge, Umschlagshäufigkeit, Wertigkeit, Gewicht, Zugriffshäufigkeit, aber auch das Volumen der Einheit, in der das Gut an den Kunden verkauft wird, nennen.“ (Pfohl 2010) In derselben Zone werden dabei Artikel eingelagert, welche gemeinsame Eigenschaften aufweisen (Koster et al. 2007). Artikel, die häufig ein- und ausgelagert werden, sollen dabei bevorzugt nahe dem Ein-/Auslagerungspunkt eingelagert werden.

Im Bereich der klassenbasierten Lagerplatzbelegung kann der Cube-per-Order-Index (kurz: COI) als besondere Ausprägung angesehen werden. Dieser stellt eine Kennzahl dar, die eine Aussage trifft, in welcher Lagerzone ein bestimmter Artikel gelagert wird. Dabei wird das Ziel verfolgt, schwere und sperrige Güter, sprich solche mit einem großen Volumen und jene mit einer hohen Zugriffshäufigkeit nahe dem Ein-/Auslagerungspunkt einzulagern (Bernat 1998). Der Index stellt also das Verhältnis des Volumens der Lagereinheit zu ihrer Zugriffshäufigkeit dar. Der COI geht zurück auf Heskett, der erstmals im Jahr 1963 diese Kennziffer zur Generierung einer intelligenten Lagerplatzvergabe einsetzte (Heskett 1963). In der Folgezeit wurden bezüglich des COIs zahlreiche Analysen angestellt. Unter der Annahme bestimmter Bedingungen ist mittels des COIs ein Optimum hinsichtlich der Lagerbelegung und damit eine kostenminimale Lösung zu erreichen (Malmborg und Bhaskaran 1990).

Damit stellt die klassenbasierte Lagerplatzzuordnung eine in begrenztem Maße optimale Nutzung der freien Lagerplätze dar. Zur Einteilung der Lagereinheiten in die einzelnen Zonen kommt typischerweise die ABC-Analyse zum Einsatz, mit deren Hilfe eine Priorisierung der Artikel vorgenommen werden kann.

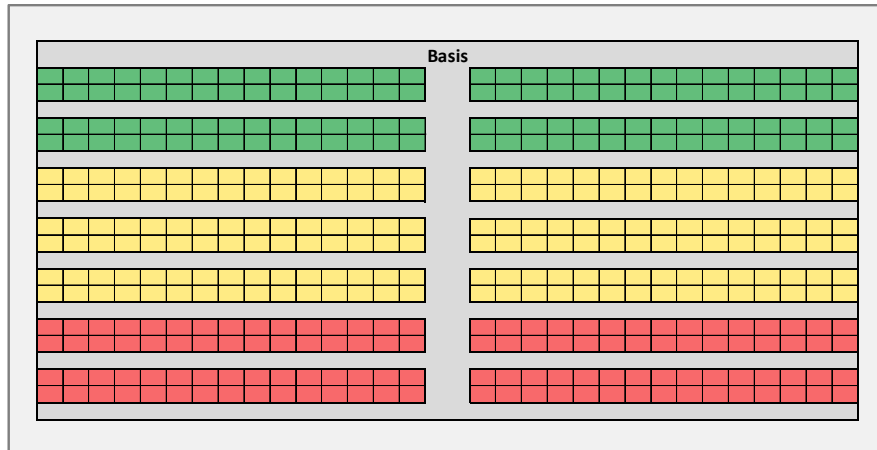


Abbildung 4: Klassenbasierte Lagerplatzzuordnung

Das Beispiel einer klassenbasierten Lagerplatzzuordnung ist in Abbildung 4 dargestellt. Artikel mit einer hohen Nachfrage befinden sich an den grün markierten Lagerplätzen. Weniger stark nachgefragte im gelben und selten nachgefragte Artikel im roten Bereich.

### Kommissionierzeiten

Die Kommissionierzeit besteht bei der Person-zur-Ware-Kommissionierung aus der Bearbeitungszeit und der Zusammenführungszeit (ten Hompel und Schmidt 2010). Wie in Abbildung 5 dargestellt, setzt sich die Bearbeitungszeit aus der Basiszeit, der Greifzeit, der Totzeit und der Sortierzeit zusammen (ten Hompel und Schmidt 2010). Bei der Zusammenführungszeit handelt es sich in der Person-zur-Ware-Kommissionierung um die Wegzeit, die für das Zurücklegen des Basis-, des Gangwechsel- und des Gassenwegs erforderlich ist (ten Hompel und Schmidt 2010).

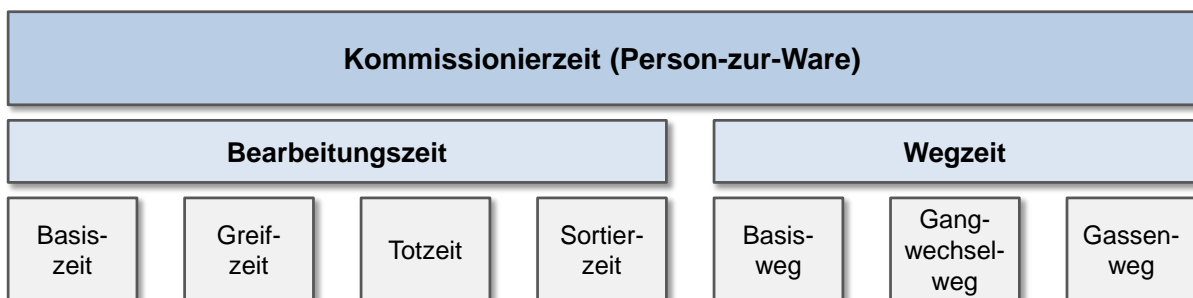


Abbildung 5: Bestandteile der Kommissionierzeit

Die Basiszeit beinhaltet Tätigkeiten wie die Auftragsübernahme, das Sortieren von Belegen, die Aufnahme von Kommissionierbehältern und nach dem Kommissionieren die Abgabe der Artikel und Kommissionierbehälter sowie die Weitergabe und abschließende Belegbearbeitung. Die Greifzeit ist die Zeit, die für die Entnahme von Artikeln pro Auftragsposition erforderlich ist. Sie setzt sich zusammen aus der Zeit, die für das Hinlangen, Aufnehmen, Befördern und Ablegen benötigt wird. Nicht berücksichtigt werden die Zeiten,

die für das Öffnen von Verpackungen, das Beschriften und Etikettieren sowie das Zurücklegen von zu viel entnommenen Artikeln benötigt werden (ten Hompel und Schmidt 2010). Die Totzeit ist der Zeitanteil der Bearbeitungszeit, der am Entnahmeort entsteht und nicht vermeidbar ist. Sie beinhaltet die für das Suchen und Identifizieren, Lesen, Kontrollieren oder Öffnen von Verpackungen notwendige Zeit, die im Mittel benötigt wird, um von einem Entnahmeort zum nächsten zu gelangen (ten Hompel und Schmidt 2010). Beim Einsatz von Sortieranlagen muss die dafür erforderliche Sortierzeit ebenfalls berücksichtigt werden (ten Hompel und Schmidt 2010). Die einzelnen Anteile an der Kommissionierzeit sind in der folgenden Abbildung 6 dargestellt. Der größte Anteil entfällt dabei auf das Bewegen im Kommissionierbereich, wie beispielsweise das Zurücklegen von Wegstrecken (Tompkins 1996).

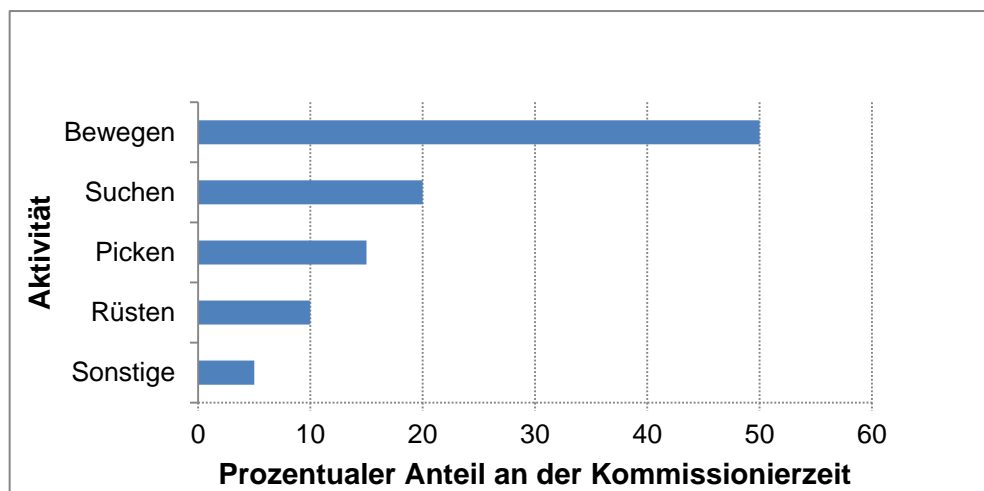


Abbildung 6: Anteil der Aktivitäten an der Kommissionierzeit

## 2.1 Kommissionierkosten

Mit den Aktivitäten in der Kommissionierung gehen die dadurch verursachten Kosten einher. Zur Bestimmung dieser Kosten eignen sich verschiedene Methoden, die im Folgenden vorgestellt werden soll.

Der leistungsbezogene bewertete Güterverzehr in einer Periode wird als Kosten bezeichnet (Weber und Weißenberger 2010). Ziel der Kostenrechnung ist es, die entstandenen Kosten einem physischen Produkt, einer Dienstleistung oder anderen Kostenträgern möglichst genau zuzuordnen und dadurch Transparenz zu schaffen. Nachfolgend werden als mögliche Instrumente der Kostenrechnung die klassische Kosten- und Leistungsrechnung und die Prozesskostenrechnung vorgestellt.

Klassische Kosten- und Leistungsrechnung

Das Ziel der Kostenrechnung ist es, alle Kosten die in einem Unternehmen anfallen auf die Produkte und Dienstleistungen des Unternehmens aufzuteilen. So soll Transparenz über die Kostenstruktur und die Kosten eines Produktes geschaffen werden.

Die klassische Kostenrechnung gliedert sich in drei Ebenen: Die Kostenartenrechnung, die Kostenstellenrechnung und die Kostenträgerrechnung. Die Kostenartenrechnung dient der Erfassung und Gruppierung aller Kostenarten, die in der betrachteten Periode anfallen. Bei der Kostenstellenrechnung wird ermittelt, wo welche Kosten in welcher Höhe angefallen sind. Die Kostenträgerrechnung hat dann zur Aufgabe, die Kosten auf alle erstellten Produkte (und/oder Dienstleistungen) aufzuteilen und so die Stückkosten zu ermitteln (Zdrowomyslaw 2001).

Weiterhin kann in der Kostenartenrechnung zwischen Einzel- und Gemeinkosten differenziert werden. Einzelkosten sind hierbei Kosten, die direkt und unverschlüsselt einem Kostenträger oder einer Kostenstelle als Bezugsobjekt zuzuordnen sind. Gemeinkosten hingegen lassen sich nicht in voller Höhe einem Bezugsobjekt zurechnen. Sie werden von mehreren Bezugsobjekten verursacht und müssen daher mithilfe eines Verrechnungsschlüssels auf diese aufgeteilt werden (Zdrowomyslaw 2001).

Bei der Kostenartenrechnung im Bereich der Logistik sind Einzelkosten hauptsächlich Kosten, die außerhalb der Unternehmensgrenzen anfallen. Das bedeutet, es handelt sich hierbei um Kosten für von anderen Unternehmen erbrachte Fremdleistungen. Diese sind in der Regel direkt einem verursachenden Kostenträger zuzuordnen. Beispielsweise sind Einzelkosten im Bereich der Logistik Kosten für Fremdtransporte oder Fremdlagerung. Logistische Gemeinkosten sind hingegen nicht direkt einem Kostenträger zuzuordnen. Sie ergeben sich aus den Kosten logistischer Produktionsfaktoren wie beispielsweise Lagerpersonal, Transportanlagen oder Treibstoffe (Weber und Weißenberger 2010). Wie oben erwähnt ist das Ziel, alle anfallenden Kosten den Produkten, also den Kostenträgern, zuzurechnen. Eine Möglichkeit dafür ist die Aufteilung entsprechend eines Verteilungsschlüssels, der sich an der Verteilung der Einzelkosten orientiert. Dabei würde allerdings eine Proportionalität der Gemeinkosten zu den Einzelkosten unterstellt, was in einigen Fällen nicht der Realität entspricht und tieferegehende Analysen behindern würde. Daher ist der Schritt der Kostenstellenrechnung nötig. Bei dieser wird erfasst, wo im Betrieb die Kosten angefallen sind. Hierzu werden verschiedene Kostenstellen gebildet (Zdrowomyslaw 2001). „Kostenstellen sind funktional, organisatorisch bzw. nach betrieblichen Verantwortungsbereichen oder nach anderen Kriterien voneinander abgrenzbare Teilbereiche eines Unternehmens, für die von ihnen jeweils verursachten Kosten erfasst und ausgewiesen, gegebenenfalls auch geplant und kontrolliert werden.“ (Zdrowomyslaw 2001) Im Bereich der Logistik sind die Kostenstellen häufig kunden- oder

lieferantennahe Bereiche wie beispielsweise Wareneingangs- oder Versandlager, Bestelldisposition, Zwischenverkehr oder interner Transport. Die Kostenstellen sind allerdings von jedem Unternehmen individuell zu wählen. Hierbei ist wichtig, nicht zu wenige Kostenstellen zu bilden, da so die erwartete Transparenz nur unzureichend geschaffen wird. Zu viele Kostenstellen erhöhen die Komplexität des Systems und sollten deswegen ebenfalls vermieden werden. (Weber und Weißenberger 2010) Auch bei der Kostenstellenrechnung wird zwischen Einzel- und Gemeinkosten differenziert (Primäre Kostenstellenkosten). Kostenstelleneinzelkosten sind hierbei einer Kostenstelle direkt zuzuordnen, Kostenstellengemeinkosten müssen über einen Verrechnungsschlüssel auf die Kostenstellen verteilt werden. Nach der innerbetrieblichen Kostenverrechnung, beispielsweise unter Zuhilfenahme eines Betriebsabrechnungsbogens, resultieren die sekundären Kostenstellenkosten, die den Kostenträgern direkt zugerechnet werden können (Zdrowomyslaw 2001).

Bei der Kostenträgerrechnung werden die Einzelkosten der Kostenartenrechnung und die Sekundären Kostenstellenkosten den Produkten des Unternehmens zugeordnet. Die Zuordnung der sekundären Kostenstellenkosten erfolgt über Verrechnungssätze entsprechend der produzierten Mengen oder des produzierten Wertes. So können bei der Kostenträgerzeitrechnung die Kosten berechnet werden, die ein Produkt oder eine Produktgruppe in der betrachteten Rechnungsperiode verursacht hat. Die Kostenträgerstückrechnung hingegen berechnet die Kosten pro produzierte Einheit eines Produktes.

Abbildung 7 zeigt eine Übersicht über das Vorgehen bei der klassischen Kostenrechnung in Bezug auf logistische Tätigkeiten.

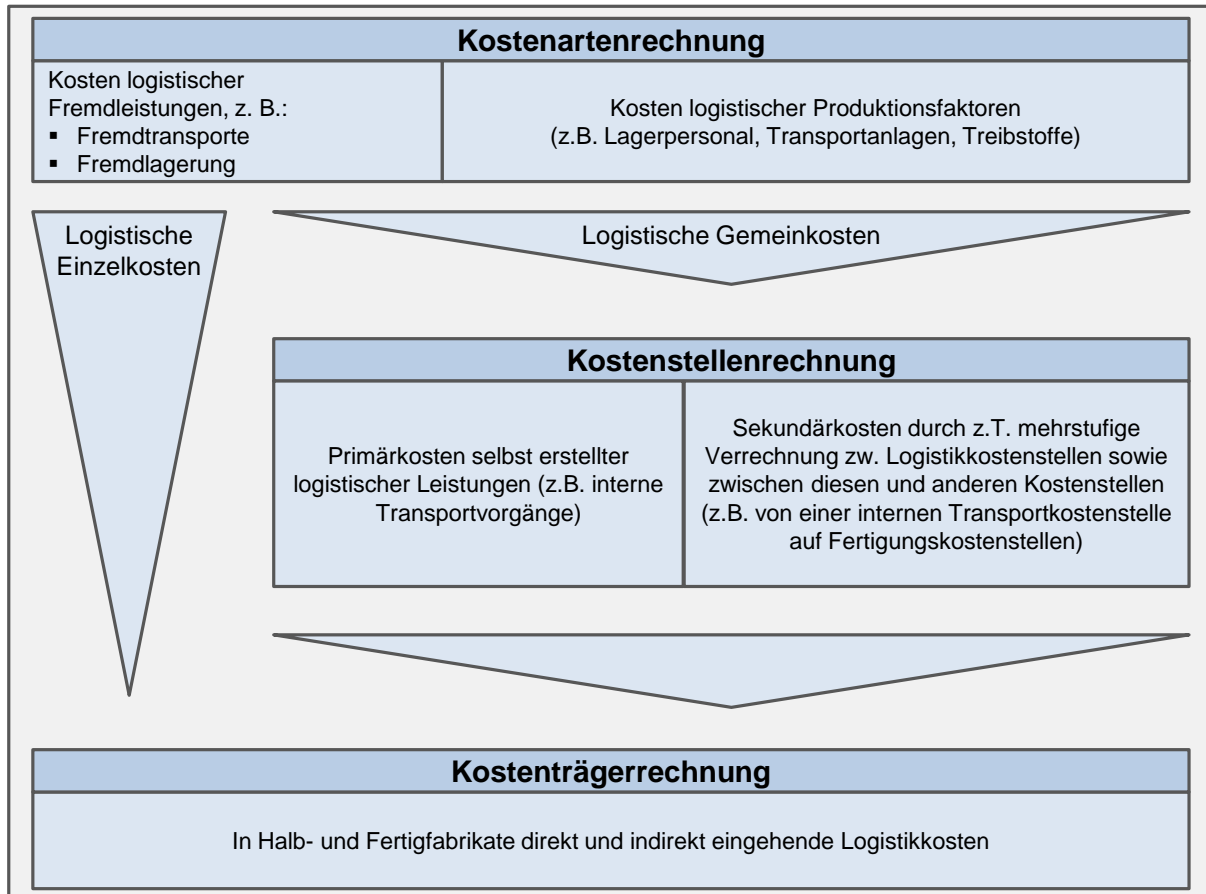


Abbildung 7: Kostenrechnung bei logistischen Tätigkeiten

### Prozesskostenrechnung

Die Prozesskostenrechnung ist eine Alternative zur oben vorgestellten klassischen Kostenrechnung. Ziel ist es auch hier, die entstehenden Gemeinkosten möglichst verursachergerecht zu erfassen. Grundlage der Prozesskostenrechnung sind Arbeitsgänge oder Prozesse, die von verschiedenen Bereichen des betrachteten Unternehmens (Kostenstellen) ausgeführt werden. Diese Vorgänge schließen alle mit einem Ergebnis ab und verbrauchen Ressourcen. Als Ergebnis der Prozesskostenrechnung sollen die Kosten für die Durchführung des Prozesses stehen. Diese können dann wiederum einem Kostenträger zugeordnet werden, sofern die Durchführung des Prozesses vom Kostentreiber initiiert wurde (Freidank 2012).

Die definierten Prozesse oder Teilprozesse werden auf eine Abhängigkeitsbeziehung zur Leistungsmenge untersucht. Sind die Tätigkeiten leistungsmengenabhängig müssen geeignete Kostentreiber (Cost Driver) genannt werden. Kostentreiber sind Bezugsobjekte, die eine Leistung entgegennehmen. Beispielsweise ist der Prozess „Angebote einholen“ leistungsmengenabhängig. Kostentreiber ist in diesem Fall die Anzahl der eingeholten Angebote. Der Prozess „Abteilung leiten“ ist hingegen leistungsmengenunabhängig. Für diesen Prozess muss daher kein Kostentreiber definiert werden (Freidank 2012).

Für leistungsmengeninduzierte Prozesse werden die Prozessmenge und die in diesem Zusammenhang angefallenen Kosten ermittelt. Bei einer Prozesskostenkalkulation wird aufgrund des Betrachtungszeitpunktes mit einer Planmenge und Plankosten gerechnet. Aus diesen beiden Werten wird ein Quotient gebildet, mit dem die Prozesskosten pro Leistungseinheit ermittelt werden (Freidank 2012).

Die Kosten der Prozesse, die nicht abhängig von der Leistungsmenge sind, müssen auf die Kosten der leistungsmengeninduzierten Prozesse aufgeschlagen werden. Hierzu wird ein verhältnismäßiger Zuschlagsatz ermittelt, der dann auf die Prozesskosten pro Leistungseinheit aufgeschlagen wird. Das Ergebnis ist dann ein Gesamtprozesskostensatz bezogen auf eine Leistungseinheit (Freidank 2012).

## **2.2 Leistung in der Kommissionierung**

Pulverich und Schietinger definieren die Leistung für die Logistik als aufgewendete Arbeitszeit, die zur Erbringung der mess- bzw. zählbaren Arbeitsresultate in Form von Menge oder Qualität einer spezifischen Aufgabe benötigt wird (Pulverich und Schietinger 2009).

Zur Beurteilung der Leistung von Mitarbeitern in der Kommissionierung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung (Bichler et al. 2010) (Pfohl und Zöllner 1991) (Stinson et al. 2014). Zur Quantifizierung der Leistung können verschiedene Kennzahlen genutzt werden.

„Kennzahlen ... sind Maßgrößen, die den Anwender schnell und zielgerichtet informieren. Isoliert betrachtet, sind einzelne Kennzahlen jedoch nicht von großem Nutzen. Erst der Vergleich – zu Vorperioden oder Konkurrenzunternehmen – erhöht ihren Aussagewert, indem über Kennzahlen betriebswirtschaftliche Abläufe in einem primär quantitativen Gesamtkontext abgebildet werden.“ (Werner 2014)

Es kann zwischen Einzelkennzahlen und Kennzahlensystemen differenziert werden. Einzelkennzahlen bemessen einen isolierten Sachverhalt. Kennzahlensysteme bestehen aus verschiedenen Einzelkennzahlen, die aufeinander aufbauen und zu einer Spitzenkennzahl aggregiert werden. Mit diesen werden betriebswirtschaftliche Abhängigkeitsverhältnisse abgebildet (Werner 2014). Werner differenziert Einzelkennzahlen nach vier verschiedenen Kriterien:

### Statische Differenzierung

Absolute und relative Kennzahlen. Relative Kennzahlen geben einen Anteil am Ganzen an, absolute Kennzahlen beschreiben hingegen lediglich einen Zustand ohne diesen in das Verhältnis zu anderen Werten zu setzen (Werner 2014).

### Zielrichtung

Erfolgs-, Liquiditäts- und Wertsteigerungskennzahlen. Erfolgskennzahlen bewerten hauptsächlich Renditen. Im Beispiel des Return on Sales wird der Gewinn im Verhältnis zum Umsatz betrachtet. Dieser Wert gibt die Umsatzrendite wieder. Liquiditätskennzahlen beschreiben die im Unternehmen verfügbaren finanziellen Mittel sowie Zahlungsströme. Wertsteigerungskennzahlen sind Kennzahlen, die Steigerungen von Unternehmenswerten oder sonstigen wertbezogenen Kennzahlen messen (Werner 2014).

### Erfolgswirksamkeit

Strategische und operative Kennzahlen. Strategische Kennzahlen zeichnen sich durch eine hohe Erfolgswirksamkeit aus und beschreiben bzw. messen oft langfristige Sachverhalte. Operative Kennzahlen zielen auf das kurzfristige Messen von Effizienz ab, wie beispielsweise die Wirtschaftlichkeit bei logistischen Aktivitäten des Unternehmens (Werner 2014).

### Objektbezug

Leistungs- und Kostenkennzahlen. Leistungskennzahlen messen die Performance in logistischen Prozessen. Beispielsweise wird die Einhaltung qualitativer und zeitlicher Vorgaben gemessen. Kostenkennzahlen messen hingegen die Kosten, die von oben genannten Prozessen verursacht werden (Werner 2014).

### Kennzahlen in der Kommissionierung

Die VDI-Richtlinie 4990 beschäftigt sich mit operativen Logistikkennzahlen. In dieser sind auch Beispiele für Kennzahlen im Bereich der Kommissionierung aufgeführt. Die Richtlinie unterscheidet Mengen- und Strukturdaten, Leistungskennzahlen, Qualitätskennzahlen und betriebswirtschaftliche Kennzahlen (VDI-Richtlinie 4990).

Kennzahlen im Bereich der Mengen- und Strukturdaten sind beispielsweise die Anzahl der Kommissionieraufträge, die Anzahl der Auftragspositionen oder das Volumen, das Gewicht oder der Wert der kommissionierten Güter. Aus diesen Kennzahlen können abgeleitete, relative Kennzahlen gebildet werden wie beispielsweise Positionen pro Kommissionierauftrag oder Gewicht pro Position. Diese Kennzahlen werden jeweils durch Division der eingehenden Werte gebildet (VDI-Richtlinie 4990).

Leistungskennzahlen sind beispielsweise produktive Arbeitsnettozeit, Wegzeit oder Zeit pro Position. Hier wird also zum einen darauf eingegangen, was das Kommissioniersystem leistet, zum anderen kann durch Kombination der Leistungskennzahlen mit Mengen- und



Strukturdaten ermittelt werden, unter welchem Einsatz eine bestimmte Leistung zustande gekommen ist (VDI-Richtlinie 4990).

Eine Qualitätskennzahl des Bereichs Kommissionierung ist die Anzahl der Kommissionierfehler. Diese können aus verschiedenen Gründen entstehen. Beispielsweise durch falsches Greifen, Zählfehler, Einlagerfehler und den damit zusammenhängenden Artikelverwechslungen. Auch eine falsche Deklaration der Artikel im Wareneingang kann zu Kommissionierfehlern führen. Aus der Summe der entstandenen Kommissionierfehler kann eine Fehlerquote errechnet werden. Beispielsweise durch Bildung eines Quotienten mit der gesamten Anzahl der Kommissionieraufträge (VDI-Richtlinie 4990).

Eine betriebswirtschaftliche Kennzahl sind die Kommissionierkosten. Diese setzen sich aus Technik-, Material-, Raum-, Energie-, Instandhaltungs-/Wartungs-, Kapital- und sonstigen Kosten zusammen. Mit den Kommissionierkosten können, wie auch bei den vorangegangenen Kategorien, durch die Bildung von Quotienten mit Mengen- und Strukturdaten Verhältniskennzahlen gebildet werden. Diese geben die Kosten auf im Verhältnis zu den entsprechenden Größen an. Ein Beispiel hierfür ist die Bildung des Quotienten aus Kommissionierkosten und der Anzahl der Kommissionieraufträge. Auf diese Weise können die durchschnittlichen Kosten pro Kommissionierauftrag errechnet werden (VDI-Richtlinie 4990).

### **3 Reorganisation**

Um sich den eingangs geschilderten Veränderungen anpassen zu können, müssen Unternehmen zu bestimmten Zeitpunkten Reorganisationsmaßnahmen in ihren Kommissionierbereichen durchführen.

Zur Durchführung dieser Maßnahmen stehen in Abhängigkeit ihres Umfangs zwei übergeordnete Strategien zur Verfügung. Es wird zwischen der induktiven Healing- und der deduktiven Rewarehousing-Strategie unterschieden (Freichel 2002). Bei der induktiven Healing-Strategie steht die kontinuierliche Verbesserung des bestehenden Systems im Vordergrund und der Fokus liegt auf der Identifikation und der Behebung von Schwachstellen. Eine kleine Menge an Umlagerungen wird kontinuierlich im laufenden Betrieb durch freie Personalkapazitäten durchgeführt. Bei der deduktiven Rewarehousing-Strategie hingegen soll die Reorganisation durch die Umsetzung neuartiger Ideen und Konzepte erreicht werden. Es wird eine große Anzahl an Umlagerungen, z.B. bei initialer Belegung von Lagerflächen oder zyklisch durchgeführter Neugestaltung des Kommissionierbereichs durchgeführt (Freichel 2002).

In der Literatur finden sich zu beiden Strategien bereits zahlreiche Ansätze. Diese sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### **3.1 Healing-Strategien**

Jaikumar und Solomon (1990):

Die Autoren entwickeln eine Umlagerungsstrategie für Paletten. Dabei gehen sie von einem automatisierten Lagersystem und einer klassenbasierten Lagerplatzbelegung aus. Etwaige Reorganisationen beziehen sich ausschließlich auf auszulagernde Paletten und basieren auf Informationen bezüglich der Kundennachfrage für den nachfolgenden Tag (Jaikumar und Solomon 1990). Sie werden veranlasst, um den ständig schwankenden, kurzfristigen Durchsatzanforderungen an das Lager zu begegnen. Dabei sollen die zu bewegend Paletten in Zeiten geringer Auslastung in Richtung des Ein-/Auslagerungspunkts umgelagert werden, damit die Wegzeiten zur Auslagerung für das automatisierte Förderzeug während künftiger Perioden maximaler Auslastung möglichst minimal sind. Zunächst beschreiben die Autoren einige operative Aspekte, auf denen der Algorithmus gründet. Anfangs gilt es stets eine langfristige Lagerplatzzuordnung festzulegen, um die Durchsatzanforderungen bestmöglich zu erfüllen. In der Praxis ist der Lagerdurchsatz jedoch oftmals nicht gleichmäßig. Während die meisten Ein-/Auslagerungsaufträge tagsüber anfallen, ist nur eine geringe Anzahl an Aufträgen nachts zu erfüllen. In Zeiträumen hoher Nachfrage besteht folglich die Gefahr, dass es zu Engpässen kommt. Um dem entgegenzuwirken, sollte die durchschnittliche Ein-/Auslagerungszeit einer Palette durch sinnvolle Umlagerung möglichst gering gehalten werden. In diesem Zusammenhang ist zu klären, wie viele und welche Paletten während des Planungszeitraums umzulagern sind. Die Umlagerungsstrategie soll dabei anhand von Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich künftiger Auftragseingänge entwickelt werden. Dabei soll die Anzahl notwendiger Umlagerungen auf ein Minimum begrenzt werden, um einerseits den Bedarf an zusätzlichen Förderzeugen einzuschränken und andererseits die Wahrscheinlichkeit von Handhabungsschäden gering zu halten. Eine weitere operative Schwierigkeit wird beschrieben als das Problem der Echtzeitkontrolle. Dies beinhaltet die kurzfristige Zuordnung einer einzulagernden Palette zu einem freien Lagerplatz, sowie die zeitgerechte Auswahl der erforderlichen, auszulagernden Palette. Diese Vorgänge geschehen auf Basis der kurzfristigen Durchsatzanforderungen, sodass oftmals anschließend noch umgelagert werden muss. Das Problem der Echtzeitkontrolle stellt sich vor allem zu Stoßzeiten im Lager.

Im ersten Schritt des Algorithmus wird die optimale Anzahl an Umlagerungen ermittelt. Dies geschieht unter Berücksichtigung der zeitlichen Verfügbarkeit des Förderzeugs, sowie dessen mindestens erforderliche Betriebszeit zur Erfüllung der Auslagerungsaufträge.

Im zweiten Schritt wird bestimmt, ob für etwaige Umlagerungen überhaupt eine Notwendigkeit besteht. Ist zu Stoßzeiten ausreichend Zeit vorhanden, um alle Auslagerungen durchzuführen, schließt der Algorithmus. Ist dies nicht der Fall werden jene Perioden maximaler Auslastung ausgemacht, in denen die Betriebszeit des Förderzeugs nicht genügt. Im dritten Schritt wird untersucht, ob es Paletten gibt, die zusätzlich zu den im ersten Schritt erfolgten Umlagerungen, in Richtung des Ein-/Auslagerungspunkts bewegt werden können. Hierbei wird das Verhältnis zwischen der zusätzlichen Zeit für die Auslagerung der Paletten und der Zeitersparnis, die durch eine Umlagerung der Paletten in Richtung des Ein-/Auslagerungspunkts erreicht wird, betrachtet. Unter Umständen ergibt sich demnach im dritten Schritt eine neue optimale Anzahl an Umlagerungen.

Carlo und Giraldo (2010):

In den meisten Fällen werden Lagerreorganisationen während Leerlauf- oder freien Zeiten durchgeführt. Die Autoren präsentieren einen Ansatz, bei dem die Umlagerungen während des Lagerbetriebs im Zuge der Bearbeitung von Ein-/Auslagerungsaufträgen im Rahmen der sog. Rearrange-While-Working-Strategie (kurz: RWW) realisiert werden (Carlo und Giraldo 2010). Drei verschiedene Szenarien werden beleuchtet. Im ersten Fall wird davon ausgegangen, dass lediglich ein freier Lagerplatz existiert und, dass das Regalförderzeug frei verfügbar ist. Sämtliche, erforderliche Bewegungen können also ausgeführt werden. Im zweiten Fall wird wiederum ein Lager betrachtet, welches nur einen freien Lagerplatz aufweist. Nun jedoch wird die RWW-Strategie bemüht, wobei Umlagerungen während des Betriebs des Lagers erfolgen. Im letzten Fall gibt es mehrere freie Lagerplätze, so dass die RWW-Strategie nicht angewendet wird. In den letzten beiden Fällen korrespondieren mögliche Umlagerungen mit der zu bearbeitenden Auftragsliste. Lediglich jene Artikel, welche Teil eines Auftrags sind, können bewegt und damit umgelagert werden. Angenommen wird, dass sowohl gegenwärtige als auch zukünftige Lagerplatzzuordnung gegeben sind und, dass die Ladeinheit, die den angeforderten Artikel enthält wieder ins Lager zurückkehrt (Carlo und Giraldo 2010). Um im ersten Fall ausgehend von der anfänglichen zur finalen, ebenfalls bekannten Lagerplatzzuordnung zu gelangen, legen die Autoren mehrere Heuristiken dar. So wird beispielsweise im Rahmen der ersten Heuristik (H1: Evaluate all possible movements to the empty location) damit begonnen, jenen Artikel umzulagern, dessen Zielort dem anfänglich freien Lagerplatz entspricht. Dies wird fortgesetzt bis der freie Lagerplatz gemäß finaler Zuordnung an korrekter Stelle zu liegen kommt. Nun

ist es jedoch möglich, dass sich eine gewisse Anzahl an Artikeln noch nicht an richtiger Stelle befindet. Gemäß dem Namen der Heuristik werden nun alle möglichen Artikelbewegungen zum freien Lagerplatz evaluiert. Dies geschieht wiederum so lange, bis eine Übereinstimmung mit der finalen Konfiguration erreicht ist. Letztlich wird jener Weg verfolgt, der die kostenminimale Lösung darstellt. Im Rahmen der anderen Methodiken wird entsprechend zur ersten Heuristik ebenfalls damit begonnen jenen Artikel umzulagern, der auf dem anfänglich freien Lagerplatz zu liegen kommen soll. Dies wird fortgeführt, bis der freie Lagerplatz an korrekter Stelle befindlich ist. Im Zuge der zweiten Heuristik (H2: Maximum index) werden nun nach und nach jene Artikel bewegt, die dem Ein-/Auslagerungspunkt am nächsten liegen und nach dem ersten Schritt noch nicht auf ihrem finalen Lagerplatz sind. Die dritte Heuristik (H3: Closest item) sieht vor, den Artikel mit der geringsten Entfernung zum leeren Lagerplatz auszuwählen. Bei der vierten Heuristik (H4: Closest to its final location) ist die Distanz des Artikels zu seinem Zielort das entscheidende Kriterium für die Abfolge der Umlagerung. Im zweiten Fall sind die Artikelbewegungen an die, in den Aufträgen gelisteten, auszulagernden Produkte gebunden. Auch die Abfolge der Umlagerungen ist durch den Auftrag vorgegeben (Carlo und Giraldo 2010). Nachdem die Auslagerung des gewünschten Artikels stattgefunden hat, gilt es die Ladeinheit wieder ins Lager zu bringen. Aufgrund des Vorhandenseins lediglich eines freien Lagerplatzes gibt es an diesem Punkt zwei Möglichkeiten. Entweder erfolgt die Einlagerung an ursprünglicher Stelle oder am leeren Lagerplatz. Die größte Herausforderung liegt also in der Erkennung, welche Option zu einer Annäherung an die gewünschte Konfiguration führt. Sehr wahrscheinlich kommt der Artikel auf Basis dieses Szenarios nicht am gewünschten Lagerplatz zu liegen. Es ist demnach eine Bewertung vorzunehmen, inwieweit eine Übereinstimmung zwischen der gewünschten und der aktuellen Lagerplatzzuordnung vorliegt. Die Autoren schlagen vor dies mittels der Heuristik H3 aufgrund der geringsten Rechenzeit zu tun. Abschließend wird der dritte Fall betrachtet. Theoretisch wäre es für jede Ladeinheit des jeweils ausgelagerten Artikels vonnöten, den optimalen freien Lagerplatz ausfindig zu machen. Aufgrund der Komplexität des Problems schlagen die Autoren einen Ansatz vor, der quasi identisch ist zu jener Lösung des zweiten Falls. Bei der Einlagerung der Ladeinheit muss demnach entschieden werden, ob sie zurück zur ursprünglichen Stelle oder zu jenem freien Lagerplatz, der ihrem Zielort am nächsten liegt, gelangen soll.

Chen (2011):

Dieses Modell stellt eine Erweiterung des Ansatzes von Jaikumar und Solomon dar.

Wiederum soll eine optimale Umlagerungsstrategie in einem dynamischen Lager entwickelt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass das automatisierte Förderzeug bei jeder Fahrt

lediglich eine Operation, entweder Ein- oder Auslagerung, vornimmt. Zudem ist die gewünschte Belegung aller Lagerplätze, das heißt die finale Lagerplatzzuordnung bekannt (Chen et al. 2011). Auch dieser Ansatz zielt darauf ab, Umlagerungen in Zeiten geringer Auslastung durchzuführen, um etwaige Engpässe hinsichtlich der Verfügbarkeit des automatisierten Förderzeugs zu Stoßzeiten zu vermeiden. Chen et al. erweitern das Modell, indem sie nun auch die Reorganisation einzulagernder Einheiten berücksichtigen. In der Praxis laufen diese Umlagerungen dergestalt ab, dass die Güter während Zeiten maximaler Auslastung vorübergehend nahe des Ein-/Auslagerungspunkts eingelagert werden, um dann in Zeiten geringerer Auslastung zum finalen Lagerplatz bewegt zu werden. In diesem Zusammenhang muss beurteilt werden, welche Einheiten umgelagert und wohin sie bewegt werden müssen. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder wird eine auszulagernde Einheit in Richtung des Ein-/Auslagerungspunkts umgelagert oder wird eine einzulagernde Einheit temporär auf einem freien Lagerplatz mit geringerer Distanz zum Ein-/Auslagerungspunkt zwischengelagert und zu späterem Zeitpunkt zum gewünschten Lagerplatz bewegt (Chen et al. 2011). Im Falle, dass der Arbeitsanfall durch Umlagerungen zu freien Lagerplätzen nicht ausreichend reduziert werden kann, müssen bereits belegte Lagerplätze freigemacht werden, um die erforderliche Reorganisation zu ermöglichen (Chen et al. 2011). Um die gewünschte Lagerplatzzuordnung jedoch nicht zu verletzen, wird der durch die einzulagernde Einheit belegte Lagerplatz von dieser schnellstmöglich wieder befreit. Auch wird eine, in Richtung eines freien Lagerplatzes bewegte Einheit bei nächster Gelegenheit, bevor dieser durch eine andere Einheit belegt wird, zu ihrem ursprünglichen Platz zurückbewegt. Nachdem das Prinzip des Modells erklärt wurde, soll nun näher auf die Heuristik eingegangen werden. Es handelt sich hierbei um eine zweistufige Methode. In der ersten Stufe findet ein Algorithmus Anwendung, um die umzulagernden Einheiten ausfindig zu machen. In der zweiten Stufe gilt es, die ausgewählten Ladeeinheiten den Lagerplätzen zuzuordnen. Es ist dabei also ein Zuordnungsproblem zu lösen, für eine optimale Lösung dieses Problems schlagen die Autoren den Einsatz der „Ungarischen Methode“ vor. Dabei handelt es sich um einen Algorithmus zur Lösung gewichteter Zuordnungsprobleme, die Gewichtung erfolgt dabei gemäß der Wegzeiten zwischen Ein-/Auslagerungspunkt und dem jeweiligen Lagerplatz. Übergeordnetes Ziel ist die Minimierung der gesamten Umlagerungszeit. In der ersten Stufe des Algorithmus wird im ersten Schritt der Arbeitsanfall, ausgehend von der anfänglichen Lagerplatzzuordnung für jede Periode maximaler Auslastung ermittelt. Im zweiten Schritt wird versucht, die am weitesten entfernte ein- oder auszulagernde Ladeeinheit zu jenem freien Lagerplatz umzulagern, der dem Ein-/Auslagerungspunkt am nächsten liegt. Kann der Arbeitsanfall auf diese Weise nicht weiter reduziert werden, versucht der Algorithmus im dritten Schritt die Ladeeinheiten zu bereits

belegten Lagerplätzen umzulagern. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Einheiten zu einem Platz bewegt werden, der dem Ein-/Auslagerungspunkt näher liegt als der ursprüngliche. Im vierten Schritt findet eine Verifizierung der Lösung statt. Abschließend stellt der fünfte Schritt eine vorbereitende Maßnahme für die zweite Stufe des Algorithmus dar. Dies geschieht, indem sowohl sämtliche ursprünglich freien Lagerplätze als auch die Gesamtheit aller ursprünglich belegten Lagerplätze abschließend nochmals dargestellt werden. In der zweiten Stufe des Algorithmus wird nun ermittelt, welche Einheit zu welchem Lagerplatz umgelagert werden soll. So ist zwar gegeben, welche Lagerplätze abschließend belegt sein sollen, jedoch ist nicht definiert durch welche konkrete Einheit. Ziel ist es die Umlagerung so zu gestalten, dass die Gesamtumlagerungszeit und die Zeit, die dafür aufgebracht werden muss, belegte Lagerplätze freizumachen, minimiert werden.

Neuhäuser (2013)

Seinen Fokus richtete Neuhäuser auf die manuelle Kommissionierung im Bereich des Lebensmittelhandels und entwickelte eine Methodik zur Reorganisation von Artikeln, um sie hinsichtlich Stabilitätskriterien einzulagern. Durch Reorganisationsmaßnahmen soll der Umpackaufwand während und nach der Kommissionierung reduziert werden.

Mit Hilfe von Simulationen und einer anschließenden Validierung konnte bewiesen werden, dass unter anderem die Kommissionierleistung in einem funktionalen Zusammenhang zum Lagerorganisationsgrad steht (Neuhäuser 2013).

### **3.2 Rewarehousing-Strategien**

Christofides und Colloff (1973)

Die Autoren entwickelten einen zweistufigen Algorithmus, der darauf abzielt, eine optimale Abfolge der Artikelumlagerungen hinsichtlich Kosten und Zeit zu generieren (Christofides und Colloff 1973). Dabei gehen sie von verschiedenen Annahmen und Bedingungen aus. So wird sowohl die Ausgangsanordnung der Artikel als auch die gewünschte, optimale Endanordnung der Lagereinheiten als gegeben angenommen. Außerdem werden lediglich solche Artikel betrachtet, die bei ihrer Umlagerung Teil eines Umlagerungszyklus sind.

Als weitere restriktive Bedingung laufen diese Umlagerungszyklen nacheinander ab, ein simultaner Ablauf mehrerer Umlagerungen ist nicht gestattet. Zudem ist zu erwähnen, dass lediglich ein Fördermittel zum Einsatz kommt, welches nur einen einzelnen Artikel mitführen kann. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit einen Behelfsplatz einzurichten, an dem die Artikel zwischenzeitlich abgelegt werden können. Jeder Lagerplatz kann nur einfach besetzt werden. Mithilfe des Algorithmus soll nun die optimale, d.h. die kostenminimale Art

und Weise bestimmt werden, Lagereinheiten, ausgehend von einer gegebenen Lagerplatzbelegung in eine gewünschte Artikelanordnung umzulagern.

In der ersten Stufe des Lösungsansatzes wird innerhalb der einzelnen Zyklen bestimmt, in welcher Reihenfolge die einzelnen Lagerplätze idealerweise anzufahren sind, zudem wird der optimale Start- bzw. Endpunkt des Fördermittels errechnet. Die zweite Stufe der Heuristik beabsichtigt, die optimale Abfolge, in welcher die einzelnen Zyklen bearbeitet werden, herauszufinden. Ziel ist es dabei, die Wegstrecke vom Ende des einen Zyklus bis zum Beginn des nächsten zu minimieren.

Hackman et al. (1990)

Dieser Ansatz beschäftigt sich mit der Einrichtung einer Schnellläuferzone und einer Nachschubzone in einem Lager. Eine solche Einteilung vorzunehmen, ist vor allem auf zwei Gründe zurückzuführen. Oftmals weist die Schnellläuferzone eine zu geringe Kapazität auf, um alle verfügbaren Artikel aufnehmen zu können. Dies ist häufig auch der Tatsache geschuldet, dass zum einen die Zone an sich eher auf einen kleinen Raum beschränkt ist, zum anderen, dass der Raumnutzungsgrad nicht besonders hoch ist, um Fehlgriffe zu vermeiden und ein effizientes Kommissionieren zu ermöglichen. Zudem besteht über das gesamte Produktsortiment betrachtet keine gleichmäßige Nachfrage. So gibt es Artikel, sog. Schnelldreher, die nahezu täglich nachgefragt werden, andere Produkte hingegen gilt es nur sehr selten auszulagern. Um nun Platz zu schaffen für die Schnelldreher wird eine Nachschubzone eingerichtet, der die Langsamdreher zugeordnet werden (Gu 2005). Im Rahmen der Veröffentlichung geht es darum, welche Artikel der Schnellläuferzone zugewiesen werden sollten. Auch gilt es die passende Quantität herauszufinden, um den Nutzen einer Anordnung in der Schnellläuferzone zu maximieren (Hackmann et al. 1990).

Muralidharan et al. (1995)

Dieser Ansatz geht von einem Zuordnungsproblem in einem automatisierten Ein-/Auslagerungssystem aus. Dabei werden einkommende Artikel ausschließlich auf Paletten gelagert. Anschließend werden die einzelnen Paletten mittels IT-Unterstützung auf Basis der zur Verfügung stehenden Lagerplätze und des Produkttyps einem Lagerort zugeordnet. Dies kann wie bereits beschrieben auf verschiedenste Weise ablaufen. Im Rahmen dieses Ansatzes sind lediglich die chaotische und die teilchaotische Einlagerung von Bedeutung. Die Autoren schlagen eine Heuristik vor, welche die Vorteile beider Einlagerungsstrategien zu kombinieren versucht (Muralidharan et al. 1995). Bei der teilchaotischen Herangehensweise ist dabei die Umschlagshäufigkeit das entscheidende Kriterium für die Bildung der Klassen. Artikel mit einer hohen Umschlagshäufigkeit werden in einer Klasse

nahe dem Ein-/Auslagerungspunkt eingelagert. Im Vergleich zur chaotischen Einlagerung hat diese Strategie den Vorteil kürzerer Wegzeiten. Die chaotische Vorgehensweise erfordert jedoch einen weitaus geringeren Raumbedarf, zudem haben Änderungen bezüglich der Umschlagshäufigkeit keinen Einfluss. Die genannten Vorteile beider Strategien werden nun dergestalt miteinander verknüpft, dass zunächst stets eine willkürliche Zuordnung der Artikel zu den Lagerplätzen vorgenommen wird und anschließend in Leerlaufzeiten des automatischen Förderzeugs jene Artikel mit hoher Umschlagshäufigkeit in Richtung Ein-/Auslagerungspunkt umgelagert werden. Um die kürzest mögliche Route zur Umlagerung zu identifizieren, werden zwei Ansätze präsentiert. Zum einen wird hier die Heuristik des nächstgelegenen Artikels (*Shuffling with nearest neighbor heuristic*, kurz: *SNN*), zum anderen bieten die Autoren eine Einfüge-Heuristik an, welche als *shuffling with insertion* (kurz: *SI*) bezeichnet wird.

Bindi et al. (2009)

Dieser Ansatz verfolgt die Absicht, durch eine besondere Form der Lagerplatzzuordnung die, für den Kommissionierer zurückzulegende Wegstrecke zu minimieren und damit den Durchsatz des Lagers zu erhöhen. Das Modell lässt sich dabei sowohl auf manuelle als auch auf automatisierte Systeme anwenden. Die Arbeit hat zum Ziel, auf Basis der Anwendung eines eigens entwickelten Ähnlichkeitskoeffizienten und dem Gebrauch spezieller Clustertechniken, bestimmte Regeln für die Lagerplatzzuordnung festzulegen (Bindi et al. 2009). Im Mittelpunkt dieses Ansatzes steht die Strategie der Lagerplatzbelegung gemäß Teilefamilien bzw. nach Clustern. Die Autoren präsentieren ein systematisches Vorgehen zur Erreichung einer Lagerplatzzuordnung mit minimalen Wegzeiten bei der Kommissionierung. Diese Methode besteht aus zwei aufeinander aufbauenden Prozessen, die wiederum jeweils zwei Phasen beinhalten. In der ersten Phase des ersten Prozesses, der Korrelationsanalyse, wird der Grad der Korrelation bzw. die Ähnlichkeit der vorhandenen Produkte ermittelt. Um diese Größe zu quantifizieren, existieren mehrere Möglichkeiten bzw. Ähnlichkeitsindizes. Bezüglich dieser Indizes lässt sich zwischen zwei Haupttypen unterscheiden. Beim ersten Typ wird die Ähnlichkeit einzig daran gemessen, ob verschiedene Produkte dem gleichen Auftrag angehören. Beim zweiten Typ wird die Ähnlichkeit anhand von Produktions- oder Logistikinformationen ermittelt. Die Autoren stellen in diesem Zusammenhang einen eigens entwickelten Index vor. In der zweiten Phase, der Clusteranalyse, werden die einzelnen Produkte dann verschiedenen Clustern zugeordnet, sodass sie innerhalb der Cluster möglichst hohe Ähnlichkeitswerte aufweisen. Der zweite Prozess beginnt in der ersten Phase mit der Erstellung einer Prioritätenliste. Hierbei werden die generierten Cluster innerhalb des Lagers zugeordnet. Die Autoren stellen Zuordnungsregeln zur Verfügung. So



gibt es hier beispielsweise die clusterbasierte Regel, bei der die sog. Clusterstärke (=Anzahl der Artikel eines Clusters) entscheidend ist. Diese wird definiert durch die Anzahl der Produkte, die einem Cluster angehören. Die Anordnung der Cluster im Lager erfolgt entsprechend ihrer Stärke aufsteigend. Jenes Cluster mit minimaler Stärke wird folglich nahe des Ein-/Auslagerungspunktes gelagert, größere Cluster werden tendenziell dem hinteren Bereich des Lagers zugeordnet. Eine zweite Regel wird als cluster- und umschlagbasierte Regel bezeichnet. Ausschlaggebend für die Anordnung der Cluster ist dabei das Verhältnis aus der Anzahl der Bewegungen des Produkts und dessen durchschnittlichem Lagerbestand. In der letzten Phase dieses systematischen Ansatzes werden operative Problemstellungen und Fragen hinsichtlich des Layouts geklärt. Beispiele wären die Gestaltung der Gänge oder die Festlegung der Kapazität des Förderzeugs.

Wutthisirisart (2010)

Dieses Modell versucht Artikelinterdependenzen auszunutzen, um die Wegstrecken für den Kommissionierer zu reduzieren. Es nutzt dabei das sog. Konzept der linearen Platzierung (*Concept of Linear Placement*), welches vorwiegend im Bereich der Informations- und Elektrotechnik verbreitet ist. Dieses Konzept zielt darauf ab, in einer Beziehung stehende, elektronische Elemente auf einer Platine so anzuordnen, dass ihre Distanz zueinander minimal wird (Wutthisirisart 2010). Aufgrund der Tatsache, dass bei diesem Vorhaben die Anordnung von Elementen auf Grundlage ihrer Beziehung zueinander im Mittelpunkt steht, erscheint der Ansatz geeignet, um auf Lagerplatzzuordnungsprobleme übertragen zu werden. Der Autor entwickelt einen zweistufigen sog. Minimum Delay Algorithm (*kurz: MDA*), der beabsichtigt, die Verzögerung bei der Bearbeitung eines Auftrags durch geschickte Lagerplatzzuordnung zu reduzieren. In die Überlegungen miteinbezogen werden soll, inwieweit die Artikel in einer Beziehung zueinander stehen bzw. wie oft mehrere Artikel gemeinsam nachgefragt werden (Wutthisirisart 2010).

Neben den Beziehungen zwischen den Artikeln hat auch die Größe der Liste von Aufträgen einen Einfluss auf die Wegstrecke. Mit zunehmender Problemgröße nimmt auch die Komplexität der Korrelationen zu. So besteht die Möglichkeit, dass eine Minimierung der Wegstrecke für einen einzelnen Auftrag Auswirkungen auf andere Aufträge aus der Liste hat, dergestalt, dass die Wegstrecke für jene Aufträge größer wird. Auch diesem Zusammenhang wird in beschriebenem Ansatz Rechnung getragen.

Kovács (2011)

Hier wird das Problem der Lagerbelegung für ein Lager betrachtet, von dem aus Artikel in Milkruns an die einzelnen Produktionsbereiche verteilt werden (Kovács 2011). Bei diesem Konzept zirkuliert ein Förderzeug gemäß einem vordefinierten Ablaufplan und versorgt die einzelnen Bereiche exakt nach ihrem jeweiligen Bedarf. Dieses Verfahren dient der innerbetrieblichen Logistik, indem die Fertigungsstationen bedarfsgerecht versorgt werden. Das Augenmerk der Ausführungen liegt auf der Bearbeitung der Kommissionieraufträge durch mehrere Mitarbeiter und weniger auf der Konzeption der Milkruns. Ein einzelner Auftrag wird dabei immer von mehreren Kommissionierern gleichzeitig bearbeitet. Jeder Arbeitskraft wird dabei eine bestimmte Zone des Lagers zugeordnet, die kommissionierten Artikel werden dann in einem Wagen zu einem Sammelplatz gebracht, ehe sie im Rahmen eines Milkruns verteilt werden. Der Ansatz zielt darauf ab, ein klassenbasiertes Zuordnungsproblem zu lösen, indem die Zuweisung der Artikel zu den vordefinierten Zonen optimiert werden soll. Dabei tritt ein Zielkonflikt auf. Ein Ziel besteht darin, die Durchlaufzeit der Aufträge zu minimieren. Zudem wird beabsichtigt, den durchschnittlichen Kommissionieraufwand, der sich aus der Summe der einzelnen Kommissionierzeiten ergibt, zu reduzieren. Zwischen diesen beiden Größen besteht eine gegenläufige Abhängigkeit. Es kann demnach der Fokus auf die Minimierung einer der beiden Kriterien gelegt werden oder versucht werden, eine gewichtete Summe der beiden zu bilden und diese zu reduzieren. Über ein vom Autor vorgeschlagenes mathematisches Modell lässt sich die diametrale Abhängigkeit steuern. Durch Auffinden des optimalen Tradeoffs zwischen den beiden Kriterien lässt sich die Kommissionierleistung steigern. Auch werden im Rahmen dieses Modells Korrelationen zwischen den Artikeln berücksichtigt.

So werden auf Basis von Nachfragewahrscheinlichkeiten jene Artikel zusammengefasst, die im Rahmen eines Milkruns häufig gemeinsam nachgefragt werden (Kovács 2011). Gegenüber einer Artikelanordnung gemäß COI lassen sich durch Anwendung des mathematischen Modells, abhängig vom vorrangigen Kriterium bezüglich Durchlaufzeit der Aufträge oder hinsichtlich des Kommissionieraufwands, Einsparungen von bis zu 38 Prozent erzielen.

Kofler et al. (2012)

Dieses Modell findet in einer dynamischen Umgebung Anwendung, die beispielsweise durch saisonale Schwankungen oder variierende Kundenaufträge geprägt ist. Es wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem durch tägliche Umlagerung nur weniger Produkte eine schrittweise Optimierung der Lagerbelegung erreicht wird (Kofler et al. 2012). Der Ansatz berücksichtigt bei der Lagerplatzzuordnung zwei verschiedene Faktoren. Das sog. PF/PA Slotting (Pick

Frequency Score/Part Affinity Score) nimmt sowohl Bezug auf die Entnahmehäufigkeit eines Produkts als auch auf die Teileaffinität. Das Modell zielt darauf ab, Artikel, die stärker nachgefragt sind in günstigen Lagerzonen zu platzieren. Jene Artikel, die häufig gemeinsam angefordert werden, sprich eine gewisse Affinität aufweisen, sollen zudem nah beieinander gelagert werden. Zur Bewertung des Lagerplatzes eines Produkts stellen die Autoren zwei Kennzahlen vor. Dies ist zum einen der Pick Frequency Score (kurz: PF), dieser multipliziert die mittlere Entfernung zum Ein-/Auslagerungspunkt mit der relativen Entnahmehäufigkeit. Zum anderen ist der Part Affinity Score (kurz: PA) von Bedeutung. Er multipliziert die mittlere Entfernung zweier Artikel, unter Berücksichtigung aller möglichen Lagerplatzpaare, mit der relativen Teileaffinität (Kofler et al. 2012). Die Bewertung der Qualität einer Lagerbelegung erfolgt auf Basis dieser beiden Kennzahlen. Mithilfe zweier Parameter kann zudem geregelt werden, welche Wichtigkeit der Entnahmehäufigkeit und welche der Teileaffinität zukommen soll.

## 4 Vorgehensweise der Projektbearbeitung

Die Entwicklung der Methodik ist, wie in Abbildung 8 dargestellt, in fünf Arbeitspakete sowie unterteilt. Zusätzlich dazu erfolgten die Erstellung des Abschlussberichtes sowie die Öffentlichkeitsarbeit und der Ergebnistransfer. Im Rahmen des ersten Arbeitspaketes wird anhand eines entwickelten Interviewleitfadens der Zustand des Kommissioniersystems erfasst und bewertet. Im zweiten Arbeitspaket soll die Methodik zur Durchführung der Reorganisationsmaßnahmen erstellt und im dritten Arbeitspaket um eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ergänzt werden. Basis für die Entwicklung der Methodik soll ein Vergleich mit den bisherigen Ansätzen zur Durchführung von Reorganisationsmaßnahmen sein. Im vierten Arbeitspaket erfolgt die Validierung der Methodik. Die Nutzbarmachung zur Implementierung erfolgt anschließend daran im fünften Arbeitspaket.

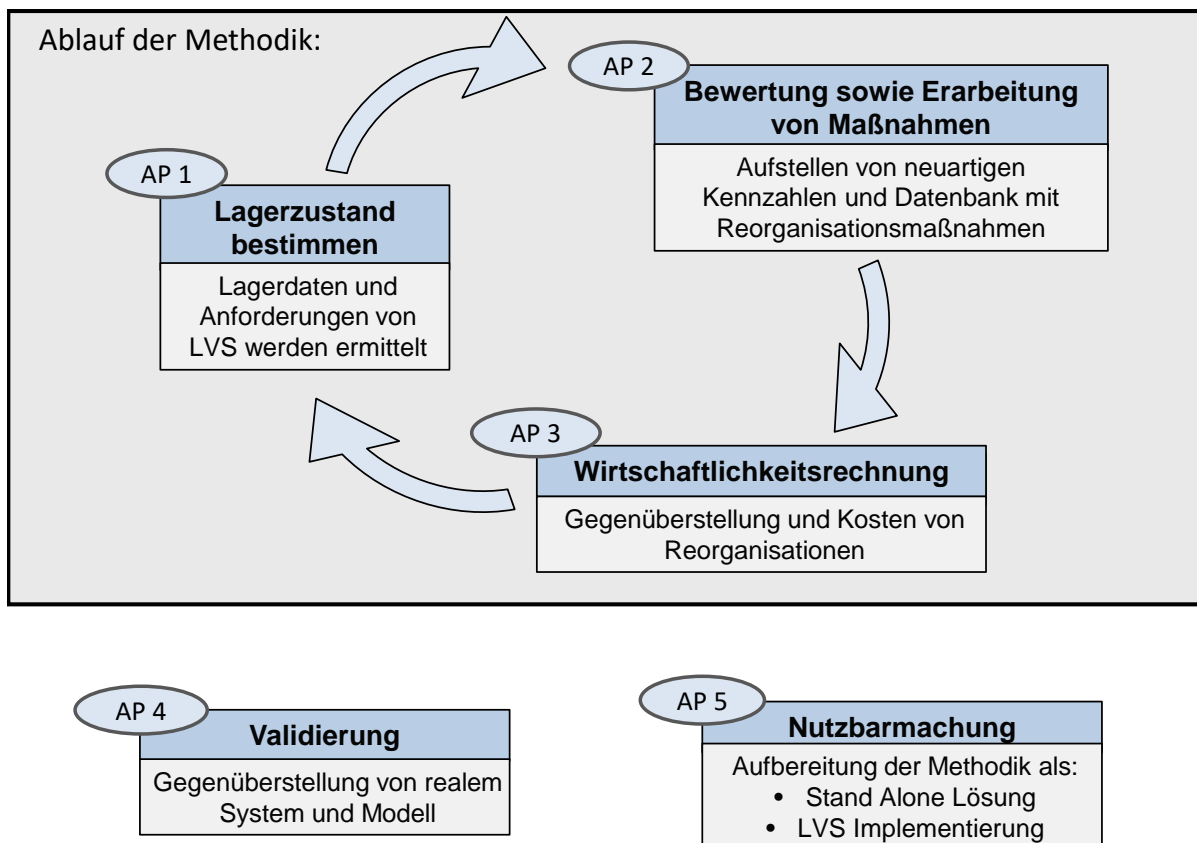


Abbildung 8: Vorgehensweise und Arbeitspakete

### 4.1 AP1 Ermittlung und Aufnahme von Kennzahlen

Mit Hilfe eines spezifischen Interviewleitfadens wurden die Kommissioniersysteme mit den dazugehörigen Kennzahlen der im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Unternehmen erfasst. Durch die strukturierte und umfassende Erhebung konnten alle benötigten Daten erhoben werden. Ein Vorteil der Nutzung eines Interviewleitfadens ist die zielgerichtete und

einheitliche Vorgehensweise bei der Erfassung der benötigten Informationen. Der Fokus wurde bei den erfassten Kennzahlen auf diejenigen gelenkt, die unter anderem eine Aussage über den Reorganisationsbedarf eines Kommissioniersystems treffen können.

Durch den Interviewleitfaden werden folgende Kennzahlen zur Bewertung des Kommissioniersystems erfasst:

<b>Kennzahl/Information</b>	<b>Berechnung/Anmerkungen</b>
Anzahl Komm.-Lagerplätze gesamt	Aus Stammdaten
Anzahl Komm.-Lagerplätze frei	Aus Bewegungsdaten
Anzahl Komm.-Lagerplätze belegt	Aus Bewegungsdaten
Anzahl Reserveplätze gesamt	Aus Stammdaten
Anzahl Reserveplätze frei	Aus Bewegungsdaten
Anzahl Reserveplätze belegt	Aus Bewegungsdaten
Belegungsgrad Kommissionierplätze	Anzahl Komm.-Lagerplätze belegt / Anzahl Reserveplätze gesamt
Belegungsgrad Reserveplätze	Anzahl Reserveplätze belegt / Anzahl Reserveplätze gesamt
Lagerorganisationsgrad	Info. ob Lagerplatz richtig oder falsch ist
Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag	Arbeitszeit Kommissionierung / Anzahl Kommissionieraufträge
Zurückgelegte Strecke pro Auftrag	Anhand Layout
Wegzeit pro Auftrag	Zeiterfassung
Zeit pro Position	Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag / Anzahl Positionen
Weg pro Position	Zurückgelegte Strecke pro Auftrag/Anzahl Positionen
Zeit pro Entnahme	Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag / Anzahl Entnahmen
Anfahrtshäufigkeit Lagerplatz	-

Kennzahl/Information	Berechnung/Anmerkungen
Zeitbedarf durchgeführter Umlagerungen	-
Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag	Arbeitszeit Kommissionierung / Anzahl Kommissionieraufträge
Sortimentsgröße	-
Umschlaghäufigkeit	Wie oft wird der mittlere Lagerbestand in einem Lager pro Jahr umgeschlagen?
Artikelkorrelation	Welche Artikel werden gemeinsam kommissioniert?
Verweildauer der Artikel	-
Vorhersagbarkeit der Nachfrage	-
Saisonalität der Artikel	-

Tabelle 1: Kennzahlen des Interviewleitfadens

Durch die Wahl dieser Kennzahlen und der Gliederung des Interviewleitfadens erfolgte eine systematische und umfassende Erfassung der betrachteten Kommissioniersysteme.

Bei der Auswertung der Bewegungsdaten bestätigten sich die zu Beginn der Projektbearbeitung gestellten Hypothese und die Erfahrung der Projektpartner, dass ausgewählte Kennzahlen auf einen Reorganisationsbedarf hindeuten können.



Abbildung 9: Indikatoren für den Reorganisationsbedarf

So steigt, wie in Abbildung 9 dargestellt, der Kommissionierweg an, da sich Artikel aufgrund einer geänderten Nachfrage an einem nicht optimalen, weit von der Kommissionierbasis entfernten, Platz befinden. Damit zusammenhängend ist ein Anstieg der Durchlaufzeit der Kommissionieraufträge zu verzeichnen. Bei detaillierter Betrachtung steigt somit auch die Kennzahl „Zeit pro Position“ an. Bei globalerer Betrachtung kann ein Absinken der Kennzahlen „Warenumsschlag“ und „Positionen pro Arbeitszeit“ als Indikator zur Beurteilung des Reorganisationsbedarfs herangezogen werden.

Ergebnis laut Forschungsantrag	Im Forschungsprojekt erzielt Ergebnis
Aufnahme von Daten bei Partnerunternehmen und Generierung von Kennzahlen auf Basis dieser Daten und ihrer Zusammenhänge.	Die Stamm- und Bewegungsdaten der Kommissioniersysteme wurden erfasst und Kennzahlen bestimmt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse

#### **4.2 AP2 Erstellung einer Methodik zur Durchführung von Umlagermaßnahmen**

Die Auswertung der Stamm- und Bewegungsdaten eines der Kommissioniersysteme der am Projekt beteiligten Unternehmen zeigte bei ersten Untersuchungen einen Reorganisationsbedarf in Bezug auf die Zuteilung der Artikel auf die in diesem Kommissioniersystem definierten Zonen.

Die folgende Abbildung 10 zeigt die Entnahmehäufigkeit der Artikel, welche sich in vier verschiedenen Zonen befinden.

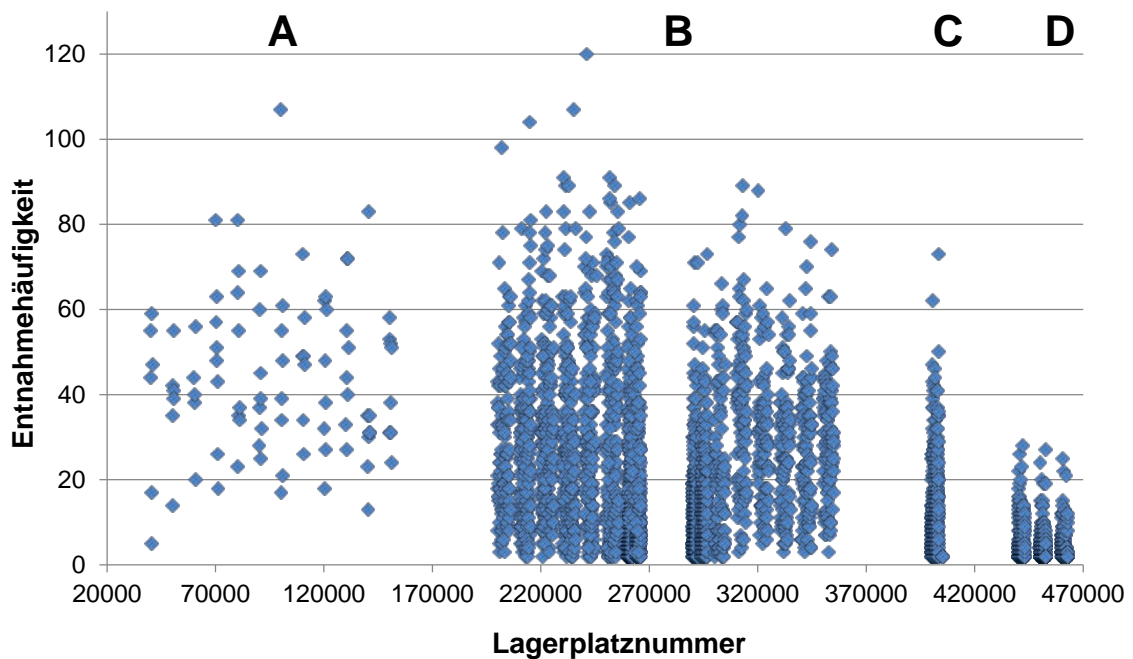


Abbildung 10: Entnahmehäufigkeit der Artikel aus vier Zonen

Die Artikel werden in Abhängigkeit der Nachfrage einer der vier Zonen zugeordnet. Artikel mit einer sehr hohen Nachfrage befinden sich in der A-Zone, welche sich über die Regalfächer mit den Nummern 20.000 bis 170.000 erstreckt. Daran anschließend befinden sich die Artikel mit der zweithäufigsten Nachfrage in der B-Zone in den Regalfächern mit den Nummern 200.000 bis 350.000. Artikel mit einer geringeren Nachfrage befinden sich in der dritten Zone der C-Artikel. Die Artikel mit der geringsten Nachfrage werden in der Zone der D-Artikel in den Regalfächern 440.000 bis 470.000 eingelagert. Wie in der Abbildung 10 zu erkennen ist, weicht die Nachfrage einiger Artikel von anderen derselben Zone ab. So befinden sich Artikel in der B-Zone, welche sich aufgrund der relativ hohen Nachfrage in der A-Zone befinden sollten. Auf der anderen Seite befinden sich jedoch auch nachfrageschwache Artikel in der A-Zone und belegen dort Lagerplätze, die für nachfragestarke Artikel verfügbar sein sollten.

Wie in Kapitel 4 vorgestellt, finden sich in der Literatur zahlreiche Verfahren zur Reorganisation von Kommissioniersystemen. Die Verfahren unterscheiden sich stark und eignen sich teilweise nur für bestimmte Anwendungsfälle. Die folgende Tabelle 3 zeigt die Autoren von Reorganisationsansätzen mit den zugrundeliegenden Problemstellungen.

Autor/Jahr	Problemstellung
Christofides und Colloff (1973)	Ausgangs- und Endanordnung bekannt: optimale Abfolge der Artikelumlagerungen bzgl. Kosten generieren.



Jaikumar und Solomon (1990)	Reorganisation auszulagernder Einheiten in Zeiten geringer Auslastung, um künftige Engpässe hinsichtlich der Verfügbarkeit des Förderzeugs zu bewältigen.
Hackman et al. (1990)	Einrichtung einer Schnellläuferzone und einer Nachschubzone im Lager zur Minimierung der anfallenden Kosten.
Muralidharan et al. (1995)	Zunächst willkürliche Einlagerung der Artikel, in Leerlaufzeiten. Klassenbasierte Umlagerung gemäß Umschlagshäufigkeit.
Bindi et al. (2009)	Zur Minimierung der Wegzeiten erfolgt die Lagerbelegung gemäß Clustern, die auf Basis eines eigenen Ähnlichkeitsindex gebildet werden.
Wutthisirisart (2010)	Ausnutzung von Artikelabhängigkeiten zur Minimierung der Kommissionierzeiten.
Carlo und Giraldo (2010)	Rearrange-While-Working-Strategie: Umlagerung während der Bearbeitung von Aufträgen; Ausgangs- und Endanordnung sind dabei bekannt.
Chen et al. (2011)	Vorübergehende Umlagerungen ein- und auszulagernder Einheiten, um Stoßzeiten gerecht zu werden; Ausgangs- und Endbelegung sind bekannt.
Kovács (2011)	Gleichzeitige Bearbeitung eines Auftrags durch mehrere Kommissionierer, die jeweils eine Zone im Lager bearbeiten; Versorgung der Stationen im Werk mit den Artikeln erfolgt in Milkruns.
Kofler et al. (2012)	Optimierung der Lagerbelegung durch Berücksichtigung von Entnahmehäufigkeit und Teileaffinität.
Neuhäuser (2013)	Optimierung der Lagerbelegung hinsichtlich der Einhaltung von Stabilitätskriterien im Einzelhandel.

Tabelle 3: Verfahren zur Reorganisation

Um die vorgestellten Verfahren miteinander vergleichen zu können, wurden Merkmale identifiziert, anhand derer ein detaillierter Vergleich erfolgen soll.

Ein zentrales Merkmal der Verfahren ist der Umfang der Umlagermaßnahmen. Dieser spiegelt sich darin wider, ob die Artikel im Kommissioniersystem komplett neu aus und wieder eingelagert werden (Rewarehousing) oder lediglich einzelne Reorganisationsmaßnahmen durchgeführt werden (Healing) (Kofler et al. 2011). Einige der Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die Artikelkorrelation bei den Kommissionieraufträgen berücksichtigt wird und die Artikel dementsprechend eingelagert werden. Auch hinsichtlich des Zeitpunktes der Umlagermaßnahmen lassen sich die einzelnen Verfahren unterscheiden. So können Umlagermaßnahmen im laufenden Betrieb oder in Leerlaufzeiten bzw. außerhalb des eigentlichen Betriebs durchgeführt werden. Auch lassen sich die Verfahren in Bezug auf das Kommissioniersystem unterscheiden. So eignen sich manche Verfahren für automatisierte Kommissioniersysteme, andere wiederum für manuelle. Auch die Vergabe der Lagerplätze wird beim Vergleich der Verfahren berücksichtigt. So sind einige Verfahren für eine zonierte Lagerplatzvergabe mit zwei Zonen vorgesehen, andere beschränken sich auf eine feste Lagerplatzvergabe. Des Weiteren berücksichtigt beispielsweise das Verfahren von Bindi et al. eine Lagerplatzvergabe basierend auf einer Clusteranalyse (Bindi et al. 2009). Ein organisatorisches Unterscheidungsmerkmal ist die Durchführung der Umlagermaßnahmen im Rahmen von Umlagerzyklen, in denen die Maßnahmen durchgeführt werden (Christofides und Colloff 1973). In Abhängigkeit des Aufwands lassen sich die Verfahren hinsichtlich der Anzahl der Kommissionierer bzw. Mitarbeiter unterscheiden, die diese Umlagermaßnahmen durchführen sollen. So werden in manchen Ansätzen die Umlagerungen lediglich von einem Mitarbeiter erledigt (Bindi et al. 2009; Wutthisirisart 2010; Kofler et al.).

Die folgende Tabelle zeigt, auf welche Verfahren die Merkmale zutreffen. Eine positive Übereinstimmung ist mit „J“ markiert, trifft ein Merkmal nicht zu, steht in dem entsprechenden Feld ein „N“. Fragezeichen in der Tabelle bedeuten, dass der Autor zu diesem Kriterium keine eindeutige Aussage getroffen hat.

	Christofides/Colloff (1973)	Jaikumar/Solomon (1990)	Hackman et al. (1990)	Muralidharan et al. (1995)	Bindi et al. (2009)	Wutthisirisart (2010)	Carlo und Giraldo (2010)	Chen et al. (2011)	Kovács (2011)	Kofler et al. (2012)	Neuhäuser (2013)
Rewarehousing-Verfahren	J	N	J	J	J	J	N	N	J	J	N

	Christofides/Colloff (1973)	Jaikumar/Solomon (1990)	Hackman et al. (1990)	Muralidharan et al. (1995)	Bindi et al. (2009)	Wutthisirisart (2010)	Carlo und Giraldo (2010)	Chen et al. (2011)	Kovács (2011)	Kofler et al. (2012)	Neuhäuser (2013)
Healing-Verfahren	N	J	N	N	N	N	J	J	N	N	J
Berücksichtigung von Artikelkorrelationen	N	N	N	N	J	J	N	N	J	J	N
Umlagerung während des Betriebs	N	N	N	N	?	?	J	N	?	?	J
Umlagerung in Leerlaufzeiten	J	J	J	J	?	?	?	J	?	?	N
Manuelles System	N	N	N	N	J	J	N	N	J	J	J
Automatisiertes System	J	J	J	J	J	N	J	J	N	N	N
Klassenbasierte Lagerplatzvergabe	N	J	N	J	N	J	N	N	J	J	N
Feste Lagerplatzvergabe	J	N	N	N	N	N	J	J	N	N	J
Lagerplatzvergabe auf Basis zweier Zonen	N	N	?	N	?	?	N	N	?	?	N
Lagerplatzvergabe anhand von Clusteranalyse	N	N	N	N	J	N	N	N	N	N	N
Umlagerungen im Rahmen von Umlagerzyklen	J	N	N	N	?	?	N	N	?	?	?
Keine Beschränkung auf Umlagerzyklen	N	J	J	J	?	?	J	J	?	?	?
Umlagerung durch einen einzigen	?	?	?	?	J	J	?	?	N	J	N

	Christofides/Colloff (1973)	Jaikumar/Solomon (1990)	Hackman et al. (1990)	Muralidharan et al. (1995)	Bindi et al. (2009)	Wutthisirisart (2010)	Carlo und Giraldo (2010)	Chen et al. (2011)	Kovács (2011)	Kofler et al. (2012)	Neuhäuser (2013)
Kommissionierer											
Umlagerung durch mehrere Kommissionierer	?	?	?	?	N	N	?	?	J	N	J

Tabelle 4: Reorganisationsverfahren und deren Merkmale

Der Vergleich und die Auswertung der betrachteten Verfahren ergeben, dass bisher kein allgemeingültiges Vorgehen existiert, welches universell für verschiedene Kommissioniersysteme genutzt werden kann. Infolgedessen galt es eine neue allgemeingültige Vorgehensweise zu definieren.

Ein Ansatz für diese neue Vorgehensweise lässt sich aus den oben vorgestellten Bewegungsdaten des erfassten Kommissioniersystems ableiten.

Wie der Auswertung der in Abbildung 10 dargestellten Entnahmehäufigkeit zu entnehmen ist, werden einige Artikel deutlich häufiger bzw. seltener als andere Artikel derselben Klasse kommissioniert. Zur Reorganisation werden daher in erster Linie diejenigen Artikel identifiziert, welche sich offensichtlich in einer nicht optimalen Klasse befinden.

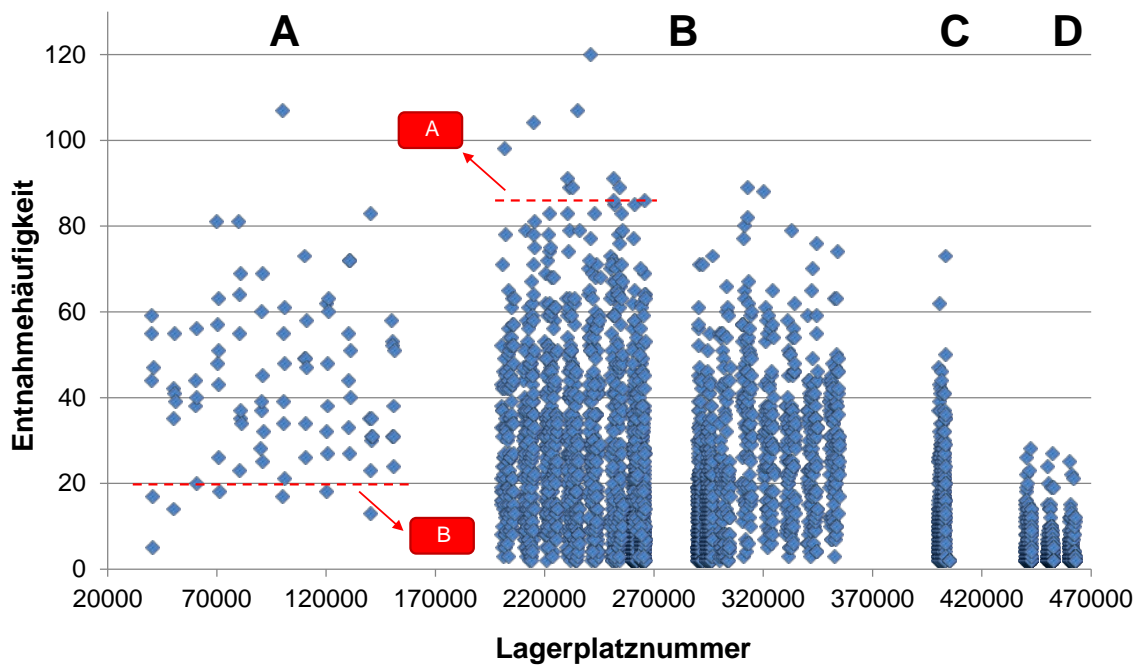


Abbildung 11: Identifizierte umzulagernde Artikel

Die in Abbildung 11 ober- bzw. unterhalb der roten Markierung befindlichen Artikel sollten nun einer Umlagerung unterzogen werden. So befinden sich in der Lagerzone A Artikel, welche aufgrund ihrer Entnahmehäufigkeit in einer der anderen Zonen, wie beispielsweise der Zone B, zu platzieren sind. Der daraus resultierende Zustand ist in Abbildung 12 dargestellt.

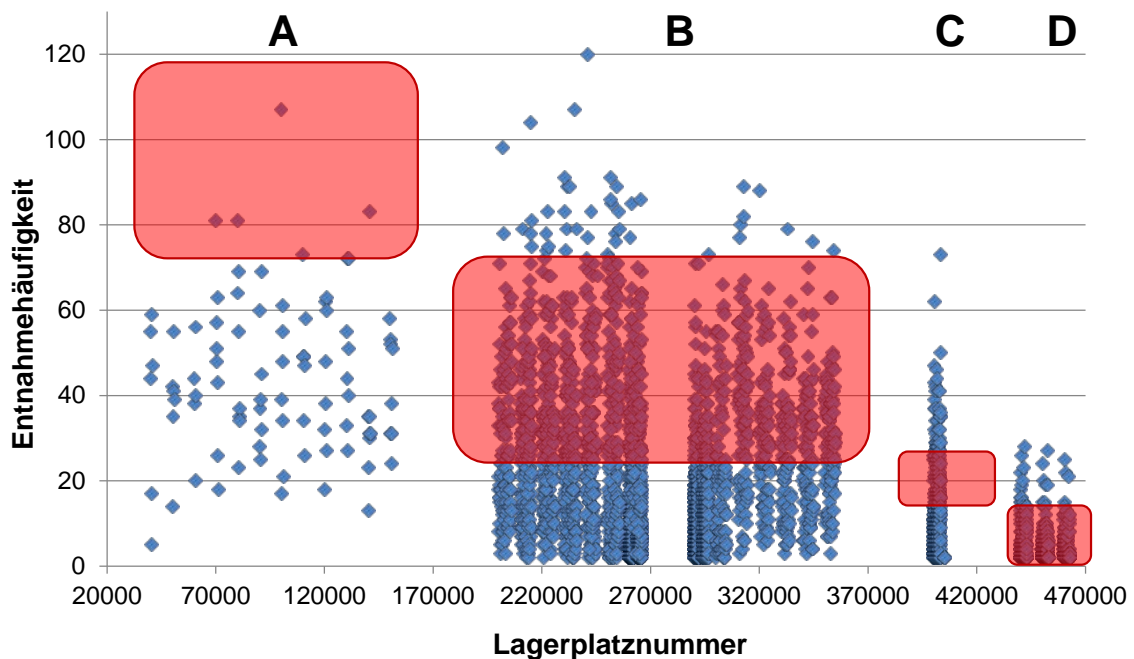


Abbildung 12: Optimierte Lagerplatzbelegung

Für eine übersichtliche Betrachtung des Optimierungspotentials des in Abbildung 11 dargestellten Beispiels, wurde iterativ eine Reorganisation durchgeführt, in dem eine bestimmte Menge an Artikeln zwischen den vier Zonen ausgetauscht wurde. Als Basis dafür wurden die Bewegungsdaten eines durchschnittlichen Monats herangezogen. Die durch die Reorganisation realisierte Reduktion der für die Kommissionierung zurückgelegten Wegstrecke wird auf Basis des von Sadowsky vorgestellten Verfahrens zur Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen bestimmt [SH07].

In einem ersten Schritt werden fünf Prozent der Artikel mit der geringsten Zugriffshäufigkeit aus der A-Zone in die B-Zone umgelagert, wobei im Gegenzug die identische Anzahl an Artikeln mit der höchsten Nachfrage aus der B- in die A-Zone umgelagert werden. Im nächsten Schritt werden fünf Prozent der nachfrageschwächsten Artikel der B-Zone in die C-Zone umgelagert und mit derselben Menge an nachfragestarken Artikeln aus der C-Zone getauscht. Zwischen den Artikeln der C- und der D-Zone findet auch ein dementsprechender Austausch statt. Die Wegstrecken pro Kommissionierauftrag entwickeln sich nach der iterativen Reorganisation entsprechend des in Abbildung 13 dargestellten Diagramms.

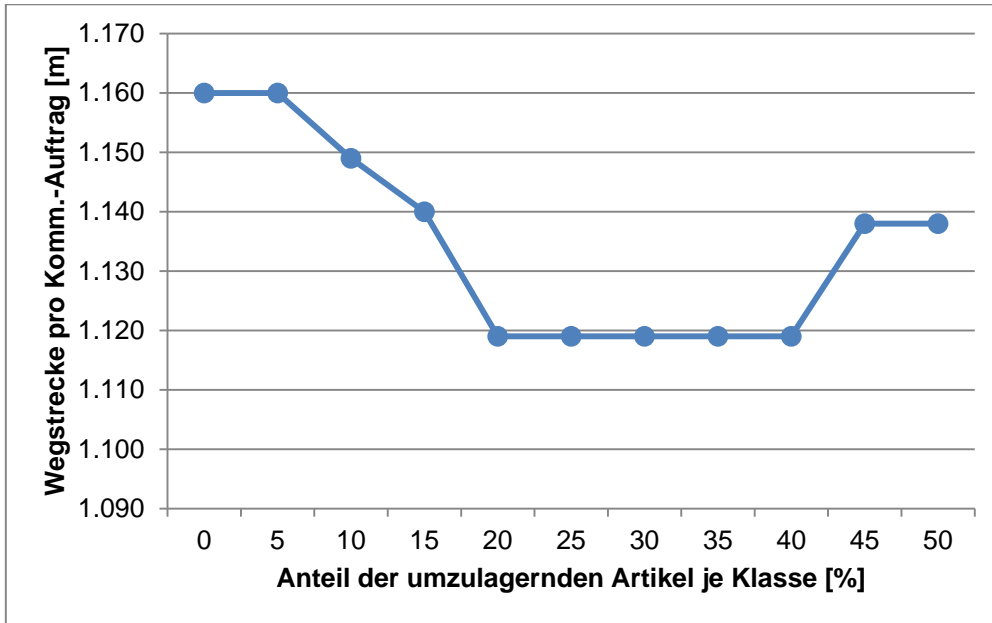


Abbildung 13: Wegstrecke pro Kommissionierauftrag bei Umlagerungen

Es ist zu erkennen, dass sich ab einer umzulagernden Menge von jeweils 20 Prozent ein geringeres Niveau bei knapp 1.120 m pro Kommissionierauftrag einstellt, bevor dies bei 45 Prozent umgelagerter Artikel zwischen den vier Zonen wieder ansteigt. Abbildung 14 zeigt das Potential, welches nach Berücksichtigung der Wegstrecken zur Durchführung der Umlagermaßnahmen realisiert werden kann.

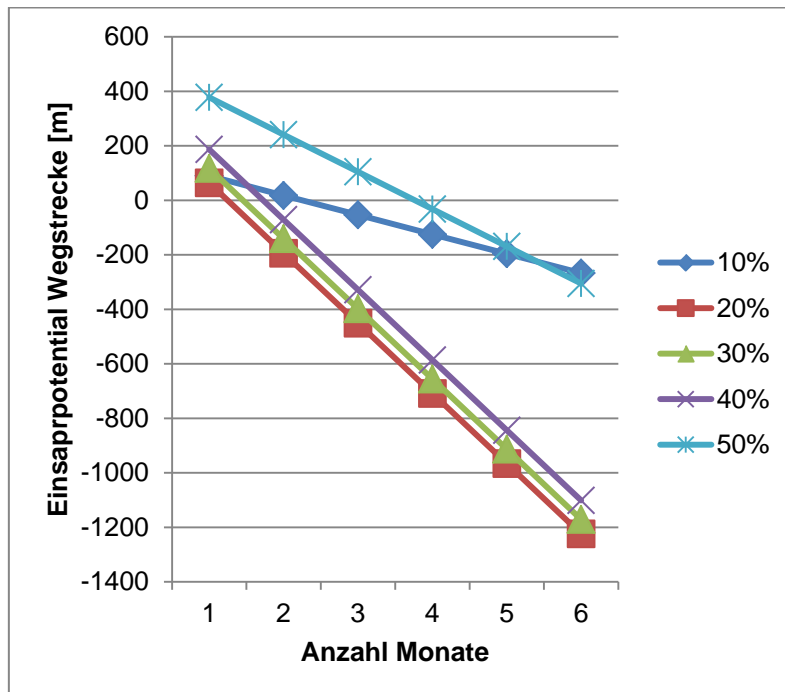


Abbildung 14: Reduktion der Wegstrecke unter Berücksichtigung des Umlagerwegs

Zur Automatisierung dieses zu Beginn manuell durchgeführten Vorgangs, wurde mit Hilfe von Microsoft Excel und VBA ein Reorganisationstool entwickelt.

Zur Erprobung dieses Reorganisationstools wurde eine vereinfachte Form des erfassten Kommissioniersystems erstellt. Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt des Lageraufbaus, welches auch dem später genutzten Simulationsmodell zugrunde liegt.

	Regalreihe 1	Regalreihe 2	Regalreihe 3	Regalreihe 4	Regalreihe 5		
30	34,9	31	90	38,4	91	150	42,9
29	33,9	32	89	37,4	92	149	41,9
28	32,9	33	88	36,4	93	148	40,9
27	31,9	34	87	35,4	94	147	39,9
26	30,9	35	86	34,4	95	146	38,9
25	29,9	36	85	33,4	96	145	37,9
24	28,9	37	84	32,4	97	144	36,9
23	27,9	38	83	31,4	98	143	35,9
22	26,9	39	82	30,4	99	142	34,9
21	25,9	40	81	29,4	100	141	33,9
20	24,9	41	80	28,4	101	140	32,9
19	23,9	42	79	27,4	102	139	31,9
18	22,9	43	78	26,4	103	138	30,9
17	21,9	44	77	25,4	104	137	29,9
16	20,9	45	76	24,4	105	136	28,9
15	19,9	46	75	23,4	106	135	27,9
14	18,9	47	74	22,4	107	134	26,9
13	17,9	48	73	21,4	108	133	25,9
12	16,9	49	72	20,4	109	132	24,9
11	15,9	50	71	19,4	110	131	23,9
10	14,9	51	70	18,4	111	130	22,9
9	13,9	52	69	17,4	112	129	21,9
8	12,9	53	68	16,4	113	128	20,9
7	11,9	54	67	15,4	114	127	19,9
6	10,9	55	66	14,4	115	126	18,9
5	9,9	56	65	13,4	116	125	17,9
4	8,9	57	64	12,4	117	124	16,9
3	7,9	58	63	11,4	118	123	15,9
2	6,9	59	62	10,4	119	122	14,9
1	5,9	60	61	9,4	120	121	13,9
<b>Basis</b>							

Abbildung 15: Ausschnitt vereinfachtes Layout mit Wegdistanzen

Diesem Lageraufbau lassen sich auch die Distanzen zwischen der Kommissionierbasis und den jeweiligen Lagerplätzen entnehmen.

Es wird ersichtlich, dass die Distanz von der Kommissionierbasis zu dem Regalmodul 63 in Regalreihe drei und zu dem Regalmodul 118 in Regalreihe vier identisch ist. Zudem hat beispielsweise das Regalmodul 135 in der Regalreihe fünf eine kürzere Wegdistanz zur Basis als das Regalmodul 29 aus Regalreihe eins. Dieser Modellaufbau führt dazu, dass sich effiziente Reorganisationsmaßnahmen durch den Tausch von Artikeln zwischen den Zonen nur unter Berücksichtigung der Wegdistanzen der umzulagernden Artikel erzielen lassen.

Um die Vorteilhaftigkeit einer Reorganisation zu beurteilen, wird zunächst jede mögliche Artikeltauschkombination hinsichtlich seiner Ergiebigkeit bewertet. Hierzu wurden Matrizen entwickelt, aus denen ersichtlich wird, welche Tauschkombinationen erfolgsversprechend sind. Abbildung 16 zeigt beispielhaft eine solche Matrix für potenzielle Umlagerungen zwischen der A-Zone und B-Zone. In diesem Fall ist eine Umlagerung von Artikeln aus dem Regalmodul 124 lohnenswert, sofern ein Tausch mit einem Artikel aus den Regalmodulen 61-65 oder 116-120 stattfindet.



		Regalreihe 5/6														
		121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
		180	179	178	177	176	175	174	173	172	171	170	169	168	167	166
Regalreihe 3/4	61	120	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	62	119	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	63	118	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	64	117	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	65	116	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	66	115	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	67	114	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	68	113	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	69	112	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	70	111	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	71	110	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	72	109	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	73	108	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	74	107	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
	75	106	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja

Abbildung 16: Umlagermatrix

Aus diesen Matrizen wird jedoch nicht ersichtlich, welches die optimale Tauschkombination ist. D.h. der Anwender des Reorganisationstools weiß zunächst nicht, ob ein Tausch zwischen den Regalmodulen 132 und 109 vorteilhafter ist als ein Tausch zwischen den Regalmodulen 132 und 65. Bei diesem Vorgehen entstehen unter hohem Aufwand approximierete Umlagerungen. Zur Verbesserung dieser Ergebnisse wurde mit Hilfe des Reorganisationstools ein automatisiertes Verfahren entwickelt. Aufbauend auf den Umlagermatrizen wird zunächst der Detaillierungsgrad der Berechnung erhöht, indem Artikelnummern statt Regalmodulen abgebildet werden. Da in diesem Beispiel immer drei Artikel in einem Regalmodul eingelagert sind, erhöht sich der Betrachtungsbereich um den Faktor drei. Um die Entscheidungsfindung hinsichtlich der potentiellen Reorganisationsmaßnahmen zu optimieren, werden im ersten Schritt die Distanzen zwischen allen zu reorganisierenden Artikeln berechnet. Im zweiten Schritt wird in der Matrix die maximale Distanz zwischen den Artikelkombinationen ermittelt. Das Artikelpaar mit der maximalen Distanz wird umgelagert und für die weitere Berechnung der Tauschkombinationen ausgeschlossen. Nachdem alle Artikeltauschkombinationen identifiziert und zugeordnet sind, ist dieser Teil der Reorganisation abgeschlossen.

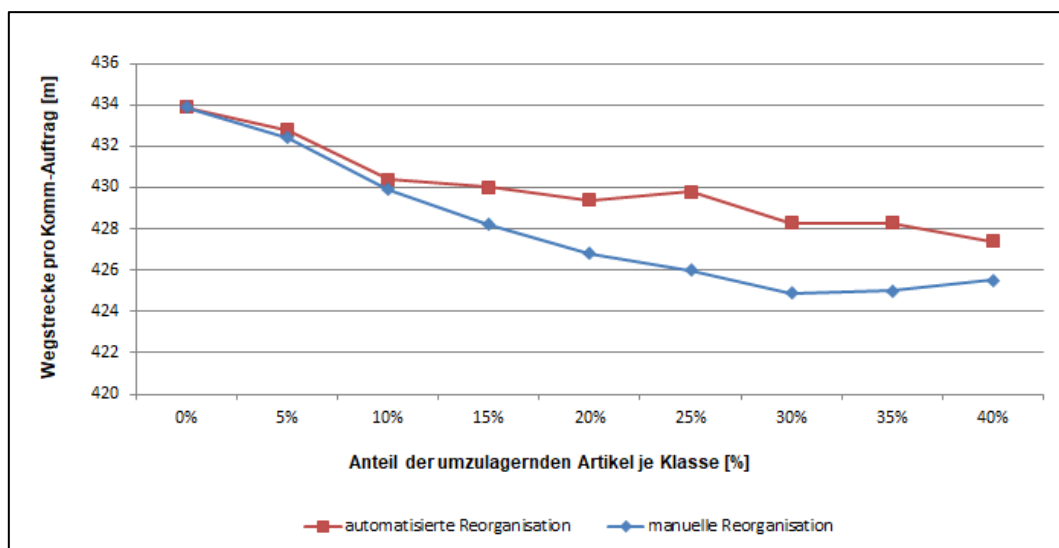


Abbildung 17: Unterschied manuelle und automatisierte Reorganisationsbestimmung

Wie Abbildung 17 zu entnehmen ist, führen Unterschiede in der Reorganisationsmethodik dazu, dass die Ergebnisse des manuellen und automatisierten Verfahrens (durch das Reorganisationstool) nicht deckungsgleich sind. Angenommen, es werden 10 Prozent der Artikel in einem Kommissioniersystem reorganisiert. Im manuellen Verfahren werden zunächst die ersten fünf Prozent der Artikel in jeder Klasse umgelagert. Die ermittelten Artikelpaare bleiben während der nächsten Reorganisationsschritte unverändert. Bei einem 10 prozentigen Reorganisationsgrad werden die Artikelpaare der fünfprozentigen Umlagerung als Basis angenommen und darauf aufbauend die noch nicht umgelagerten Artikel reorganisiert. Dahingegen wird bei der automatisierten Vorgehensweise auf diese Basis verzichtet. Folglich werden sowohl bei einer fünfprozentigen als auch bei einer 10 prozentigen Umlagerung für alle Artikel neue Tauschkombinationen ermittelt.

Verglichen mit den oben vorgestellten Verfahren zur Reorganisation handelt es sich bei der hier entwickelten Methodik um ein Verfahren, welches je nach Umfang der umzulagernden Artikel sowohl den Rewarehousing- als auch den Healing-Verfahren zugeordnet werden kann. Artikelkorrelationen werden in diesem Entwicklungsstand nicht berücksichtigt und die Umlagerungen können sowohl in Leerlaufzeiten, als auch während des Betriebs durchgeführt werden. Anwendbar ist die Methodik bei manuellen aber auch bei automatisierten Systemen, in welchen die Artikel klassenbasiert oder auf festen Lagerplätzen eingelagert sind. Die Anzahl der Kommissionierer ist bei dieser Methodik nicht beschränkt.

Ergebnis laut Forschungsantrag	Im Forschungsprojekt erzieltetes Ergebnis
Die Bewertungsmethodik, die Erfahrungen der Validierung sowie geeignete Beispiele wurden erarbeitet und festgehalten, um sie später im Handbuch für die Anwendung der Bewertungsmethodik einsetzen zu können.	Das Ergebnis dieses Arbeitspaketes ist eine Methodik, mit deren Hilfe umzulagernde Artikel bestimmt und so der Umfang der durchzuführenden Reorganisationsmaßnahmen berechnet werden kann.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse

#### 4.3 AP3 Erweiterung der Methodik um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeit als Kennzahl ist definiert, als das Verhältnis zwischen den entstandenen Kosten und der erreichten Leistung (Eichhorn und Merk 2016).

Um die Kosten, die durch die Reorganisationsmaßnahmen anfallen, quantifizieren zu können, wurde ein Kostenmodell entwickelt, welches sich, wie in Abbildung 18 dargestellt, aus drei Kostenblöcken zusammensetzt.



Abbildung 18: Zusammensetzung der Reorganisationskosten

### Planungskosten

An erster Stelle stehen die Planungskosten  $K_{Planung}$ , die bei der Planung und Vorbereitung der Umlagermaßnahmen verursacht werden.

Der Kostenblock der Planungs- und Vorbereitungskosten ergibt sich daher aus den geleisteten Arbeitsstunden  $t_{Planung}$  für die Planung und Vorbereitung der Lagerreorganisation multipliziert mit dem Lohnkostensatz pro Stunde  $k_{Planung}$ . Eine zusätzliche Kostenstelle innerhalb der Planungskosten ergibt sich aus möglichen Kosten für Software und sonstigen Hilfsmitteln  $K_{zPlan}$ , da diese jedoch für viele Reorganisationen angewendet werden kann, ist ihr Anteil zu vernachlässigen. Auch sollten die Planungskosten durch den Einsatz der hier entwickelten Methodik erheblich reduzieren.

$$K_{Planung} = t_{Planung} \times k_{Planung} + K_{zPlan}$$

### Umlagerungskosten

Der zweite Kostenblock bezieht sich auf die Kosten der einzelnen Umlagerungen  $K_{Umlagerung}$  und beinhaltet all diejenigen Kosten, die in direktem Zusammenhang mit den durchzuführenden Umlagermaßnahmen stehen. Sie setzen sich zusammen aus den Lohnkosten für das erforderliche Personal und den Nutzungskosten der Betriebsmittel, die beansprucht werden, wenn ein Artikel  $i$  vom Lagerplatz  $L_{alt}$  zu  $L_{neu}$  umgelagert wird.

$$K_{Umlagerung} = K_{E/A} + K_{Weg} + K_{Masch}$$

Die Bestimmung der benötigten Zeit kann mit Hilfe von MTM-Zeitbausteinen erfolgen, die für Anwendungen in der Intralogistik geeignete Zeitbausteine bereitstellen. In Abhängigkeit des zu transportierenden Artikels, der Strecke und der Anzahl der Kurven können die Umlagerungen zeitlich sehr genau bewertet werden.

$$K_{E/A} = t_{E/A} \times k_{Lohn}$$

Die Kosten für die Ein-/ Auslagerung  $K_{E/A}$  hängen von den jeweiligen Lagergütern und den Förder- bzw. Handhabungsmitteln ab, die für die Umlagermaßnahmen genutzt werden. Die dafür anfallenden Zeiten können durch die Verwendung von MTM-Zeitbausteinen berechnet werden.

Die gesamten direkten Umlagerkosten setzen sich somit aus fixen und variablen Umlagerzeiten zusammen, die mit den Lohnsätzen je Stunde  $k_{Lohn}$  multipliziert werden.

$$K_{Weg} = t_{Weg} \times k_{Lohn}$$

Bei den Maschinenkosten  $K_{Masch}$  handelt es sich um die Kosten, die durch den Gebrauch von Förder- oder Transporteinrichtung entstehen. Die Maschinenkosten setzen sich aus zwei Kostenblöcken zusammen: den Energiekosten  $K_E$  und den Verschleiß- und Instandhaltungskosten oder Mietkosten als Nutzungskosten  $K_{Nutz}$ . Die Energiekosten bestehen wiederum aus dem Verbrauch pro Stunde  $V_h$  multipliziert mit der Nutzungsdauer  $t_{Nutz}$  und dem Energieverbrauchskostensatz  $k_V$ . Die Nutzungskosten  $K_{Nutz}$  ergeben sich aus dem Maschinenstundensatz  $k_{Masch}$  multipliziert mit der Miet- oder Nutzungsdauer. Im Folgenden sind die Formeln zur Berechnung der Maschinenkosten aufgelistet.

$$K_{Masch} = K_E + K_{Nutz}$$

$$K_E = V_h \times k_V \times t_{Nutz}$$

$$K_{Nutz} = k_{Masch} \times t_{Nutz}$$

#### Lagerraumkosten

Der dritte Kostenblock beinhaltet anfallende Kosten für die Nutzung zusätzlich erforderlicher Flächen. Dies ist dann der Fall, wenn in Abhängigkeit der gewählten Umlagerstrategie Flächen zur Zwischenlagerung der Artikel benötigt werden.

Unter Lagerraumkosten werden die Kosten für von Regalen und anderen Lagereinrichtungen besetzte Flächen verstanden. Werden die Lagerraumkosten nur durch die Fläche  $A_{Lager}$  und die Kosten pro Quadratmeter  $k_{m^2}$  bewertet, ergeben sich die Lagerraumkosten  $K_{Fläche}$  zu:

$$K_{Fläche} = A_{Lager} \times k_{m^2}$$

Zusammenfassung der ermittelten Kostenblöcke:

Basierend auf den oben ermittelten Kostenblöcken ergibt sich folgende Formel zur Errechnung der Lagerreorganisationskosten:

$$K_{Reorg} = K_{Planung} + \sum_{i=1}^u K_{Umlagerung,i} + \sum_{j=1}^f K_{Fläche,j}$$

Das Kostenmodell wurde in das entwickelte Reorganisationstool integriert. Zur Bestimmung der für das Handhaben und Zurücklegen der Wegstrecken benötigten Zeiten werden Zeitbausteine aus dem MTM-Logistik Katalog hinterlegt. Ressourcen, die zur Durchführung der Umlagerungsmaßnahmen genutzt werden sollen, können im Reorganisationstool ausgewählt werden. Abgebildet ist ein Screenshot des Reorganisationskostenrechners in Abbildung 19.

Berechnung Reorganisationskosten							
Name:				Datum:			
	Gewicht	Anzahl der Umlageroperationen (Aus- und Einlagern als 1 Operation)	gerade Strecke in Meter	Kurven in Stk.	Hohe des Lagerplatzes (Summierte Höhe bei mehreren Lagerplätzen)	Zeit in Sekunden	Kosten in Euro
Stapler	-					0	0
Elektro-Hubwagen	-					0	0
Handgabelhubwagen	leer					0	0
	< 500kg					0	0
	> 500kg					0	0
Transportwagen	< 100kg					0	0
	> 100kg					0	0

	zusätzliche Planungskosten	Zeit in Stunden	Kosten in Euro
Planungskosten			0
	Zeithorizont in Monaten	Fläche in Quadratmeter	
Lagerraumkosten			0
Gesamtkosten			0

Abbildung 19: Reorganisationskostenrechner

Bei dieser Variante können die Kosten für manuelle Tätigkeiten, welche mit Hilfe von Stapler, Elektrohubwagen, Handgabelhubwagen oder Transportwagen ausgeführt werden, berechnet werden.

In der Spalte „Anzahl der Umlageroperationen“ wird die Anzahl der durchzuführenden Operationen eingetragen. Die Distanzen zwischen den Lagerplätzen werden in der darauf folgenden Spalte erfasst. Die Anzahl der Kurven wird in Abhängigkeit des Layouts in der entsprechenden Spalte eingetragen. Befinden sich die Lagerplätze nicht in Bodenhöhe, kann die Höhe der Lagerfächer in der vierten Spalte vermerkt werden. In grün hinterlegten Feldern können Eingaben erfolgen, die hellblau markierten Felder geben Werte aus.

Zusätzlich können die Kostensätze und die benötigten Zeiten bzw. Flächenangaben vom Nutzer eingetragen werden. In spezifischen, in der Abbildung nicht dargestellten Feldern, können die Kostensätze für die Ressourcen vom Anwender hinterlegt werden.

Am Beispiel der Auslagerung mit dem Fördermittel Stapler soll die Zusammenfassung erklärt werden: Für jede Ein-/Auslagerung muss sich der Stapler auf den Lagerplatz ausrichten, in die Palette einfahren diese leicht heben, mit ihr herausfahren und sich wieder in Fahrtrichtung ausrichten (bei der Einlagerung ergibt sich analoges). Diese Operationen werden zusammengefasst und werden mit der Operationshäufigkeit multipliziert. Die Höhe muss gesondert eingegeben werden, da nicht jeder Lagerplatz gleich hoch ist. Um das Reorganisationstool anwenderfreundlich zu gestalten, werden immer Durchschnittswerte der TMU-Zeiten für einzelne Schritte genommen (z.B. für stabile und labile Ladung, Fördermittel beladen oder unbeladen). Um eine möglichst konservative Berechnung zu erlangen, wird zur Bestimmung der Zeiten mit 75 Prozent labiler Ladung und 25 Prozent stabiler Ladung gerechnet. Sonderzeiten wie z.B. gesondertes Ausrichten, Verzögerungen bei Start und Stopp, usw. werden pro Umlageroperation mit einer fixen Anzahl zugerechnet.

Der Nutzer kann ebenfalls die spezifischen Kosten für sein automatisiertes Kommissioniersystem im Reorganisationstool hinterlegen.

Ergebnis laut Forschungsantrag	Im Forschungsprojekt erzielt Ergebnis
Erweiterte Methodik, die Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Umlagerungen (Einzelmaßnahmen sowie vollständige Reorganisation) erlaubt.	Mit Hilfe der Erweiterung des Reorganisationstools können die für die Durchführung einer Reorganisation anfallenden Kosten vollumfänglich erfasst und auf Basis von MTM-Zeitbausteinen und spezifischen Kostensätzen der Ressourcen bestimmt werden. Die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit kann so erfolgen.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 3

#### 4.4 AP4 Validierung der Methodik

Zur Validierung der Methodik wurde ein Simulationsmodell eines Kommissioniersystems erstellt. In diesem Fall versteht man unter einer Simulation das Nachbilden eines dynamischen Prozesses in einem System unter der Verwendung eines Modells, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Realität übertragbar sind (VDI-Richtlinie 3633). Ein Modell ist die vereinfachte Nachbildung wesentlicher Strukturen und Funktionen komplexer Gebilde der Wirklichkeit, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen, deren Bewältigung am Original unzweckmäßig ist. Simulationsmodelle bieten durch Variation der zugrundeliegenden Werte die Möglichkeit, verschiedene Szenarien zu planen oder zu optimieren, ohne das reale System zu beeinträchtigen (Eley 2012). Dies ist beispielsweise erforderlich, wenn zufallsabhängige Größen als Eingabewerte Verwendung finden.

Die Anwendung von Simulationen bringen sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich. Es kann in Vorteile gegenüber dem Experimentieren am realen System, Vorteile gegenüber analytischen Methoden und Vorteilen durch die Visualisierung unterschieden werden.

So kann durch das Modellieren und Simulieren einer realen Umgebung, diese untersucht werden, ohne Veränderungen an ihr vornehmen zu müssen oder in den Betriebsablauf einzugreifen. Außerdem ist die Untersuchung eines sehr langen Zeitraumes möglich, indem die simulierte Zeit schneller als die tatsächliche verläuft (Werner 2001). Auch können Varianten des zu untersuchenden Systems ohne allzu großen Aufwand analysiert werden. D. h. falls Experimente auch am realen System möglich sind, ergeben sich durch eine Simulation dennoch häufig Zeit- und Kostenvorteile (Rabe und Clausen 2015).

Das in diesem Projekt verwendete Simulationswerkzeug Plant Simulation lässt sich der dynamisch ereignisdiskreten Simulationsmethode zuordnen. Charakteristisch für dieses Simulationserfahren ist die Veränderung der Variablenwerte durch das Eintreten bestimmter Ereignisse.

Tecnomatix Plant Simulation (vormals SIMPLE++ und eM-Plant) gehört gegenwärtig zum Produktportfolio der Siemens AG. Plant Simulation wird branchenübergreifend in den Bereichen Engineering, Produktion und Logistik eingesetzt. Dabei liegen die Anwendungsschwerpunkte in der Abbildung von Logistik- und Produktionssystemen sowie den dazugehörigen Prozessen.

Zur Modellerstellung wird in Plant Simulation eine umfangreiche und frei gestaltbare Bibliothek mit Bausteinen und Objekten zur Verfügung gestellt. Um das Grundverhalten der Bausteine zu verändern, wird mit der Simulationssprache SimTalk gearbeitet. Die Grundbausteine für die Abbildung von Materialflüssen bilden bewegliche und unbewegliche Elemente. Umfangreiche Schnittstellenfunktionen ermöglichen, dass Daten- und Informationsübertragungen zu Beginn, während und am Ende der Simulation stattfinden können.

Abbildung 20 zeigt den Aufbau des Simulationsmodelles in 3D, welches im Rahmen dieses Forschungsprojektes entstanden ist.

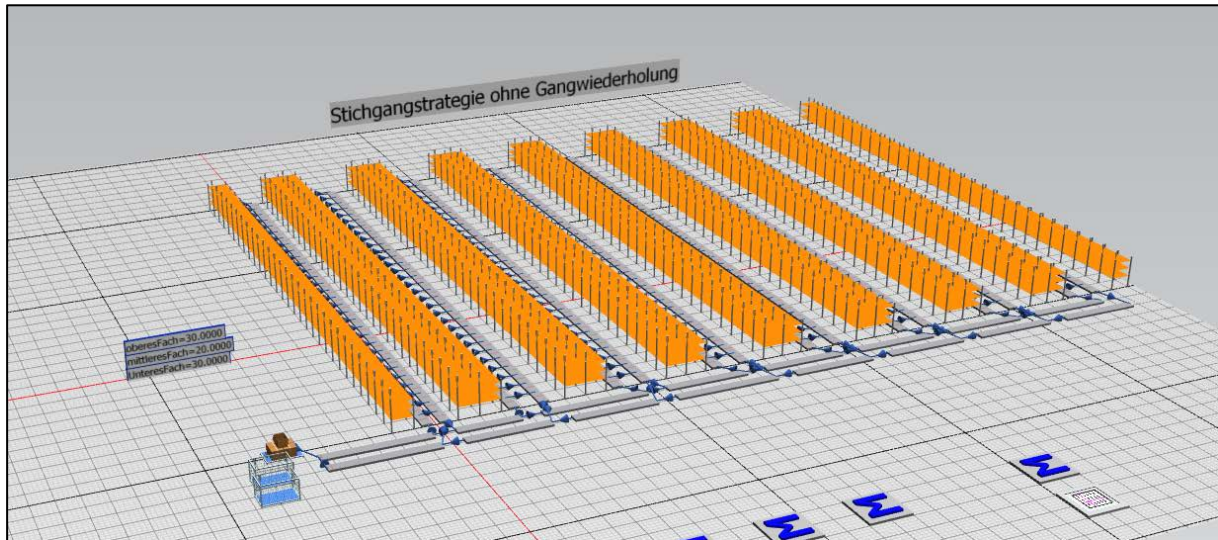


Abbildung 20: Simulationsmodell des manuellen Kommissioniersystems

Das Kommissioniersystem umfasst 16 Regalreihen, die jeweils aus 15 Regalmodulen bestehen. Jedes Regalmodul verfügt über drei Lagerfächer, in denen sich je ein Ladungsträger mit zugehöriger Artikelnummer befindet. Insgesamt befinden sich in den 480 Regalmodulen 1440 Artikel. Das Kommissioniersystem ist, wie in Abbildung 21 dargestellt, in drei Zonen untergliedert. Die ersten 360 Artikel befinden sich in grünen Ladungsträgern und werden der A-Zone zugeordnet. Die nächsten 720 Artikel sind durch gelbe Ladungsträger gekennzeichnet und befinden sich in der B-Zone. Die C-Zone wird durch die roten Ladungsträger symbolisiert, in der die restlichen 360 Artikel eingelagert sind.

Im Folgenden wird der Ablauf des Simulationsmodelles skizziert: Im ersten Schritt erzeugt Plant Simulation mittels einer Quelle die verschiedenfarbigen Ladungsträger und ordnet sie den Lagerfächern zu. Die Zuordnung der Ladungsträger zu den Lagerplätzen erfolgt über die Definition der Regalmodule sowie der Lagerfächer. Das mit Ladungsträgern befüllte Simulationsmodell ist in Abbildung 21 dargestellt.



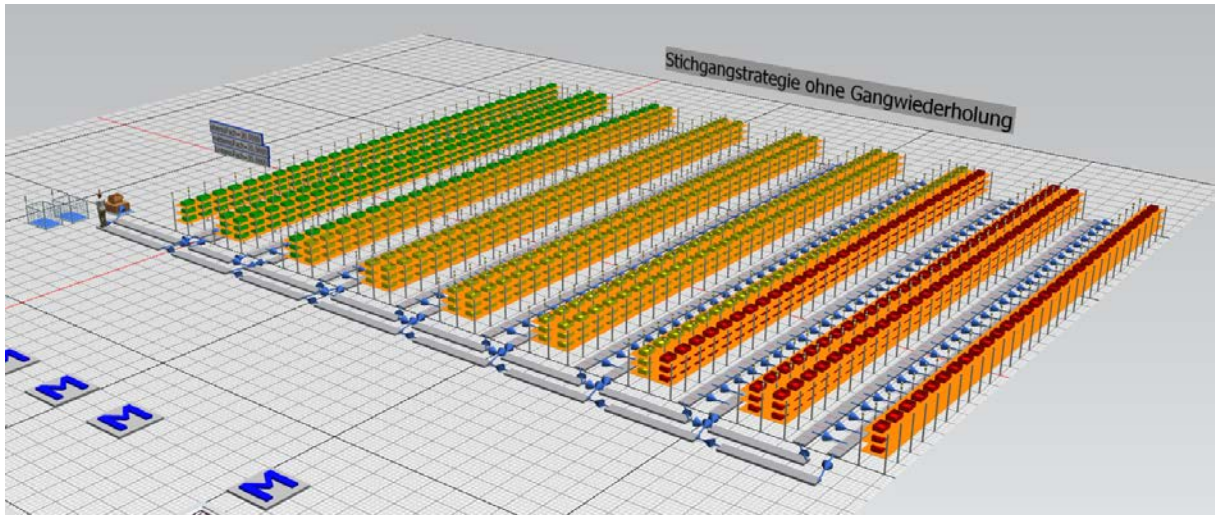


Abbildung 21: Simulationsmodell mit Ladungsträgern befüllt

Im nächsten Schritt werden Kommissionieraufträge generiert, die anschließend vom Kommissionierer abgearbeitet werden. Der Kommissionierer, der ebenfalls von der Quelle erzeugt wird, führt das manuelle Kommissionieren mittels Stichgangstrategie ohne Gangwiederholung durch.



Abbildung 22: Kommissionierer im Simulationsmodell

An der Basis erhält er den aktuellen Kommissionierauftrag. Anschließend kommissioniert er die im Auftrag enthaltenen Artikel, indem er sich durch das Kommissioniersystem bewegt und die zugeordneten Regalmodule mit den jeweiligen Lagerfächern aufsucht. Nach Abhandlung aller Auftragspositionen kehrt der Kommissionierer an die Basis zurück, wo er den nächsten Kommissionierauftrag erhält. Während des Kommissioniervorgangs werden im Simulationsmodell mittels Statistikberichten Daten erfasst, mit Hilfe derer die Reorganisation durchgeführt wird. Die zurückgelegte Wegstrecke des Kommissionierers wird ebenso erfasst,

wie die benötigte Kommissionierzeit. Bei der Kommissionierzeit wird zwischen der gesamten Kommissionierzeit und der durchschnittlichen Kommissionierzeit je Auftrag differenziert. Diese Statistikberichte sind in Abbildung 23 beispielhaft abgebildet.

<b>Zurückgelegte Wegstrecke</b>
33284 m

	time 1	time 2	time 3	time 4	st 5
string	Durchgang1	Durchschnitt Durchgang1	Reorganisation	Durchschnitt Reorganisation	
1	1:09:14:47.6000	19:56.8760			

Abbildung 23: Ergebnis- und Statistikbericht

Zusätzlich werden Daten über die Zugriffshäufigkeit der verschiedenen Artikel erfasst. Aus diesen Informationen werden die Reorganisationsmaßnahmen abgeleitet. Nach Abschluss des ersten Kommissionierdurchgangs wird das Simulationsmodell mit den ermittelten Reorganisationsmaßnahmen bespielt und der Kommissionierer arbeitet erneut die Aufträge ab. Anschließend können die Ergebnisse der beiden Durchläufe miteinander verglichen werden, um den Erfolg der Reorganisation zu bewerten.

Über die Variation von Parametern lassen sich diverse Szenarien abbilden. Sowohl die Anzahl der Aufträge als auch die Anzahl der Positionen, aus denen ein Auftrag besteht, sind veränderbar. Über die Veränderung dieser beiden Parameter ist die Anzahl der zu kommissionierenden Artikel steuerbar. Zudem ist die gesamte Zeit der Kommissionierung und die Kommissionierzeit pro Auftrag über diese Größen skalierbar. So lassen sich in dem Modell Szenarien mit einer Kommissionierzeit von wenigen Stunden oder mehreren Jahren abbilden. Ebenso ist die Geschwindigkeit, mit der sich der Kommissionierer durch das Modell bewegt, variierbar.

Um Reorganisationsmaßnahmen abzubilden, können über die programmierten Methoden noch weitere Einstellungen vorgenommen werden. In Abbildung 24 ist beispielhaft eine solche Methode abgebildet.

```

var i,j,h:integer;
for h:= 1 to 100 loop
for j:=1 to 16 loop
i:=z_gleich(5,1,361);
aufträge.schreibzeile(1,aufträge.ydim+1,stammdaten[2,i]);
aufträge.schreibzeile(2,aufträge.ydim,stammdaten[3,i]);
aufträge.schreibzeile(3,aufträge.ydim,stammdaten[4,i]);
aufträge.schreibzeile(4,aufträge.ydim,stammdaten[5,i]);
next;
for j:=1 to 3 loop
i:=z_gleich(5,361,1081);
aufträge.schreibzeile(1,aufträge.ydim+1,stammdaten[2,i]);
aufträge.schreibzeile(2,aufträge.ydim,stammdaten[3,i]);
aufträge.schreibzeile(3,aufträge.ydim,stammdaten[4,i]);
aufträge.schreibzeile(4,aufträge.ydim,stammdaten[5,i]);
next;
for j:=1 to 1 loop
i:=z_gleich(5,1081,1441);
aufträge.schreibzeile(1,aufträge.ydim+1,stammdaten[2,i]);
aufträge.schreibzeile(2,aufträge.ydim,stammdaten[3,i]);
aufträge.schreibzeile(3,aufträge.ydim,stammdaten[4,i]);
aufträge.schreibzeile(4,aufträge.ydim,stammdaten[5,i]);
next;
next;

```

Abbildung 24: Plant Simulation Methode

Es besteht die Möglichkeit, das Verhältnis der Auftragsverteilung auf die drei Zonen des Kommissioniersystems zu verändern. Besteht ein Szenario beispielsweise aus 100 Aufträgen, so entscheidet der Anwender, wie viele der Aufträge in der A-Zone, B-Zone und C-Zone abzuarbeiten sind. Über die in Plant Simulation integrierte Gleichverteilung und den dazugehörigen Parametern lassen sich zufällig verteilte Artikelzuordnungen zu den Aufträgen erzeugen.

Die Evaluation der entwickelten Methodik auf Basis des Simulationsmodells wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

Ergebnis laut Forschungsantrag	Im Forschungsprojekt erzieltetes Ergebnis
Die Methodik wurde anhand der Daten aus Partnerunternehmen validiert. Möglicherweise wurden dabei noch weitere Anpassungen durchgeführt.	Die Validierung erfolgte anhand eines Simulationsmodells, welches auf den Stamm- und Bewegungsdaten des Kommissioniersystems eines der Partnerunternehmen besteht.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 4

#### 4.5 AP5 Evaluation und Aufbereitung für Partnerunternehmen

Zur Vereinfachung der Anwendung des Excel Reorganisationstools für die Partnerunternehmen wurden mehrere Schritte zusammengefasst. Im endgültigen Reorganisationstool zur Berechnung sind somit pro Fördermittel lediglich maximal vier Parameter einzutragen: die Anzahl der Umlagermaßnahmen, die gerade Streckenlänge, wie viele Kurven durchfahren werden (in Abhängigkeit des Layouts des Kommissioniersystems) und die Höhe des/der Lagerplätze.

Zur Bestimmung der Kosten der Reorganisationsmaßnahmen, dem Umfang sowie dem Zeitpunkt kann das entwickelte Reorganisationstool verwendet werden.

Wie bereits beschrieben, wird zwischen dem ersten und dem zweiten Kommissionierdurchgang die Reorganisation durchgeführt. Über eine weitere Methode lassen sich die Ergebnisse des ersten Durchlaufs in Excel exportieren und weiter verarbeiten. Die vorläufige Benutzeroberfläche des Excel-Reorganisationstools ist in Abbildung 25 zu sehen.

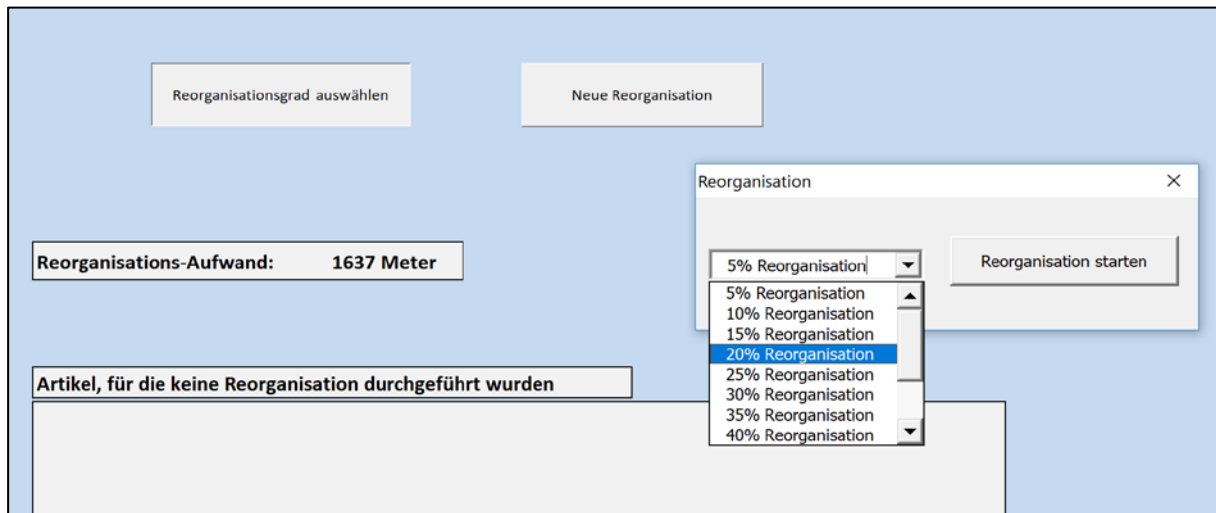


Abbildung 25: Benutzeroberfläche des Excel- Reorganisationstools

Das Reorganisationstool gibt Auskunft über die Wegstrecke, die für die Umlagerung der Artikel aufgebracht werden muss. Besondere Artikelkonstellationen können dazu führen, dass die Umlagerung nicht für alle Artikel durchgeführt wird. Über ein Auswahlfeld wird der Grad der Reorganisation gewählt. Dabei besteht die Möglichkeit, zwischen einem Reorganisationsgrad von 0 bis 60 Prozent zu selektieren, wobei sich der Grad der Reorganisation in 5 Prozentschritten steigert. Wird in etwa ein Reorganisationsgrad von 30 Prozent gewählt, werden 30 Prozent der Lagerplätze der Artikel aus der A-Zone mit den geringsten Zugriffshäufigkeit mit den 30 Prozent der Artikel aus der B-Zone getauscht, die die höchste Zugriffshäufigkeit aufweisen. Nach dem gleichen Prinzip werden die selten kommissionierten Artikel aus der B-Zone mit den häufig nachgefragten Artikel aus der C-Zone getauscht. Das Ergebnis des Excel- Reorganisationstools ist eine neue Zuordnung der Artikel zu den Lagerplätzen in Abhängigkeit des gewählten Reorganisationsgrades. Um mit Microsoft Excel die Reorganisation durchzuführen, werden die aus Plant Simulation exportierten Daten zunächst modifiziert. Den Artikelnummern werden entsprechend ihrer Platzierung im Lager eine der drei Zonen sowie die Wegdistanz bis zur Basis zugespielt. Je nach Reorganisationsgrad wird für die Anzahl der betreffenden Artikel eine Distanzmatrix

berechnet. Auf Basis der ermittelten Distanzen werden den Artikeln neue Lagerplätze zugewiesen, indem die Artikeldistanz zueinander maximiert wird.

Dem Leser wird dieses Vorgehen anhand eines Beispiels verdeutlicht. Befinden sich 1440 Artikel im Kommissioniersystem und wird ein Reorganisationsgrad von 5 Prozent gewählt, werden 18 Artikel aus der A-Zone mit 18 Artikel aus der B-Zone getauscht. Ebenso werden 18 Artikel aus der B-Zone mit 18 Artikel aus der C-Zone substituiert. Die ermittelte Zugriffshäufigkeit der Artikel ist ausschlaggebend dafür, welche 18 Artikel für die Reorganisation berücksichtigt werden. Mit den 18 am häufigsten kommissionierten Artikel der B-Zone und den 18 nachfrageschwächsten Artikel aus der A-Zone wird eine Matrix gebildet und die Distanzen zueinander berechnet. Auf Basis dieser Matrix wird das Artikelpaar mit der höchsten Wegdistanz für den späteren Lagerplatztausch ermittelt. Danach wird die Artikelkombination mit der zweithöchsten Distanz bestimmt. Dieses Verfahren wird wiederholt, bis alle 18 Artikelpaare feststehen. Zwischen der B- und C-Zone findet der gleiche Tauschmechanismus statt. Da das Reorganisationstool die im Rahmen des ausgewählten Reorganisationsgrades zu tauschenden Artikel vollständig ausführt, besteht die Möglichkeit, dass nicht alle Tauschkombinationen dem Optimum entsprechen. Ist die maximale Wegdistanz zwischen zwei Artikeln gleich Null, wird für diese Artikel keine Reorganisation durchgeführt. Tabelle 6 zeigt beispielhaft den Ausschnitt einer solchen Distanzmatrix.

		Artikel1209	Artikel1119	Artikel1249	Artikel1367	Artikel1431	Artikel1140	Artikel1255	Artikel1271	Artikel1365	Artikel1139	Artikel1144
		47,4	42,4	33,4	58,4	37,4	49,4	31,4	37,4	59,4	49,4	51,4
Artikel540	13,9	33,5	28,5	19,5	44,5	23,5	35,5	17,5	23,5	45,5	35,5	37,5
Artikel856	34,4	13	8	-1	24	3	15	-3	3	25	15	17
Artikel450	42,9	4,5	-0,5	-9,5	15,5	-5,5	6,5	-11,5	-5,5	16,5	6,5	8,5
Artikel489	30,9	16,5	11,5	2,5	27,5	6,5	18,5	0,5	6,5	28,5	18,5	20,5
Artikel554	22,4	25	20	11	36	15	27	9	15	37	27	29
Artikel560	24,4	23	18	9	34	13	25	7	13	35	25	27
Artikel562	25,4	22	17	8	33	12	24	6	12	34	24	26
Artikel643	43,4	4	-1	-10	15	-6	6	-12	-6	16	6	8
Artikel734	24,4	23	18	9	34	13	25	7	13	35	25	27
Artikel456	41,9	5,5	0,5	-8,5	16,5	-4,5	7,5	-10,5	-4,5	17,5	7,5	9,5
Artikel461	39,9	7,5	2,5	-6,5	18,5	-2,5	9,5	-8,5	-2,5	19,5	9,5	11,5
Artikel610	41,4	6	1	-8	17	-4	8	-10	-4	18	8	10
Artikel715	19,4	28	23	14	39	18	30	12	18	40	30	32
Artikel737	25,4	22	17	8	33	12	24	6	12	34	24	26
Artikel762	33,4	14	9	0	25	4	16	-2	4	26	16	18

Tabelle 8: Generierte Distanzmatrix

Als Resultat stehen, wie Tabelle 7 zeigt, die umzulagernden Artikelkombinationen sowie die Wegstrecke zur Verfügung, die für die Umlagerung zurückzulegen ist. Die Summe der Wegstrecke entspricht dem Aufwand in Metern, der für die Reorganisation aufzubringen ist.

Wegstrecke	Artikelnummer	Wegstrecke zur Basis	Artikelnummer	Wegstrecke zur Basis
45,5	Artikel540	13,9	Artikel1365	59,4
39	Artikel715	19,4	Artikel1367	58,4
35	Artikel554	22,4	Artikel1179	57,4
33	Artikel892	22,4	Artikel1156	55,4
27	Artikel560	24,4	Artikel1144	51,4
25	Artikel734	24,4	Artikel1140	49,4
24	Artikel562	25,4	Artikel1139	49,4
22	Artikel737	25,4	Artikel1209	47,4
14,5	Artikel489	30,9	Artikel1296	45,4
12	Artikel450	42,9	Artikel1259	30,4

Tabelle 9: Bestimmte umzulagernde Artikel

Angenommen, der Artikel 1438, welcher sich in der C-Zone befindet, wird im ersten Durchlauf 8-mal kommissioniert, wohingegen die Artikelnummer 375 aus der B-Zone gar nicht nachgefragt wird. Es bietet sich an, für diese beiden Artikel eine Reorganisation durchzuführen. Wie Tabelle 8 zeigt, befindet sich der Artikel 375 am Lagerplatz „Regal\_Teile125“ im dritten Lagerfach. Artikel 1483 ist im „Regal-Teile480“ im ersten Lagerfach eingelagert.

string	Artikel	Lagerplatz	X	Y	Nummerierung	Zugriffe
101	Artikel371	Regal_Teile124	2	1	371	0
102	Artikel372	Regal_Teile124	3	1	372	0
103	Artikel374	Regal_Teile125	2	1	374	0
104	Artikel375	Regal_Teile125	3	1	375	0

Tabelle 10: Auszug I Lagerplatzzuordnung vor der Reorganisation

1437	Artikel1155	Regal_Teile385	3	1	1155	8
1438	Artikel1260	Regal_Teile420	3	1	1260	8
1439	Artikel1310	Regal_Teile437	2	1	1310	8
1440	Artikel1438	Regal_Teile480	1	1	1438	8

Tabelle 11: Auszug II Lagerplatzzuordnung vor der Reorganisation

Das Excel- Reorganisationstool tauscht für die beiden Artikel den Lagerplatz, das Lagerfach sowie die Nummerierung. Die abgeschlossene Reorganisation für Artikel 375 und Artikel 1438 ist in Tabelle 9 zu sehen.

string	Artikel	Lagerplatz	X	Y	Nummerierung
101	Artikel371	Regal_Teile124	2	1	371
102	Artikel372	Regal_Teile124	3	1	372
103	Artikel374	Regal_Teile125	2	1	374
104	Artikel375	Regal_Teile480	1	1	1438

Tabelle 12: Auszug I Lagerplatzzuordnung nach der Reorganisation

1438	Artikel1260	Regal_Teile420	3	1	1260
1439	Artikel1310	Regal_Teile437	2	1	1310
1440	Artikel1438	Regal_Teile125	3	1	375

Tabelle 13: Auszug II Lagerplatzzuordnung nach der Reorganisation

Bevor im Simulationsmodell die Ladungsträger für den zweiten Kommissionierdurchgang eingespielt werden, wird die Liste mit den neuen Lagerfächern in den programmierten Methoden hinterlegt. Danach findet die Kommissionierung im reorganisierten Lager statt.

Indem diese Prozessschritte für mehrere Reorganisationsgrade durchlaufen wird, lassen sich Aussagen über den Erfolg der Reorganisationsmaßnahmen ableiten.

Werden die Kosten für verschiedene Anteile der umzulagernden Artikel je Klasse berechnet, kann der Kostenverlauf in einem Diagramm abgetragen werden. Abbildung 26 zeigt einen exemplarischen Verlauf der Kosten für verschieden Reorganisationsgrade.

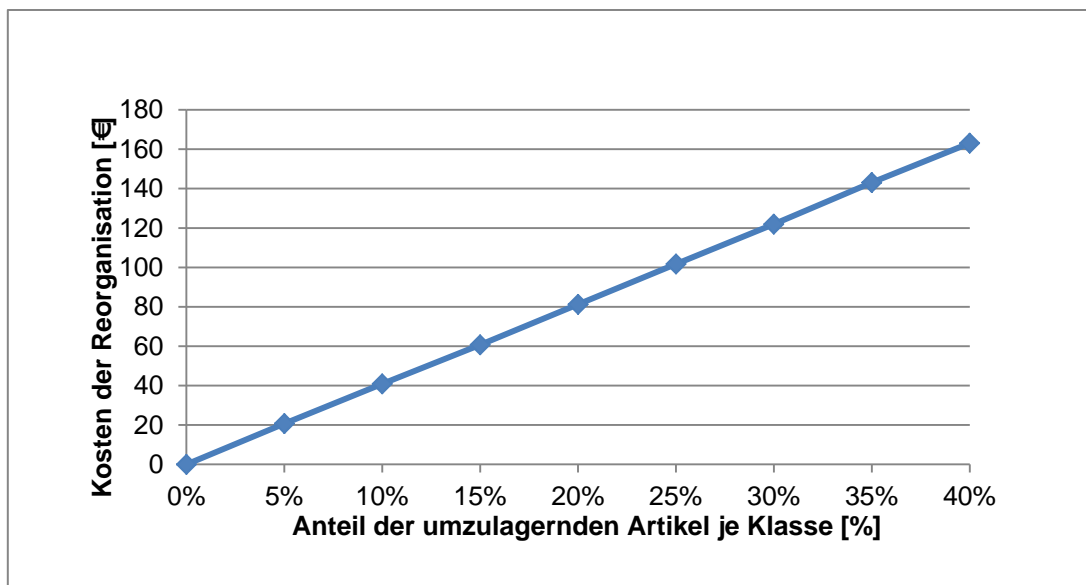


Abbildung 26: Entwicklung der Reorganisationskosten

Neben den Kosten der Umlagerung berechnet das Reorganisationstool auch die Distanzeinsparungen der Kommissionierer, die aus der optimierten Articleinlagerung aufgrund der Reorganisationsmaßnahmen resultieren. Werden die verringerten Wegstrecken über MTM-Bausteine ausgewertet, können Aussagen über die monetäre Einsparung der Kommissionierung pro Artikelzugriff getätigt werden.

In den Abbildungen 27 bis 34 sind die Kosten der Reorganisation und die Einsparungen in Abhängigkeit der Artikelzugriffe für verschiedene Reorganisationsgrade dargestellt. Aus den Diagrammen wird ersichtlich, wie viele Artikelzugriffe in einem Kommissioniersystem für eine lohnenswerte Reorganisation bei einem definierten Reorganisationsgrad erforderlich sind. Der Schnittpunkt der beiden Kurven zeigt den Auslastungsgrad eines Kommissioniersystems (Anzahl der Artikelzugriffe), der für eine effiziente Reorganisation erforderlich ist.

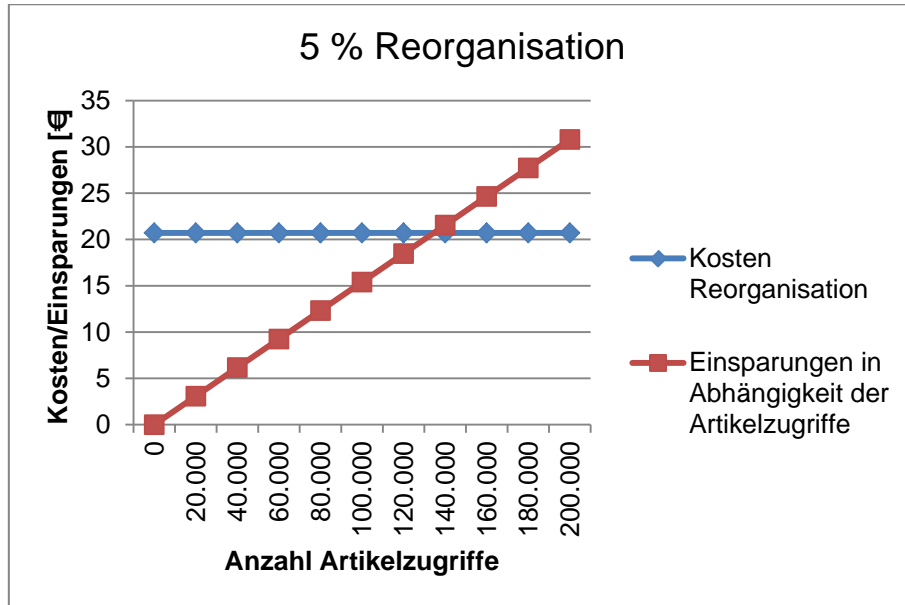


Abbildung 27: Reorganisation von 5 Prozent der Artikel

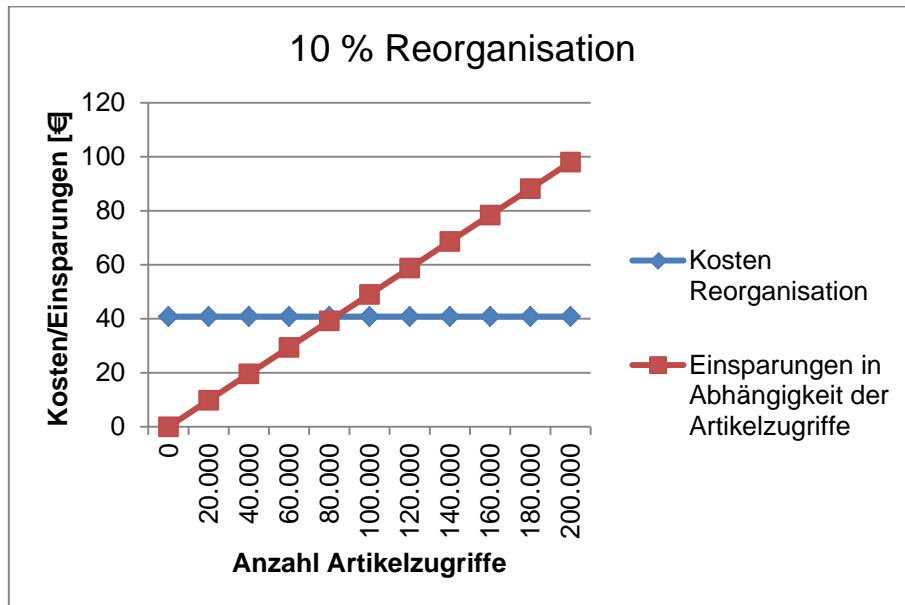


Abbildung 28: Reorganisation von 10 Prozent der Artikel



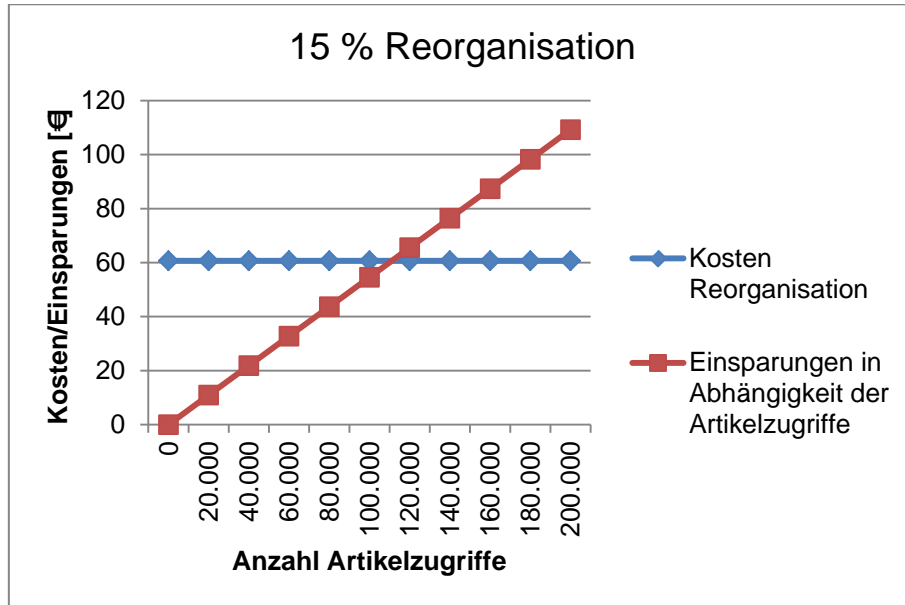


Abbildung 29: Reorganisation von 15 Prozent der Artikel

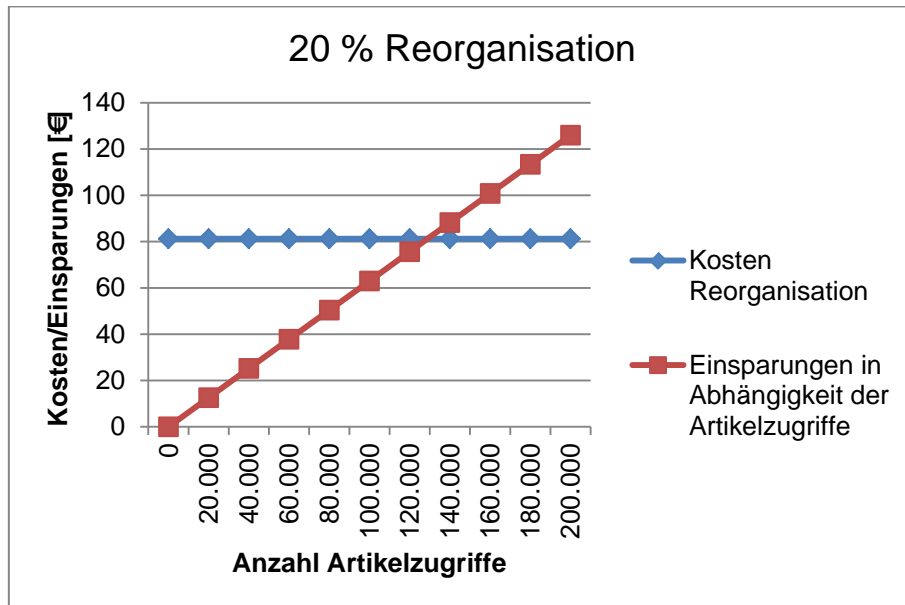


Abbildung 30: Reorganisation von 20 Prozent der Artikel

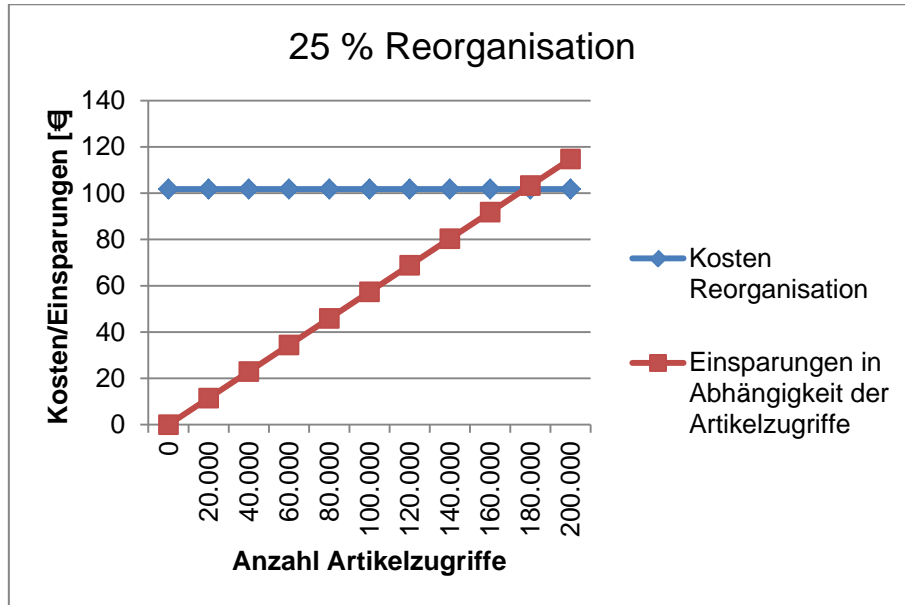


Abbildung 31: Reorganisation von 25 Prozent der Artikel

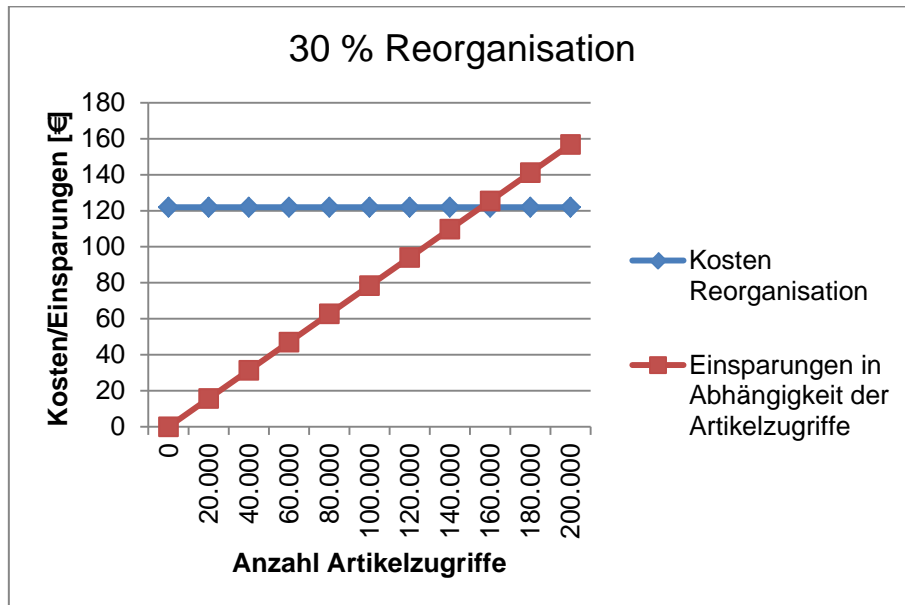


Abbildung 32: Reorganisation von 30 Prozent der Artikel

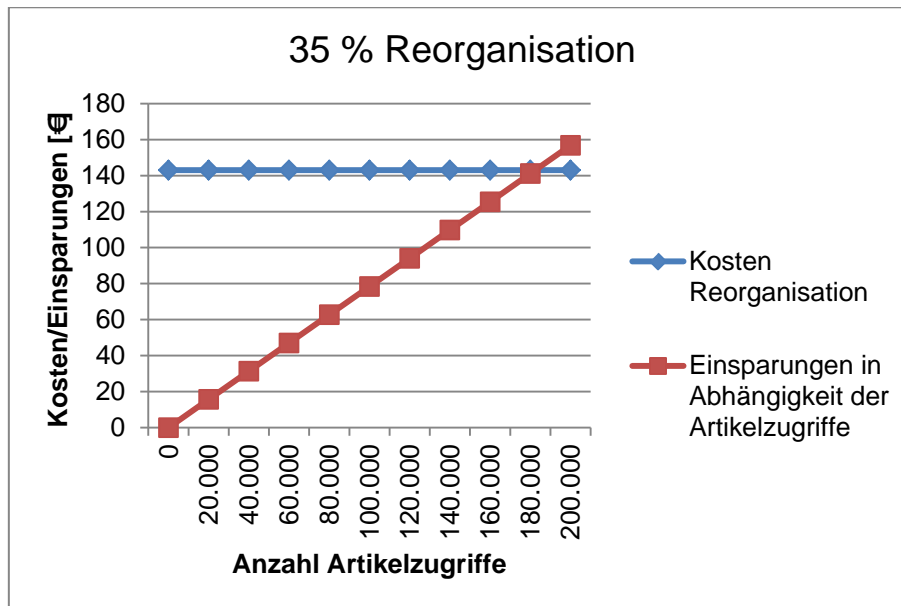


Abbildung 33: Reorganisation von 35 Prozent der Artikel

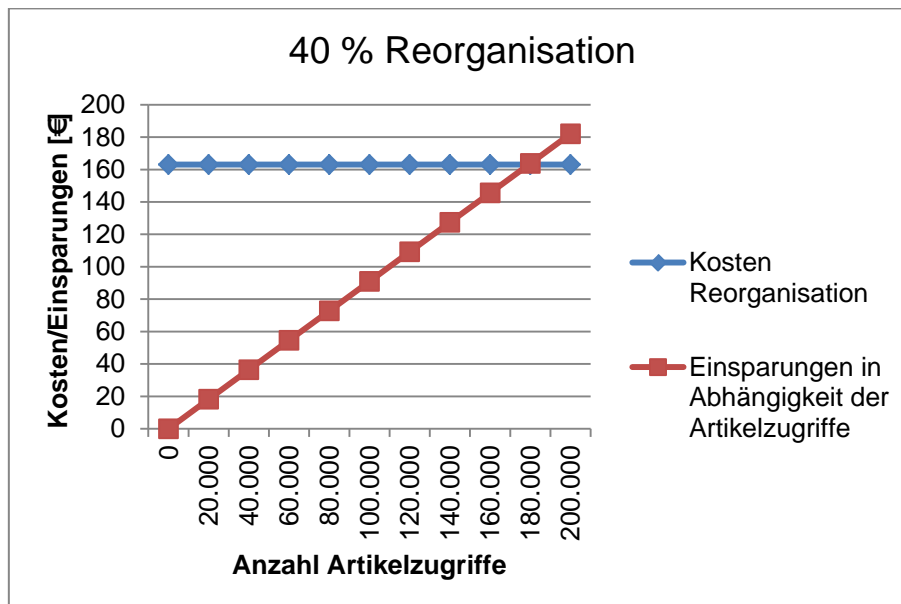


Abbildung 34: Reorganisation von 40 Prozent der Artikel

Im hier verwendeten Beispiel ist eine 20 prozentige Reorganisation ab 128.933 Artikelzugriffen wirtschaftlich. Mit dieser Methode können effiziente Reorganisationsmaßnahmen in Abhängigkeit der Auslastung des Kommissioniersystems getroffen werden sowie auf saisonal bedingte Auslastungsschwankungen reagiert werden. Kommt es beispielsweise durch saisonale Veränderungen zu einem Anstieg oder Abfall der klassenübergreifenden Artikelzugriffe, kann aus den in den Simulationen bestimmten prozentualen Reorganisationsmenge der Umfang der Reorganisationsmaßnahmen abgeleitet werden.

Ergebnis laut Forschungsantrag	Im Forschungsprojekt erzielt Ergebnis
--------------------------------	---------------------------------------

Die Methodik wurde optimiert, so dass sie von Unternehmen mit weniger Aufwand eingesetzt werden kann	Die abschließende Validierung und Evaluation der Methodik erfolgte mit Hilfe eines Simulationsmodells. Die während der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Methodik und das Reorganisationstools mit ein.
--	--

Tabelle 14: Gegenüberstellung der geplanten und erzielten Ergebnisse von Arbeitspaket 5

#### **4.6 AP6&7 Verfassen des Abschlussberichts, Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnistransfer**

Im Rahmen dieser Arbeitspakete erfolgten neben der Erstellung des Abschlussberichts, der dem Anwender des Reorganisationstools auch als Handbuch zur Nachvollziehbarkeit der Methodik dienen soll, die Öffentlichkeitsarbeit sowie der Transfer der Ergebnisse. Diese werden im fünften Kapitel dieses Abschlussberichts erläutert.

#### **4.7 Einsatz von wissenschaftlich-technischem Personal, Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Das Projekt wurde inhaltlich in erster Linie von einem akademischen Mitarbeiter und einer studentischen Hilfskraft bearbeitet. Der akademische Mitarbeiter leitete und koordinierte gleichzeitig den Projektablauf und die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern. Über einen Zeitraum von 24 Monaten beschäftigten sich der akademische Mitarbeiter und die studentische Hilfskraft jeweils zu 100% ihrer Arbeitszeit mit dem Forschungsprojekt. Die Umfänge der Beschäftigungen an der Forschungsstelle betragen 100% bzw. 20%. Angesichts der umfangreichen projektbezogenen Veröffentlichungen und Präsentationen, die die Forschungserkenntnisse übersichtlich darstellen, werden die entsprechenden Arbeiten als angemessen betrachtet.

### **5 Gesamtbeurteilung und Ergebnistransfer in die Wirtschaft**

In diesem Kapitel wird der wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzen der erzielten Ergebnisse vorgestellt, die projektbezogenen Veröffentlichungen und Präsentationen aufgeführt und das Transferkonzept hinsichtlich seiner Realisierbarkeit bewertet.

## 5.1 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der erzielten Ergebnisse

Das Forschungsprojekt, welches in sieben Arbeitspakete untergliedert ist, hat die Entwicklung einer allgemeingültigen Methodik zum Ziel, mit welcher der Reorganisationsaufwand in Kommissioniersystemen bestimmt und die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Maßnahmen bis hin zu vollständigen Reorganisationen bewerten wird.

In Arbeitspaket 1 wurde ein Interviewleitfaden für die Erfassung von Kennzahlen in Kommissioniersystemen erstellt, die für Reorganisationsmaßnahmen von Bedeutung sind. Arbeitspaket 2 hatte die Erstellung einer Methodik zur Durchführung von Umlagermaßnahmen zum Gegenstand.

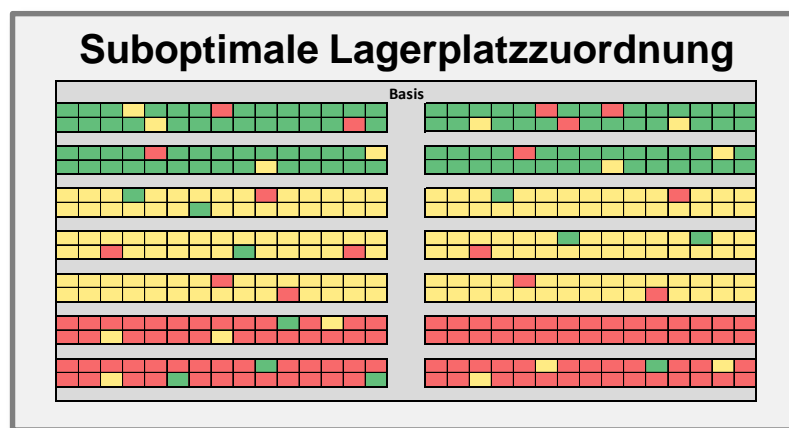


Abbildung 35: Zustand vor der Reorganisation

Basierend auf Daten eines am Projekt beteiligten Unternehmens wird die Reorganisation zunächst manuell durchgeführt. Beispielhaft dargestellt ist der Ausgangszustand in Abbildung 35. Zur Automatisierung dieses Vorgangs wurde auf Basis von Microsoft Excel ein Reorganisationstool entwickelt. Arbeitspaket 3 erweitert die dem Reorganisationstool zugrundeliegende Methodik um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Hierbei werden die Kosten und Einsparungen der Reorganisationsmaßnahmen mittels MTM-Zeitbausteinen vollständig erfasst. Für die Validierung der Methodik wird im Rahmen von Arbeitspaket 4 unter Nutzung von Plant Simulation ein Simulationsmodell erstellt. Das Ergebnis einer solchen Reorganisation könnte wie in Abbildung 36 dargestellt, aussehen. Abschließend werden die Ergebnisse evaluiert und für Unternehmen aufbereitet.

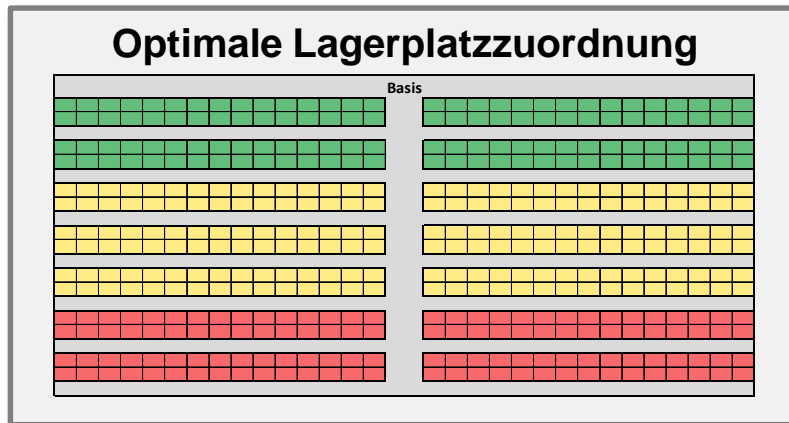


Abbildung 36: Zustand nach der Reorganisation

Wie die Auswertungen der Reorganisationsmaßnahmen zeigen, lassen sich mehrere Ergebnisse in die Wirtschaft transferieren:

Zum einen können Unternehmen effiziente Reorganisationsmaßnahmen in Abhängigkeit des Auslastungsgrades des Kommissioniersystems treffen. Beispielsweise sind während saisonal bedingten Auslastungsschwankungen zielgerichtet Aussagen über die Wirtschaftlichkeit potentieller Reorganisationen möglich. Auch für die laufende Analyse der Wirtschaftlichkeit von Umlagermaßnahmen eignet sich die entwickelte Methodik, denn Unternehmen können zum Beispiel am Monatsende die Anzahl der Artikelzugriffe evaluieren und, sofern erforderlich, Reorganisationsmaßnahmen einleiten. Ebenso werden Unternehmen etwa bei der Planung von Vertriebsaktionen unterstützt, da auf die zu erwartende Nachfrageveränderung mit einer effizienten Lagerbelegung reagiert werden kann.

Zum anderen zeigen die Ergebnisse die aus langfristiger Sicht deutlichen Einsparungspotenziale durch die Reorganisationsmaßnahmen und die daraus resultierenden verkürzten Kommissionierwege. Außerdem wird durch das zugrundeliegende Kennzahlensystem eine höhere Informations- und Kostentransparenz der Kommissionierprozesse erreicht, wodurch die unternehmerische Entscheidungsfindung verbessert wird. Die in Form des Reorganisationstools bereitgestellte Methodik kann von IT-Dienstleistern oder Herstellern in bestehende Lagerverwaltungssysteme implementiert werden.

## 5.2 Auflistung Projektbezogener Veröffentlichungen und Präsentationen

Während der Projektlaufzeit wurde durch verschiedene Veröffentlichungen über den Projektfortschritt und die Ergebnisse berichtet und so deren Transfer ermöglicht. Der unten stehenden Tabelle 12 können diese Transfermaßnahmen entnommen werden.

Art der Transfermaßnahme	Organisation	Datum/Ort
Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschuss	IFT	08.05.2015, Stuttgart
Artikel (David Korte): „Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in Lager- und Kommissioniersystemen“	IFT Jahresbericht 2014/2015	Januar 2016
Vortrag (David Korte): „Reorganisation von Lagersystemen“	14 Internationale Fachmesse für Distribution, Material und Informationsfluss (LogiMAT) 2016	09.03.2016, Stuttgart
Vortrag (David Korte): „Reorganisation von manuellen Kommissioniersystemen“	MASTER:ONLINE Logistikmanagement Forum 2016	29.04.2016, Stuttgart
Vortrag (David Korte): „Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen“	12. WGTL-Fachkolloquium, Universität Stuttgart	28.-29.09.2016, Stuttgart
Posterbeitrag (David Korte): „Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen“	33. Deutscher Logistik-Kongress der Bundesvereinigung Logistik	19.-21.10.2016, Berlin
Wissenschaftliche Veröffentlichung (Karl-Heinz Wehking, David Korte): „Effiziente	Logistics Journal der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik	Oktober 2016

Reorganisationsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen“		
Artikel (David Korte): „Reorganisation von manuellen Kommissioniersystemen“	IFT Jahresbericht 2015/2016	Januar 2017, Stuttgart

Tabelle 15: Erzielte Maßnahmen zum Transfer in die Wirtschaft

Die noch folgenden Transfermaßnahmen nach Ende der Projektlaufzeit sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Art der Transfermaßnahme	Organisation	Datum/Ort
Veröffentlichung des Abschlussberichtes	Homepage Bundesvereinigung Logistik e.V.	September 2017
Veröffentlichung des Reorganisationstools inkl. Bedienungsanleitung auf der Webseite des Institutes	Institut für Fördertechnik und Logistik	September 2017, Stuttgart
Praxisnahe Veröffentlichung	Hebezeuge Fördermittel	September 2017
Heranziehen der Projekterkenntnisse zur Reorganisation des Modelllagers im Rahmen von studentischen Praktika	Institut für Fördertechnik und Logistik	September 2017, Stuttgart

Tabelle 16: Geplante Maßnahmen zum Transfer in die Wirtschaft

### 5.3 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Die Projektfortschritte und Ergebnisse wurden während der Projektlaufzeit im Rahmen von verschiedenen Veranstaltungen und Veröffentlichungen einer großen Zielgruppe zugänglich gemacht. Vorträge und daran anschließende Diskussionen auf internationalen Messen bzw. Kongressen sowie im Rahmen des Fachkolloquiums der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik lieferten zusätzliche Impulse für den Projektfortschritt und trugen zur Erreichung der Projektziele bei.



Die Projektergebnisse konnten, so wie im Antrag dieses Forschungsprojektes geplant, durch die durchgeführten Transfermaßnahmen veröffentlicht und Interessenten aus Industrie und Wissenschaft zugänglich gemacht werden.

## 6 Literaturverzeichnis

Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (Hg.) (2008): Handbuch Logistik. 3. Auflage. Berlin: Springer Verlag.

Bernnat, Rainer (1998): Strategien der Lagerplatzvergabe. Rationalisierungspotentiale im Kommissionierlager. Zugl.: Frankfurt (Main), Univ., Diss., 1997. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Bichler, Klaus; Krohn, Ralf; Riedel, Guido; Schöppach, Frank (2010): Beschaffungs- und Lagerwirtschaft. Praxisorientierte Darstellung der Grundlagen Technologien und Verfahren. 9. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Bindi, Filippo; Manzini, Riccardo; Pareschi, Arrigo; Regattieri, Alberto (2009): Similarity-based storage allocation rules in an order picking system. An application to the food service industry. In: *International Journal of Logistics Research and Applications* 12 (4), S. 233–247.

Carlo, Hector J.; Giraldo, German E. (2010): Optimizing the rearrangement process in a dedicated warehouse. In: *Progress in Material Handling Research*, S. 39–48.

Chen, Lu; Langevin, André; Riopel, Diane (2011): A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. In: *International journal of production economics* 129 (1), S. 147–156.

Christofides, Nicos; Colloff, I. (1973): The rearrangement of items in a warehouse. In: *Operations research: The journal of the Operations Research Society of America* 21 (2), S. 577–596.

Eichhorn, Peter; Merk, Joachim (2016): Das Prinzip Wirtschaftlichkeit. Basiswissen der Betriebswirtschaftslehre. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.

Eizinger, Jürgen; Stelling, Johannes N.; Lindner, Hartmut (2005): Lagerreorganisation unter logistischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten am Beispiel Faserballenlager Lenzing AG.

Eley, Michael (2012): Simulation in der Logistik: Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation". Berlin, Heidelberg: Springer.

Freichel, Stephan L. K. (2002): Distributionsmanagement: Gestaltung internationaler Logistiksysteme. In: *Integrative Management- und Logistikkonzepte*, S. 261–287.

Freidank, Carl-Christian (2012): Kostenrechnung. Einführung in die begrifflichen, theoretischen, verrechnungstechnischen sowie planungs- und kontrollorientierten

Grundlagen des innerbetrieblichen Rechnungswesens sowie ein Überblick über Konzepte des Kostenmanagements. 9. Auflage. München: Oldenbourg Verlag.

Freitag, Kai (1993): Lagerreorganisation in einem mittelständischen Industriebetrieb.

Gu, Jinxiang (2005): The forward reserve warehouse sizing and dimensioning problem.

Gudehus, Timm (2012): Grundlagen, Verfahren und Strategien. 4. Auflage. Berlin: Springer Vieweg.

Hackmann, Steven; Rosenblatt, Meir.; Olin, John M. (1990): Allocating Items to an Automated Storage and Retrieval System. In: *IIE Transactions* 22 (1), S. 7–14.

Heskett, J. L. (1963): Cube-per-order index - A key to warehouse stock location. In: *Transportation and Distribution Management* (3), S. 27–31.

Jaikumar, Ramchandran; Solomon, Marius M. (1990): Dynamic operational policies in an automated warehouse. Estados Unidos: Institute of Industrial Engineers.

Jane, Chin-Chia; Lai, Yih-Wenn (2005): A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. In: *European Journal of Operational Research* 166 (2), S. 489–496.

Käber, André (2014): Warehouse Management mit SAP ERP. 3. Auflage. Bonn, Boston: Galileo Press.

Koch, Sören; Wäscher, Gerhard (2014): Genetische Algorithmen für das Order Batching-Problem in manuellen Kommissioniersystemen. Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss., 2013 u.d.T.: Koch, Sören: Hybride genetische Algorithmen für das Order Batching-Problem in manuellen Kommissioniersystemen. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.

Koether, Reinhard (2014): Distributionslogistik. Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Kofler, Monika; Beham, Andreas; Wagner, Stefan; Affenzeller, Michael; Achleitner, Werner: Re-warehousing vs. healing: Strategies for warehouse storage location assignment. In: 2011 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2011). Budapest, Hungary, S. 77–82.

Kofler, Monika; Beham, Andreas; Wagner, Stefan; Affenzeller, Michael; Achleitner, Werner (Hg.) (2011): Rewarehousing vs. healing: Strategies for warehouse storage location assignment. IEEE 3rd International Symposium on Logistics and Industrial Informatics. Budapest, Ungarn, 2011.

Kofler, Monika; Beham, Andreas; Wagner, Stefan; Affenzeller, Michael; Achleitner, Werner (Hg.) (2012): Slotting Strategien zur Wegoptimierung in dynamischen Logistikzentren. Fakultät für Informatik, Kommunikation und Medien, FH OÖ Studienbetriebs GmbH, zuletzt geprüft am 19.11.2015.

VDI Richtlinie 3590, 1994: Kommissioniersysteme: Grundlagen.

Koster, René de; Le-Duc, Tho; Roodbergen, Kees Jan: Design and control of warehouse order picking. A literature review. Rotterdam: ERIM Verlag (ERIM report series research in management Business processes, logistics and information systems, 2006,005). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/1765/7322>.

Kovács, András (2011): Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics. In: *International journal of production economics* 133 (1), S. 312–318.

Lange, Jörg; Bauer, Frank-Peter; Persich, Christoph; Dalm, Tim; Sanchez, Gunther (2013): Warehouse Management mit SAP EWM. 2. Auflage. Bonn: Galileo Press (SAP Press).

Malmborg, Charles J.; Bhaskaran, Krishnakumar (1990): A revised proof of optimality for the cube-per-order index rule for stored item location. In: *Applied Mathematical Modelling* 14 (2), S. 87–95.

Martin, Heinrich (2016): Transport- und Lagerlogistik. Systematik Planung Einsatz und Wirtschaftlichkeit. 10. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Muralidharan, B.; Linn Richard J.; Pandir, R. A.M. (1995): Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS. In: *International Journal of Production Research* 33 (6), S. 1661–1672.

Neuhäuser, Daniel (2013): Ein Ansatz zur simulationsgestützten Planung und Bewertung von Lagerreorganisationsmaßnahmen am Beispiel des Lebensmitteleinzelhandels. Univ., Diss.-- Stuttgart, 2012. Aachen: Shaker-Verlag (Berichte aus dem Institut für Fördertechnik und Logistik).

VDI-Richtlinie 4990, 2007: Operative Logistikkennzahlen von Wareneingang bis Versand.

Pazour, Jennifer A.; Carlo, Héctor J. (2015): Warehouse reshuffling. Insights and optimization. In: *Transportation research / E* 73 (2015), S. 207–226.

Pfohl, Hans-Christian (2010): Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Auflage. Berlin: Springer Verlag.

Pfohl, Hans-Christian; Zöllner, Werner A. (1991): Effizienzmessung der Logistik. In: *Die Betriebswirtschaft : DBW*.

Pulverich, Michael; Schietinger, Jörg (Hg.) (2009): Handbuch Kommissionierung: Effizient picken und packen. 1. Auflage. München: Vogel Verlag.

Rabe, Markus; Clausen, Uwe (Hg.) (2015): Simulation in production und logistics 2015. Gesellschaft für Informatik; ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (ASIM-Mitteilung, 157).

Sadowsky, Volker; Hompel, Michael ten (Hg.) (2007): Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen. Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 2007. Dortmund: Verl. Praxiswissen.

Siepenkort, André (2013): Methode zur Messung und Bewertung der individuellen Kommissionierleistung in "Person-zur-Ware"-Systemen. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2012. Stuttgart: Institut für Fördertechnik und Logistik.

VDI-Richtlinie 3633, 2013: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.

Stinson, Matthew; Sommer, Tobias; Wehking, Karl-Heinz (2014): Bewertung und Optimierung der Effizienz manueller Tätigkeiten in der Kommissionierung (EfKom). Abschlussbericht AiF 17236/N1. Universität Stuttgart.

Ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria (2011): Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten (2010): Warehouse Management. Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 4. Auflage: Springer-Verlag.

Tompkins, James A. (1996): Facilities planning. 2. Auflage. New York: Wiley Verlag.

Treilcock, Bob (2011): Resolve to slot your warehouse. In: *Modern Materials Handling*, S. 24–28.

Weber, Jürgen; Weißenberger, Barbara E. (2010): Einführung in das Rechnungswesen. Bilanzierung und Kostenrechnung. 8. Auflage. s.l.: Schäffer-Poeschel Verlag.

Weber, Rainer (1993): Werkstattorganisation und Werkstattsteuerung in der Lean Production. Voraussetzungen, Methoden, praktische Beispiele, Umfeldorganisation. Ehningen bei Böblingen: Expert-Verlag (395).

Werner, Hartmut (2014): Kompakt Edition: Supply Chain Controlling. Grundlagen, Performance-Messung und Handlungsempfehlungen. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag (Lehrbuch).

Werner, Martin (2001): Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen. Techn. Univ., Diss.--München. München: Herbert Utz Verlag (Bd. 157).

Westkämper, Engelbert; Zahn, Erich (2009): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Wutthisirisart, Phichet (2010): Relation-based item slotting.

Zdrowomyslaw, Norbert (2001): Kosten-, Leistungs- und Erlösrechnung. 2. Auflage. München: Oldenbourg.

## 7 Anhang

### Anhang 1 Interviewleitfaden

#### Interviewleitfaden zur Erfassung von Kommissioniersystemen



Bei diesem Fragebogen handelt es sich um einen standardisierten Interviewleitfaden des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart. Zur ganzheitlichen Erfassung werden die folgenden vier Themenfelder detaillierter betrachtet:

- 1. Organisationssystem
- 2. Informationssystem
- 3. Materialflusssystem
- 4. Artikel

Am Ende des Interviewleitfadens befindet sich eine Auflistung diverse Begriffserläuterungen, die die Bearbeitung des Fragebogens erleichtern.

## Anhang 1 Interviewleitfaden

### 1. Organisationssystem

#### 1.1 Aufbauorganisation

Wie ist das Kommissioniersystem strukturiert? Werden unterschiedliche technische Systeme eingesetzt? Ist das System in unterschiedliche Arbeitsbereiche unterteilt?

Realisierung		Anmerkungen
Einzoniges <sup>1)</sup> Kommissioniersystem		
Mehrzoniges Kommissionier- system	Bereiche durch Technik <sup>2)</sup>	
	Zonung durch Organisation <sup>3)</sup>	

#### 1.2 Ablauforganisation

Wie werden die Kommissionieraufträge bearbeitet?

Realisierung	Anmerkungen
Einstufige <sup>4)</sup> Kommissionierung	
Zweistufige <sup>5)</sup> Kommissionierung	
Auftragsserielle <sup>6)</sup> Kommissionierung	
Auftragsparallele <sup>7)</sup> Kommissionierung	
Zonenserielle <sup>8)</sup> Kommissionierung	
Zonenparallele <sup>9)</sup> Kommissionierung	

#### 1.3 Betriebsorganisation

Wird die Bearbeitungsreihenfolge der Kommissionieraufträge beeinflusst?

Realisierung	Anmerkungen
--------------	-------------



## Anhang 1 Interviewleitfaden

Keine Veränderung der Reihenfolge		
Veränderung der Reihenfolge		

### 1.4 Kennzahlen

Sind die folgenden Kennzahlen bezüglich des Organisationssystems anhand der Stamm- und Bewegungsdaten bestimmbar?

Kennzahl/Information		Berechnung/Anmerkungen
Anzahl Komm.-Lagerplätze gesamt		-
Anzahl Komm.-Lagerplätze frei		-
Anzahl Komm.-Lagerplätze belegt		-
Anzahl Reserveplätze gesamt		-
Anzahl Reserveplätze frei		-
Anzahl Reserveplätze belegt		-
Belegungsgrad Kommissionierplätze		Anzahl Komm.-Lagerplätze belegt / Anzahl Reserveplätze gesamt
Belegungsgrad Reserveplätze		Anzahl Reserveplätze belegt / Anzahl Reserveplätze gesamt
Lagerorganisationsgrad		Info. ob Lagerplatz richtig oder falsch ist

## 2. Informationssystem

### 2.1 Auftragserfassung

Wie erfolgt die Erfassung der Kundenaufträge?

Realisierung		Anmerkungen
Manuelle Erfassung		
Manuelle, automatische Erfassung		
Automatische Erfassung		

### 2.2 Auftragsaufarbeitung

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Wie werden die Auftragsdaten nach der Auftragserfassung bearbeitet?

Realisierung		Anmerkungen
Bearbeitung von Einzel-aufträgen		
Bearbeitung von Auftragsgruppen		
Bearbeitung von Teilaufträgen		
Keine Bearbeitung		
Manuelle, automatische Bearbeitung		
Automatische Bearbeitung		

### 2.3 Weitergabe

Wie werden die Aufträge in den Kommissionierbereich übermittelt?

Realisierung		Anmerkungen
Übermittlung ohne Beleg		
Übermittlung mit Beleg		
Übermittlung von Einzelpositionen		
Übermittlung mehrerer Positionen		

### 2.4 Identifikationsmittel

Wie erfolgt die Kennzeichnung der Lagerplätze?

Realisierung		Anmerkungen

### 2.5 Vollständigkeitskontrolle

Erfolgt eine Kontrolle der Vollständigkeit?

Realisierung		Anmerkungen
Ja		

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Nein

### 2.6 Quittierung

Wie wird die Entnahme von Artikeln quittiert oder Informationen über Fehlmengen o.ä. übermittelt?

Realisierung		Anmerkungen
Quittierung eines Teilauftrags		
Quittierung je Position		
Quittierung aller Positionen		
Manuelle Informationsübermittlung/ Quittierung		
Manuelle, automatische Informationsübermittlung/Quittierung		
Informationsübermittlung/Quittierung nach Auftragsgruppen		

### 2.7 Inventur

Wie erfolgt die Inventarisierung im Kommissioniersystem?

Realisierung		Anmerkungen
Keine Inventur		
Inventarisierung je Auftrag		
Inventarisierung je Position		

## 3. Materialflusssystem

### 3.1 Transport der Güter zur Bereitstellung

Wie werden die Transporte der Artikel durchgeführt, um sie dem Kommissionierer zugriffsbereit zu machen?

Realisierung		Anmerkungen
--------------	--	-------------

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Kein Transport		
Transport findet statt		
1-dimensionaler <sup>10)</sup> Transport		
2-dimensionaler <sup>11)</sup> Transport		
3-dimensionaler <sup>12)</sup> Transport		
Manueller Transport		
Mechanisierter Transport		
Automatisierter Transport		

### 3.2 Bereitstellung

Wie werden die Artikel für den Kommissionierer am Entnahmeort bereitgestellt?

Realisierung		Anmerkungen
Statische <sup>13)</sup> Bereitstellung		
Dynamische <sup>14)</sup> Bereitstellung		
Zentrale <sup>15)</sup> Bereitstellung		
Dezentrale <sup>16)</sup> Bereitstellung		
Geordnete Bereitstellung		
Teilgeordnete Bereitstellung		
Ungeordnete Bereitstellung		
Einfache Einlagerungstiefe der Artikel		
Doppelte Einlagerungstiefe der Artikel		
Mehrfache Einlagerungstiefe der Artikel		

### 3.3 Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung

Wie bewegt sich der Kommissionierer zum Entnahmeort der Artikel? Wird eine feste Wegstrategie angewandt?

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Realisierung		Anmerkungen
Keine Bewegung des Kommissionierer		
Bewegung des Kommissionierer zum Entnahmeort		
1-dimensionale <sup>10)</sup> Bewegung		
2-dimensionale <sup>11)</sup> Bewegung		
3-dimensionale <sup>12)</sup> Bewegung		
Manuelle Fortbewegung (Laufen)		
Mechanisierte Fortbewegung		
Wegwahl nach Erfahrung		
PC-optimierte Wegstrategie		

### 3.4 Entnahme der Artikel

Wie entnimmt der Kommissionierer die bereitgestellten Artikel?

Realisierung		Anmerkungen
Manuelle Entnahme		
Mechanisierte Entnahme		
Automatisierte Entnahme		
Einzelstückgut Entnahme		
Sammelstückgut Entnahme		
Artikelorientierte Entnahme		
Auftragsorientierte Entnahme		

### 3.5 Transport der Entnahme- bzw. Kommissioniereinheit zur Abgabe

Wie werden die entnommenen Artikel zum Abgabeort transportiert?

Realisierung		Anmerkungen

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Keine Fortbewegung		
Fortbewegung		
Transport durch Kommissionierer		
Transport via Fördermittel		
1-dimensionaler <sup>10)</sup> Transport		
2-dimensionaler <sup>11)</sup> Transport		
3-dimensionaler <sup>12)</sup> Transport		
Manueller Transport		
Mechanisierter Transport		
Automatisierter Transport		

### 3.6 Abgabe<sup>17)</sup> der Entnahme- bzw. Kommissioniereinheit

Wie werden die entnommenen Artikel am Abgabeort abgegeben?

Realisierung		Anmerkungen
Statische <sup>18)</sup> Abgabe		
Dynamische <sup>19)</sup> Abgabe		
Zentraler <sup>20)</sup> Abgabeort		
Dezentraler <sup>21)</sup> Abgabeort		
Geordnete Abgabe		
Teilgeordnete Abgabe		
Ungeordnete Abgabe		

### 3.7 Rücktransport der angebrochenen Lagereinheit

Wie wird eine angebrochene Lagereinheit zurück zum Lagerplatz transportiert?

Realisierung		Anmerkungen
Kein Rücktransport		

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Rücktransport ins Lager		
Rücktransport ins Anbruchlager		
1-dimensionaler <sup>10)</sup> Transport		
2-dimensionaler <sup>11)</sup> Transport		
3-dimensionaler <sup>12)</sup> Transport		
Manueller Rücktransport		
Mechanisierter Rücktransport		
Automatisierter Rücktransport		

### 3.8 Umlagermaßnahmen

Erfolgt eine Umlagerung der Artikel?

Realisierung		Anmerkungen
Ja		
Nein		

### 3.9 Kennzahlen

Sind die folgenden Kennzahlen bezüglich des Materialflusses anhand der Stamm- und Bewegungsdaten bestimmbar?

Kennzahl/Information		Berechnung/Anmerkungen
Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag		Arbeitszeit Kommissionierung / Anzahl Kommissionieraufträge
Zurückgelegte Strecke pro Auftrag		Anhand Layout
Wegzeit pro Auftrag		Zeiterfassung
Zeit pro Position		Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag / Anzahl Positionen
Weg pro Position		Zurückgelegte Strecke pro Auftrag/Anzahl Positionen

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Zeit pro Entnahme		Bearbeitungszeit pro Komm.-Auftrag / Anzahl Entnahmen
Anfahrtshäufigkeit Lagerplatz		-
Zeitbedarf durchgeführter Umlagerungen		-

### 4. Artikel

#### 4.1 Umschlagstrategie

Erfolgt der Umschlag der Artikel nach einer bestimmten Strategie?

Realisierung		Anmerkungen
Ja		
Nein		

#### 4.2 Lagerplatzvergabe

Erfolgt die Zuweisung eines Artikels zu einem Lagerplatz nach einer bestimmten Strategie?

Realisierung		Anmerkungen
Keine bestimmte Strategie		
Feste <sup>22)</sup> Strategie		

#### 4.3 Kennzahlen

Sind die folgenden Kennzahlen bezüglich der Artikel anhand der Stamm- und Bewegungsdaten bestimmbar?

Kennzahl/Information		Berechnung/Anmerkungen
Sortimentsgröße		-
Umschlaghäufigkeit		Wie oft wird der mittlere Lagerbestand in einem Lager pro Jahr umgeschlagen?



## Anhang 1 Interviewleitfaden

Artikelkorrelation		Welche Artikel werden gemeinsam kommissioniert?
Verweildauer der Artikel		-
Vorhersagbarkeit der Nachfrage		-
Saisonalität der Artikel		-

### **Begriffserläuterungen:**

- 1) ***Einzoniges Kommissioniersystem:*** Für alle Produktgruppen wird die gleiche Technik und das gleiche Kommissioniersystem angewendet und es bestehen keine organisatorischen Zonen.
- 2) ***Mehrzoniges Kommissioniersystem – Bereiche durch Technik:*** Zeichnet sich durch den Einsatz verschiedener technischer Teilsysteme für unterschiedliche Produktgruppen aus.
- 3) ***Mehrzoniges Kommissioniersystem – Zonung durch Organisation:*** Aufgrund von abgegrenzten Arbeitsbereichen verfügen Kommissioniersysteme häufig über organisatorische Zonen.
- 4) ***Einstufige Kommissionierung:*** Ein Kundenauftrag wird anhand einer Kommissionier- oder Pickliste zusammengestellt (auftragsweise Kommissionierung).
- 5) ***Zweistufige Kommissionierung:*** Die Prozesse der Entnahme und der Zusammenstellung der Kundenaufträge werden voneinander getrennt und in zwei Schritten durchgeführt (artikelweise Kommissionierung).
- 6) ***Auftragsserielle Kommissionierung:*** Bei dieser Organisationsform wird der gesamte Auftrag in einer Zone abgearbeitet. Ist ein Auftrag abgeschlossen, wird der nächste begonnen.
- 7) ***Auftragsparallele Kommissionierung:*** Hierbei werden mehrere Kundenaufträge zu einer Auftragsgruppe zusammengefasst und synchron in einer Zone von einem Mitarbeiter bearbeitet.
- 8) ***Zonenserielle Kommissionierung:*** Beinhaltet ein Kommissionierauftrag Positionen aus mehreren Zonen, so kann eine zonenserielle Kommissionierung erfolgen, bei der der Auftrag sequenziell alle Zonen durchläuft.
- 9) ***Zonenparallele Kommissionierung:*** Kundenaufträge werden in mehrere Teilaufträge zerlegt, die jeweils zeitlich parallel in den einzelnen Zonen kommissioniert werden.
- 10) ***1-dimensionale/r Bewegung/Transport:*** Beispielsweise eine Rollenbahn oder eine

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Elektrohängebahn.

- 11) **2-dimensionale/r Bewegung/Transport:** Beispielsweise ein Regalbediengerät, welches sich sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung bewegt.
- 12) **3-dimensionale/r Bewegung/Transport:** Beispielsweise Transport durch einen Kran.
- 13) **Statische Bereitstellung:** Die zu greifenden Artikel befinden sich in Ruhe.
- 14) **Dynamische Bereitstellung:** Der Entnahmeprozess erfolgt auf einen bewegten Artikel.
- 15) **Zentrale Bereitstellung:** Die Entnahme findet an einem festen Ort statt.
- 16) **Dezentrale Bereitstellung:** Die Entnahme erfolgt an verschiedenen Orten.
- 17) **Abgabe:** Nachdem die angeforderten Artikel aus den Bereitstellungseinheiten entnommen wurden, müssen diese in eine Sammeleinrichtung oder auf ein Förderband abgelegt werden.
- 18) **Statische Abgabe:** In diesem Fall wird auf eine unbewegte Sammeleinrichtung abgegeben.
- 19) **Dynamische Abgabe:** Das Fördermittel befindet sich in Bewegung (z.B. Stetigförderer).
- 20) **Zentraler Abgabeort:** Abgabe an einem fest installierten Abgabepunkt.
- 21) **Dezentraler Abgabeort:** Die Abgabe der Entnahmeeinheit erfolgt an unterschiedlichen Orten, beispielsweise durch das Mitführen einer Sammeleinrichtung.
- 22) **Feste Strategie:** Jeder Artikel erhält eine feste Zuordnung zu einem Lagerplatz (keine chaotische Lagerplatzvergabe).