

Diplomarbeit

Formen der Kommissionier- bereitstellung in Handelslagern

**Eine Untersuchung auf Anwendbarkeit kombinierter
statischer und dynamischer Materialbereitstellung
im Möbelhandel**

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industrielogistik

Vorgelegt von:

Manfred GRAM, BSc
0335210

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Georg Judmaier
Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits
Leoben, 2. Oktober 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Gram Manfred, BSc

Leoben, 2. Oktober 2013

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Unterstützern, die es mir ermöglicht haben das Studium trotz meiner vielfältigen Nebenbeschäftigungen und Hobbys in akzeptabler Zeit zu beenden.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern, die mich stets angespornt und finanziell unterstützt haben.

Ich danke meinem Bruder, der für die richtige Portion Ablenkung gesorgt hat.

Ich danke weiters auch Judith, die mich durch die entscheidende Phase meines Studienabschlusses begleitet hat.

Weiters danke ich auch meinem Betreuer am Lehrstuhl für Industrielogistik, Georg. Er hat mich immer wieder auf mögliche Verbesserungen der Diplomarbeit hingewiesen (sogar bis knapp vor Ende der Abgabefrist), sodass eine qualitativ hochwertige Arbeit entstanden ist.

Zuletzt bedanke ich mich noch bei allen Freunden, Studienkollegen und Vorgesetzten, ohne die die vergangenen Jahre nicht wesentlich dazu beigetragen hätten mich zu dem zu machen, der ich jetzt bin.

Kurzfassung

Die Kommissionierung in einem Lager stellt einen der größten Kostenverursacher der Lagerwirtschaft dar. Während Gegebenheiten wie Lagerstände, Lagerdrehung oder Saisonalität oftmals von den Entscheidungsträgern des Lagers selber nicht beeinflussbar sind, können dennoch Prozesse möglichst schlank und effizient gestaltet werden. Als bedeutendste Optimierungsmöglichkeiten werden bessere Lagerhaltung, Auftragszusammenfassung, und Routenoptimierung betrachtet.

Speziell in Situationen mit konstant hoher Lagerdrehung und homogenen Produkten kann die Kommissionierung weitestgehend automatisiert, und durch Aufbau von Anlagevermögen der Einsatz von Humankräften substituiert werden. Jedoch eignet sich nicht jede Branche für ein vollautomatisiertes Lagersystem, sei es wegen ausgeprägter Saisonalität oder inhomogenen Produkten.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich deshalb mit dem Thema „Formen der Kommissionierbereitstellung in Handelslagern“, und gibt einen Einblick in bekannte Nachschubssteuerungen und Kommissioniersysteme. Es wird auf die Lagerhaltung samt deren Kernprozessen eingegangen, auf neueste Methoden und Entwicklungen hingewiesen, sowie Strategien der Nachschubssteuerung vorgestellt. Danach werden in einer Fallstudie des Möbelhandels durch Variation der Standardprozesse von Lagerzonung und Platzzuordnung Verbesserungspotentiale identifiziert und verglichen. Der Fokus liegt hierbei auf rein Änderungen der Abläufe, es wird kein zusätzliches Anlagevermögen für diese Varianten benötigt.

Das Ergebnis ist eine Gegenüberstellung der Ist-Situation mit den entwickelten möglichen Soll-Varianten, und Empfehlungen für eine Optimierung der Nachschub- und Kommissionierprozesse. Dabei wurden verschiedene, technisch machbare Szenarien entwickelt, um die daraus resultierenden Verschiebungen von Arbeitsaufwand zwischen den Arbeitsbereiche zu verdeutlichen. Es werden Einsparungspotentiale im zweistelligen Prozentbereich ermittelt, welche abhängig von der eingesetzten Lagertechnik leicht variieren.

Abstract

A very high amount of costs in a warehouse are caused by picking processes. Some factors like stock turnover, seasonality of products or stock level can hardly be influenced by the persons responsible in the warehouse, but it is their duty to define processes as lean as possible. The most effective ways to optimize the efforts needed seem to be better warehousing, batching of orders, and route optimization.

Especially when stock turnover is relatively stable, and product attributes are similar, the picking process itself can be automated. Therefore capital assets rise, and costs for manual work decrease. But if there is a strong variation in workload, or heterogeneous items to be picked, a manual picking process suits best.

This diploma thesis deals with "types of picking replenishment in trading warehouses", and gives an overview about known alternatives in replenishment techniques and picking systems. The associated core processes to warehousing are introduced, and a brief preview in new developments is given.

Next is a case study about methods and processes of picking and replenishing in an Austrian furniture trading company's warehouse. To reach the goal of reducing the effort needed various methods of zoning the reserve and the picking area are worked out and compared. One of the most important constraints is that no rise in capital asset is allowed, so the workload of every scenario developed has to be dealt with the existing amount of staff and equipment!

The result is a comparison of key performance indicators of the existing processes and the possible future scenarios, and a recommendation how to reorganize the processes in order to optimize the picking process and its related supplying actions. Several different set of processes are developed, to visualize the impact of process reengineering on different roles in the warehouse.

A significant decrease of workload can be achieved by reorganizing supplying and picking processes, depending on the used storage techniques the results vary slightly.

Problemstellung

Die Kommissionierung stellt in wenig bis nicht automatisierten Handelslagern eine der größten Kostentreiber dar.¹ Der Einsatz statischer Warenbereitstellung (Prinzip „Mann zur Ware“) verursacht einerseits geringe Kosten der innerbetrieblichen Infrastruktur, andererseits ist der Anteil an nicht wertschöpfender Fahrzeit im Vergleich zu der wertschöpfenden Entnahme der Ware höher. Bei dynamischer Warenbereitstellung (Prinzip „Ware zum Mann“) müssen Aufwände für zusätzliche Manipulation und der Fördereinrichtung berücksichtigt werden, wobei gleichzeitig nicht wertschöpfende Fahrzeiten reduziert werden.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb die Auswirkungen bei einer kombinierten statischen und dynamischen Bereitstellung in einem Kommissionierlager zu untersuchen. Dazu werden Methoden zur Verbesserung des Verhältnisses von produktiver Arbeitszeit zu Leerkosten in der Kommissionierung vorgestellt oder entwickelt. Durch die Prämisse dass lediglich prozessuale Änderungen, ohne Investitionen, durchgeführt werden dürfen, wird das Prinzip „Mann zur Ware“ bei allen vorgestellten Methoden beibehalten. Durch eine dynamische Artikel-Entnahmeplatzzuordnung, geänderte Lagerzonung und Reduktion der im Zugriff befindlichen Artikel wird die Durchlaufzeit von Kommissionieraufträgen verringert, gleichzeitig jedoch auch der Aufwand der Supportprozesse (Nachschub, Umlagerung, Rücklagerung) berücksichtigt und bewertet. Zum Vergleichen der Ergebnisse der betrachteten Ansätze werden Kennzahlen verwendet, welche auf der benötigten Arbeitszeit bzw. der Durchlaufzeit der Aufträge basieren. Die Analyse der Ergebnisse dient als Entscheidungsgrundlage für die eventuelle Umsetzung einer Variante.

Nach einer Einführung in die verschiedenen Gründe für Lagerhaltung werden die vorherrschenden Kostentreiber identifiziert. Besonderer Fokus wird hierbei auf die Lagerung von Handelswaren gelegt, da hier keine Möglichkeit der direkten Wertschöpfung besteht. Es werden verschiedene in der Literatur beschriebenen Methoden zur Ablaufoptimierung vorgestellt, und bezüglich der notwendigen Voraussetzungen wie IT Infrastruktur, oder automatischen Transportsystemen, kategorisiert.

Anhand eines Beispiels des Möbelhandels wird im Rahmen einer Fallstudie die Kombination aus statischer und dynamischer Bereitstellung, und das daraus ergebende

¹ Vgl. Gudehus, T. (2012b), S. 707

Optimierungspotential erarbeitet. Dabei werden auch notwendige Änderungen des innerbetrieblichen Ablaufes dargestellt und bewertet. Ziel ist eine umfassende Analyse als Entscheidungsgrundlage für die Einführung einer derartigen Prozessänderung.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung.....	III
Abstract.....	IV
Problemstellung	V
Inhaltsverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	X
1 Einleitung	1
2 Standardprozesse in der Lagerhaltung	3
2.1 Warenannahme und Wareneingang.....	4
2.2 Einlagerung	6
2.3 Kommissioniervorbereitung	9
2.4 Auslagerung.....	10
2.5 Kommissionierung	16
2.5.1 Aufbauorganisation und Ablauforganisation.....	17
2.5.2 Formen der Kommissionierung	19
2.6 Verpackung.....	22
2.7 Verladung.....	23
3 Gründe für Lagerhaltung	24
3.1 Ausprägungsformen von Lagersystemen.....	25
3.1.1 Bodenlagerung.....	26
3.1.2 Statische Blockregallagerung.....	27
3.1.3 Statische Regallagerung.....	28
3.1.4 Dynamische Regallagerung	32
4 Warehouse Managementsystem (WMS)	34
4.1 Lagerplatzverwaltung (LPV)	35
4.2 Bestandsverwaltung	36
4.2.1 Möglichkeiten der gezielten Warenverteilung im Lager	37
4.2.2 Steuerung der Fördermittel	38
4.2.3 Data Warehouse im Lager.....	39
5 Fallstudie Möbelhandel	41
5.1 Besonderheiten des Möbelhandels.....	43
5.2 Hochregallager – Größe und Ausstattung	43
5.3 IT Infrastruktur	47
5.4 Analyse Ist-Zustand.....	48
5.4.1 Prozessbeschreibung	50
5.4.2 Kennzahlen Ist-Situation	54
5.5 Vorgehensweise Aufbereitung Rohdaten	60
6 Definition der Soll-Prozesse	66
6.1 Prozessbeschreibung Statische K-Platzzuordnung, Variante „Lagerzonung“	69
6.2 Dynamische K-Platzzuordnung	72
6.2.1 Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve über K-Plätzen	79

6.2.2	Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve gesplittet	84
6.2.3	Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve, nur Boxen auf Bodenebene.....	88
7	Ergebnisse	91
7.1	Zusammenhang Zeitersparnis in der Kommissionierung / erhöhter Umlageraufwand	91
7.2	Vergleich der vorgestellten Methoden	93
7.3	Nebeneffekte der vorgestellten Methoden	97
8	Conclusio	101
9	Literaturverzeichnis	102
Anhang	106

Abkürzungsverzeichnis

AKL...	Automatisches Kleinteilelager
COI...	cube-per-order index
FPS...	Freiplatzsuche
FRP...	forward-reserve problem
KEP...	Kurier- Expresspaketdienst (Paketdienstleister)
LO...	Lagerobjekt
LPV...	Lagerplatzverwaltung
LT...	Ladungsträger
LVS...	Lagerverwaltungssystem (engl.: WMS – warehouse management system)
SLS...	Staplerleitsystem
TSP...	Travelling Salesman Problem
WA...	Warenausgang
WE...	Wareneingang
WIP...	Work in progress

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Einlagerstrategien im Überblick nach ten Hompel (2008)	8
Tabelle 2: Auslagerstrategien im Überblick nach ten Hompel (2008)	11
Tabelle 3: Grundfunktionen des Materialflusssystems nach Jünemann, Schmidt (1999)	13
Tabelle 4: Bereitstellvarianten nach ten Hompel (2008)	15
Tabelle 5: Abgabevarianten nach ten Hompel (2008)	16
Tabelle 6: Differenzierung der Lagersysteme nach ten Hompel (2008)	25
Tabelle 7: Differenzierung von Bestandsstati nach ten Hompel (2008)	36
Tabelle 8: Kennzahlen Ist-Situation	92
Tabelle 9: Spezifische Leistung Ist-Situation	92
Tabelle 10: Benötigte Arbeitszeiten je Vorgang pro Variante	94
Tabelle 11: Zeitraster Tätigkeiten	100
Tabelle 12: Kennzahlen Lagerzonung	106
Tabelle 13: Spezifische Leistung Lagerzonung	106
Tabelle 14: Kennzahlen dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung .	106
Tabelle 15: Spezifische Leistung dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung	107
Tabelle 16: Kennzahlen dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung übernächster Kommissioniertag	107
Tabelle 17: Spezifische Leistung dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung übernächster Kommissioniertag	107
Tabelle 18: Kennzahlen dynamische Reserve gesplittet, taggenaue Rücklagerung	108
Tabelle 19: Spezifische Leistung dynamische Reserve gesplittet, taggenaue Rücklagerung .	108
Tabelle 20: Kennzahlen dynamische Reserve gesplittet, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages	108
Tabelle 21: Spezifische Leistung dynamische Reserve gesplittet, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages	109
Tabelle 22: Kennzahlen dynamische Reserve auf Bodenebenen, taggenaue Rücklagerung	109
Tabelle 23: Spezifische Leistung dynamische Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung	109
Tabelle 24: Kennzahlen dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages	110
Tabelle 25: Spezifische Leistung dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages	110
Abbildung 1: Kernprozesse in einem Lager	4
Abbildung 2: Das Zielviereck	24
Abbildung 3: Schematische Darstellung Regal	44
Abbildung 4: Grundriss Hochregal	45

Abbildung 5: A-Box, B-Box, C-Box	46
Abbildung 6: Flurfördergerät.....	46
Abbildung 7: Hochregalstapler.....	47
Abbildung 8: Parameter Freiplatzsuche FPS	49
Abbildung 9: Modellierung Einlagerstrategie	50
Abbildung 10: Ist-Situation Kommissionierzonung, Grundriss	54
Abbildung 11: Ist-Situation Kommissionierzonung, Aufriss	54
Abbildung 12: Zugriffsverteilung Hochregal	55
Abbildung 13: Ist-Situation: Größe der Kommissionieraufträge [Zugriffe].....	56
Abbildung 14: Ist-Situation: Dauer der Kommissionieraufträge [Stunden]	57
Abbildung 15: Ist-Situation: Vergleich DLZ / PDLZ der Kommissionieraufträge [Sekunden].....	57
Abbildung 16: Ist-Situation: Anteil Fahrzeit an Kommissionierzeit je Kommissionierauftrag	58
Abbildung 18: Verteilung Ladungsträgertypen	59
Abbildung 17: Auswertung Artikel im Zugriff	59
Abbildung 19: Arbeitsaufwand Schnellläufer	60
Abbildung 20: Vorgehensweise Fallstudie	61
Abbildung 21: Stetigkeit Topseller nach Kommissionieraufträgen – Top 150 Artikel	62
Abbildung 22: Stetigkeit Topseller nach Kommissionieraufträgen – Top 450 Artikel	63
Abbildung 23: Stetigkeit Topseller nach entnommenen Stück – Top 150 Artikel	64
Abbildung 24: Stetigkeit Topseller nach entnommenen Stück – Top 300 Artikel	65
Abbildung 25: Zielkonflikt Kommissionierplatzvergabe	68
Abbildung 26: Logische Zonung des Lagers nach Zugriffshäufigkeit, Grundriss	70
Abbildung 27: Fahranteile bei wöchentlicher Lagerzonung	71
Abbildung 28: Verteilung Nachschub nach LT-Typ	73
Abbildung 29: Anzahl an Artikel im Zugriff	75
Abbildung 30: Anzahl an bereitzustellenden Artikeln dynamische Kommissionierung.....	76
Abbildung 31: Entwicklung Fahranteile je Woche (taggenaue Rücklagerung)	77
Abbildung 32: Anzahl Umlagerungen bei taggleicher Rücklagerung	78
Abbildung 33: Anzahl Umlagerungen Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages.....	78
Abbildung 34: Entwicklung Fahranteile je Woche (Berücksichtigung übernächster Komm-Tag)	79
Abbildung 35: Prinzipdarstellung Zonung der Regale, Aufriss	80
Abbildung 36: dynamische Reserve vollständig über Komm-Zone, Aufriss	81
Abbildung 37: Dynamische Kommissionierzone – taggleiche Rücklagerung, Grundriss	82
Abbildung 38: Dynamische Kommissionierzone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages, dynamische Reserve über Komm-Zone, Grundriss	83
Abbildung 39: Aufriss reduzierte dyn. Reservezone taggenaue Rücklagerung, Seitenriss	85
Abbildung 40: reduzierte dyn. Reservezone taggenaue Rücklagerung, Grundriss	86

Abbildung 41: Aufriss reduzierte dyn. Reservezone Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages, Seitenriss	87
Abbildung 42: Reduzierte dyn. Reservezone unter Berücksichtigung des übernächsten Komm- Tages, Grundriss	88
Abbildung 43: Seitenriss reine Boxenlagerung	89
Abbildung 44: logische Zonung nur Boxen in dynamischer Reserve, taggenaue Rücklagerung, Grundriss	90
Abbildung 45: logische Zonung nur Boxen in dynamischer Reserve, 2 tagesgenaue Rücklagerung, Grundriss	90
Abbildung 46: Entwicklung des Arbeitsaufwandes je Variante	95

1 Einleitung

Lagerhaltung ist unweigerlich mit Kosten verbunden. Dies ist bereits lange bekannt, jedoch wurde erst 1996 wurde durch wissenschaftliche Studien von Coyle u.A. herausgefunden, dass bis zu 65% aller Kosten in einem Lager alleine durch die Kommissionierung entstehen können.² Davon entfallen laut Tompkins (1996) bis zu 50% auf nicht produktive Fahrzeiten.³ Bartholdi und Hankman (2007) nennen diese Fahrzeit sogar Verschwendung, da Arbeitszeit für nicht wertschöpfende Tätigkeiten verwendet wird.⁴

Daraus lässt sich ein großes Einsparungspotential ableiten, welches primär durch Zonung in Lager- und Kommissionierbereiche, und durch Umstrukturierung von Prozessen ausschöpfbar wird. Durch die räumliche Trennung können prinzipiell gegenläufige Optimierungsmaßnahmen in der Lagerung und der Kommissionierung durchgeführt werden. Die Größe des Kommissionierbereiches ist stets den betrieblichen Gegebenheiten anzupassen, da durch kurze Kommissionierwege schnellere Auftragsbearbeitung, und damit höhere spezifische Leistung je Mitarbeiter erreichbar ist. Oftmals gibt es keine klare Trennung zwischen Lager- und Kommissionierbereichen, insbesondere bei großer Artikelvielfalt mit stark unterschiedlichen Zugriffszahlen kann eine bewusste direkte Entnahme aus der Lagerzone wirtschaftlich sinnvoll sein, etwa bei Artikeln mit nur schlechter Lagerdrehung (Z, und Teile von Y-Artikeln einer XYZ Analyse). Die Kommissionierung der X-Artikeln, mit hohem und konstanten Durchsatz, muss dafür sehr effizient durchgeführt werden – hier müssen die Wege möglichst minimiert, und die Totzeiten bei der Abarbeitung von Kommissionieraufträgen reduziert werden.

Die Routenoptimierung innerhalb zweier Gänge stellen Ratliff und Rosenthal (1983) in den Mittelpunkt ihrer Forschung.⁵ Goetschalckx und Ratliff erweiterten dieses Modell 1988 um den Aspekt der eingeschränkten beidseitigen Zugriffsmöglichkeit innerhalb eines Ganges, welche nur durch Bewegen innerhalb des Ganges lösbar ist – etwa bei sehr breiten Fahrwegen.⁶

² Vgl. JJ. Coyle, EJ Bardi (1996), S. 162 f.

³ Vgl. Tompkins, J.A, u.A. (1996), S. 5

⁴ Vgl. Bartholdi, J.J., Hankman, S.T. (2011), S. 13

⁵ Vgl. Ratliff, H.D., Rosenthal, A.S. (1983), S. 507

⁶ Vgl. Goetschalckx, M., Ratliff, H.F. (1988), S. 62

Laut Bozer (1985) besteht auch die Möglichkeit eine Vermischung von Lager- und Kommissionierbereichen durchzuführen, etwa in Regallagern. Hier werden die für den Kommissionierer erreichbaren Ebenen für die Kommissionierung, und die darüber liegenden Ebenen für die Lagerung verwendet.⁷ Daraus ergeben sich zwar kurze Nachschubswege, jedoch lange Kommissionierwege.

Hackman und Rosenblatt (1990) beschäftigten sich mit der Entscheidung welche Produkte in welcher Menge in der Kommissionierzone, und welche direkt aus dem Lagerbereich zu entnehmen sind. Sie benannten dieses Problem ‚forward-reserve problem‘ (FRP), und stellten erstmalig ein Modell zur Problemlösung auf.⁸ Diese Heuristik hat die Minimierung der Kosten für sowohl Nachschub, als auch für die Kommissionierung als Ziel. Dabei werden zuerst die notwendigen Mengen je Produkt erhoben, und danach der Kommissionierzone zugeordnet bis der verfügbare Platz belegt ist oder die Umlagerungen vollständig durchgeführt wurde.

Da dabei die Größe des Kommissionierbereiches vorgegeben ist erweiterten Frazelle u.A. (1994) das Modell um die Berechnung der optimale Größe dieser.⁹ Die Kosten für Nachschub und Kommissionierung werden in Abhängigkeit von der Größe der Kommissionierzone gesetzt, was zu einer mathematischen Optimierung des Problems führt. Van den Berg (1997) erweiterte das bekannte Modell erneut.¹⁰ Erstmals wird auf das richtige Timing des Nachschubes Rücksicht genommen, um „günstige Gelegenheiten“ für einen Nachschub zu nützen, dies wird durch Unterteilung der Arbeitszeit in Kommissionier-, und in Nachschubphasen erreicht. Durch diese Trennung können einerseits die Prozesse gebündelt durchgeführt werden, was eine Optimierung durch die Bildung größerer „Arbeitspakete“ etwa je Gang hervorruft, aber auch eine gezielte und raschere Abarbeitung der Kommissionieraufträge durch Parallelisierung der Aufträge genützt werden. Auch kann damit eine Trennung nach Arbeitszeiten erfolgen, etwa bei gestaffelten Arbeitszeiten je „Rolle“, oder aber auch eine gänzliche Entflechtung durch völlige Trennung von Schichtenmodell und Tätigkeiten. Van den Berg (1997) entwickelte angesichts dieser Erweiterung ein eigenes Berechnungsmodell für dieses FRP, um die optimale Größe der Kommissionierzone und der Anzahl der darin befindlichen Artikel zu ermitteln.

⁷ Vgl. Y.A. Bozer (1985), S. 3 f.

⁸ Vgl. S.T. Hackman, M.J. Rosenblatt (1990), S. 7

⁹ Vgl. E.H. Frazelle, S.T. Hackman, U. Passy, L.K. Platzman (1994), S. 4361 ff.

¹⁰ Vgl. J.P. van den Berg, G.Sharp, A.J.R.M. Gademann (1998), S. 98

Auch die Variante der Vervielfachung der Entnahmeplätze je Artikel wurde mathematisch beschrieben – durch eine Abänderung des Travelling Salesman Problems (TSP) beschrieben Daniels und Rummel (1998) die maximale Systemgröße, ab der eine Mehrfachplatzierung Vorteile bringt.¹¹ Diese Methode nimmt allerdings keine Rücksicht auf die maximal erlaubte Lagerdauer, weshalb sie nur in ausgewählten Branchen Anwendung findet. Ho und Chien (2006) verglichen zwei verschiedene Ansätze der Kommissionierreihenfolge. Dabei wurde festgestellt, dass eine dynamische Routenführung die Gesamtdurchlaufzeit eines Kommissionierauftrages im Vergleich zu einer starr vorgegebenen Reihenfolge reduziert.¹²

Wesentliche Einflüsse der Lagerplatzvergabe auf die Effektivität des Lagersystems wurden bereits 1991 wissenschaftlich untersucht. Während Jarvis und McDowell die Entnahmehäufigkeit als Basis für ihre Untersuchungen gewählt haben, war für Gibson und Sharp (1992) die Kombination aus Häufigkeit und Kubatur entscheidend.^{13,14}

Dekker, De Koster u.A. haben 2004 erstmalig das Gesamtoptimum der Kommissionierreihenfolge und dem daraus für den Kunden entstehenden Aufwand beschrieben.¹⁵ Ho und Liu haben den Übergang eines chaotischen Lagers zu einer geordneten Einlagerung beschrieben (2005).¹⁶ Dabei wurden Kennzahlen für verschiedene Varianten der Zonung ermittelt, und mit einander verglichen.

Die wesentlichen Kernprozesse der Lagerhaltung sind in den folgenden Teilkapiteln dargestellt. Dabei liegt der Fokus auf die Waren bewegende Prozesse, unterstützende Nebenprozesse werden lediglich vorgestellt sofern sie Einfluss auf die Warenflüsse haben. Darauf aufbauend werden auf die Ausprägungsformen der Lagerhaltung sowie die Datenerfassung eingegangen, und Szenarien der möglichen Reorganisation der Lagerhaltung in einer Fallstudie entwickelt.

2 Standardprozesse in der Lagerhaltung

Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Prozesse des Materialflusses in einem Kommissionierlager im Überblick.

¹¹ Vgl. R.L. Daniels, J.L. Rummel (1998), S. 1

¹² Vgl. Chien, S.P., Ho, Y.C. (2006), S. 426 f.

¹³ Vgl. Jarvis, J.M., Mc.Dowell, E.D. (1991), S. 93

¹⁴ Vgl. Gibson, D.R., Sharp, G.P. (1992), S. 57

¹⁵ Vgl. Dekker, R., De Koster, M.B.M., Roodbergen, K.J., Van Kalleveen, H. (2004), S. 303 f.

¹⁶ Vgl. Ho, Y.C., Liu, C.F. (2005), S. 342

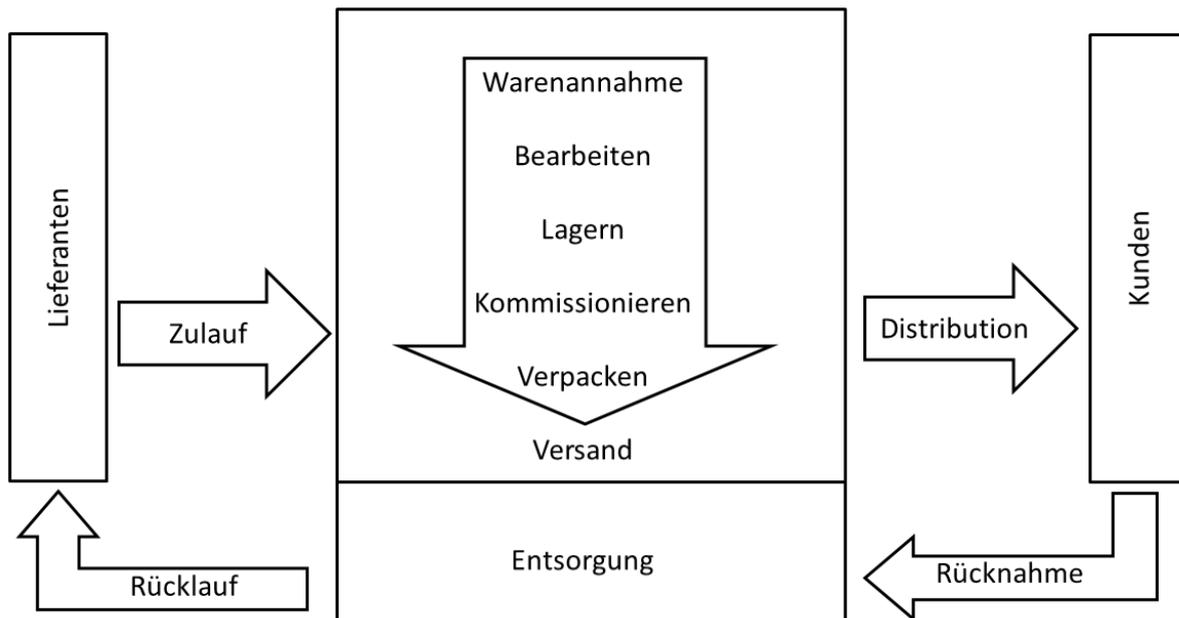


Abbildung 1: Kernprozesse in einem Lager¹⁷

2.1 Warenannahme und Wareneingang

Dem Materialfluss voreilend ist der Informationsfluss – ein Auftrag geht bei einem Lieferanten ein und wird bearbeitet, so ten Hompel (2008).¹⁸ Im rechtlichen Sinn wird das Geschäftsverhältnis aber erst durch die Reaktion des Lieferanten, etwa durch eine Auftragsbestätigung, Avisierung oder Lieferung, bindend.

Während die Auftragsbestätigung lediglich eine voraussichtliche Lieferwoche definiert, wird durch die kurz vor Lieferung erfolgte Avisierung der genaue Anliefertag, bzw. abhängig von den definierten Wareneingangsprozessen des Kunden auch ein Anlieferzeitfenster definiert. Ten Hompel (2008) definiert den Hauptnutzen in der Reduktion sowohl von Auslastungsspitzen bei der Entladung, als auch Stehzeiten der Lieferanten bzw. Spediteure.¹⁹

- Warenannahme: Bei diesem Prozessschritt werden die Informationen aus dem Lieferaviso mit dem Lieferschein verglichen, und bei positiver Übereinstimmung die weitere Vereinnahmung gestartet. Während bei Lagern mit hoher Anlieferfrequenz Warenannahme und Wareneingang physisch getrennt sein können, und damit eine Planung der Entladezonen hinsichtlich der Auslastung kurzfristig erfolgen kann,

¹⁷ Nach Gudehus, T. (2012a), S. 20

¹⁸ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 23

¹⁹ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 23

wird in kleineren Lagern dieser Prozess oftmals an derselben Stelle des Lagers wie die Warenvereinnahmung durchgeführt.

Auch können an dieser Stelle weitere vorbereitende Tätigkeiten des Wareneingangsprozesses durchgeführt werden, etwa die Vorbereitung geeigneter Ladeträger bei einer in diesem Schritt definierten Wareneingangsfläche, oder auch Bereitstellung von Identifizierungsmöglichkeiten für die zu vereinnahmenden Güter (Barcode Labels, RFID Tags,...).

- Beim Wareneingang erfolgen Prüfungen hinsichtlich Quantität (entspricht die gelieferte Menge der Menge laut Versandpapieren) und Qualität der Güter – ist die Ware korrekt ausgezeichnet, unbeschädigt,... Stichprobenartig können auch genauere Prüfungen als Qualitätssicherung an dieser Stelle erfolgen. Abhängig von den firmeninternen Vorgaben können diese von einer reinen Sichtprüfung bis hin zu Laborprüfungen reichen, wo bspw. Legierungen oder Oberflächengüten geprüft werden. Sollten an dieser Stelle Mängel festgestellt werden muss die weitere Vorgehensweise definiert werden – die Möglichkeiten reichen hierbei von einer Ablehnung der Lieferung bis hin zur Vereinnahmung und Sperre der Ware. Auch sind Stammdatenprüfungen bei dem Prozessschritt des Wareneinganges durchzuführen, etwa von Gewichten, Abmessungen, Chargennummern oder Gebindegrößen.
- Bildung von Lagereinheiten: In einem modernen Lager mit einem heterogenen Produktspektrum können verschiedenste Ladungsträger zum Einsatz kommen. Der Umfang dieser kann von genormten EURO oder Chemiepaletten, über Rollboxen bis hin zu Plastikwannen für Fachbodenregallager reichen. Diese verschiedenen Ladungsträger erfüllen unterschiedliche Zwecke, von der Transportsicherheit innerhalb des Lagers bis hin zu vereinfachtem Handling der Lagereinheit oder erhöhten Raumnutzung innerhalb eines Regalfaches.

Diese Ziele können von den Bedürfnissen des Transporteurs, hinsichtlich maximaler Raumauslastung am LKW bzw. möglichst einfaches und schnelles Entladen, abweichen – deshalb kann beim Wareneingang der Ware durch Umschichten eine Adaption auf die firmeninternen Materialflussanforderungen erreicht werden.

Vor Allem bei hochautomatisierten Materialflusssystemen sind enge Toleranzgrenzen bei den Lagereinheiten zwingend einzuhalten. Sollte beispielsweise eine Palette zu stark beschädigt sein muss die Ware auf unbeschädigte Ladehilfsmittel um-

geschichtet, und gegebenenfalls neu gesichert werden. Dieser Vorgang kann bereits vollautomatisch durch Palettenwender erfüllt werden, dadurch entfällt manuelle und schwere Arbeit, bei gleichzeitiger Durchsatzerhöhung an der Wareneingangsfäche.

Erst bei positivem Ergebnis sämtlicher bisher durchgeführten Prüfungen wird der Vereinnahmungsprozess begonnen.

- Bei der Vereinnahmung wird der eigentliche Wareneingang gebucht. Abhängig von der gewählten Buchungsstrategie kann eine Komplettbuchung der gelieferten Ware direkt auf einen Lagerplatz erfolgen, oder man bildet systemtechnisch Lagereinheiten („LO“) – diese definieren sich anhand des gebuchten Artikels, in der jeweiligen Menge je Ladungsträger, wobei jedes LO individuell gekennzeichnet und damit verfolgbar sein muss. Diese Einheit wird anhand der zu hinterlegenden Attribute wie Gesamtabmessung, und einem automatisch berechneten Gesamtgewicht vollautomatisch innerhalb eines modernen Lagerverwaltungssystems („LVS“) der optimale Lagerplatz berechnet. Durch das Buchen des Wareneinganges wird im bestandsführenden System der Lagerstand erhöht, und gleichzeitig eine Anlieferbestätigung zur Rechnungsbestätigung in der Warenwirtschaft erstellt.

2.2 Einlagerung

Die Durchführung der physischen Einlagerung kann, abhängig von der Lagersystemgröße und der Arbeitsteilung, ein- oder mehrstufig, manuell, halb- oder vollautomatisch, sein. Während bei der einstufigen Einlagerung die Lagereinheiten direkt vom Wareneingang an den endgültigen Lagerplatz verbracht werden gibt es bei mehrstufigen Verfahren zusätzlich noch verschiedene Übergabeflächen, und damit Schnittstellen in der Verantwortung des Transportes, so ten Hompel (2008).²⁰

- Verteilung auf Lagerbereiche: Moderne LVS ermöglichen die Warenverteilung durch verschiedenste Optimierungsparameter. Möglich sind beispielsweise eine gezielte Streuung der Lagereinheiten auf mehrere Bereiche, um zu verhindern dass für nur wenige Artikel eine wegoptimierte Einlagerung erfolgt, während für andere, später gebuchte Waren, als direkte Konsequenz längere Nachschubswege resultieren. Vielfach gibt es auch die Möglichkeit Teile der zuvor gebuchten Lagerein-

²⁰ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 29 f.

heiten direkt auf Schnelldreherflächen zu verbringen, etwa wenn bekannt ist dass bestimmte Mengen innerhalb kurzer Zeit für bereits überfällige Kundenbestellungen benötigt werden.

Durch den Einsatz von per Funk verbundenen Terminals ist eine durchgängige Informationskette über den Aufenthaltsort, und das zu erreichende Fahrziel gegeben. Durch Bestätigen des Aufnehmens oder Abstellens von Lagereinheiten wird der Materialfluss durchgängig abgebildet, und damit transparent gestaltet – per Track and Trace ist eine realtime Bestandsverfolgung und –abbildung möglich!

- Vergabe des Lagerplatzes: Dieser Prozessschritt kann anhand verschiedenster Parameter und Gewichtungen in optimierender Form erfolgen. Auf Basis gegebener Faktoren errechnen moderne LVS den optimalen Lagerplatz für jede einzelne Lagereinheit, oftmals unter einer Vielzahl an Restriktionen. Diese können beispielsweise maximale Traglasten von Regalfächern beinhalten, Sperre bestimmter Lagerbereiche wegen spezieller Artikelattribute wie Temperaturempfindlichkeit oder Gefahrgut, aber auch andere Regalfachattribute wie die erlaubten Ladehilfsmittel (bspw. dürfen Europaletten nur bei Vorhandensein geeigneter Querbalken für die Absicherung gegen Durchbrechen in Regalen eingelagert werden).

Weiters besteht die Möglichkeit der Positionierung im Zielkonflikt kurze Einlagerwege gegenüber kurzen Nachschubswegen, und kurze Transportwege gegenüber optimaler Raumausnutzung im Lager. Ebenso müssen moderne LVS etwaige Restriktionen bezüglich möglichst gleichmäßiger Gewichtsbelastung, speziell bei dynamischen Lagersystemen, berücksichtigen.

Tabelle 1 stellt hierbei einen Überblick über die gängigsten Optimierungsansätze bei der Vergabe von Lagerplätzen dar, wobei die Spalten bezüglich der Kompatibilität Methoden gegenläufiger Ziele identifizieren.

Tabelle 1: Einlagerstrategien im Überblick nach ten Hompel (2008) ²¹

Bezeichnung	Strategie	Zielsetzung	untereinander kompatibel			
Festplatzlagerung	-) feste Zuordnung eines Lagerplatzes zu einem Artikel	-) Zugriffssicherheit bei Systemausfall des WMS -) "Finden" der Ware durch Gewohnheit erleichtert	x	x		
Chaotische Lagerung	-) Lagerung auf beliebigen Lagerplätzen möglich	-) Erhöhung des Lagernutzungsgrades			x	x
Querverteilung	-) bewusste Verteilung der Lagerplätze eines Artikels im Lager	-) Verfügbarkeit trotz Ausfall eines RBG's -) Wegeoptimierung durch Erhöhung der Möglichkeiten für einen Algorithmus	x	x	x	x
Zonung	-) Lagerplatzzuordnung nach Zugriffshäufigkeit	-) Verringerung der durchschnittl. DLZ durch Wegeoptimierung	x		x	
Clustering	-) nahe Lagerung logischer Folgeartikel	-) Wegereduktion durch Verringerung der mittleren Anschlusswege		x		x
kürzester Fahrweg	-) Anfahrt des Lagerplatzes mit kürzestem Weg	-) Erhöhung der Umschlagsleistung durch Minimierung der Anschlusswege	x	x	x	x
Vorpufferung	-) Einlagerung auf vorderen Lagerbereich	-) Vermeidung von Rückstau durch Erhöhung des Durchsatzes			x	x

- Einlagerung: Nach Vergabe des Lagerplatzes wird dieser innerhalb des LVS für die einzulagernde Lagereinheit reserviert, und die Ware entweder per ein- oder mehrstufigem Transport zu diesen Lagerplatz verbracht. Dabei ist es notwendig dass der Transport der Einheit am Lagerplatz quittiert, und der Transportauftrag damit abgeschlossen wird. Diese Schritte werden jeweils im Lagerbuch, siehe Kapitel 4.2.3, protokolliert. Im Hintergrund wird der Bestand auf diesem Lagerplatz erhöht, und steht damit zur Verplanung zu Verfügung.

Der für die Entnahme in statischen Mann-zur-Ware Kommissioniersystemen verwendete Lagerplatz wird bereits beim Wareneingang festgelegt. Laut Muppani und Adil

²¹ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 32

(2008) wird hierbei bereits der Großteil an zukünftig anfallenden Kosten definiert.²² Diese Zuordnung zählt laut Frazelle und Sharp (1989) zu den np-schweren Problemen, weshalb oftmals lediglich Heuristiken für die Zuordnung eingesetzt werden.²³ Petersen und Gerald (2004), sowie Hausman, Schwarz und Graves (1976) teilen die statischen Zuordnungsmethodiken in drei Kategorien:^{24,25}

- Zufällige Zuordnung: Diese Form der Platzzuordnung wird speziell für Lager mit ähnlichen physikalischen Attributen der Lagerobjekte verwendet. Dadurch wird eine Gleichverteilung der Ware in den zu Verfügung stehenden Plätzen erreicht, und der zu Verfügung stehende Platz vollständig genützt.
- Volumenabhängige Zuordnung: Heskett hat bereits 1963 den sogenannten COI (cube-per-order index) beschrieben, welcher dazu verwendet wird großvolumigen Artikeln mit hoher Lagerdrehung Plätze möglichst zu Beginn des Lagersystems zuzuordnen.²⁶ Die Effizienz einer derartigen Zuordnung haben Caron, Marchet und Perego (1998) untersucht, und signifikante Steigerungen der Kommissionierleistung festgestellt.²⁷
- Klassifizierte Zuordnung: Innerhalb definierter Kommissionierzonen werden Artikel der passenden Klassifizierung zufällig angeordnet. Bynzer und Johansson (1996) beschrieben eine Zuordnung hinsichtlich der artikelspezifischen ABC/XYZ Klassifizierung, und konnten Verringerungen der durchschnittlichen Auftragsdurchlaufzeit feststellen.²⁸

2.3 Kommissioniervorbereitung

Die zu erfüllenden Kundenaufträge sind laut Jünemann und Schmidt (1999) nur in Sonderfällen, etwa in sehr kleinen Kommissioniersystemen mit einer geringen Anzahl an Artikeln im Zugriff, als Kommissionieraufträge verwendbar.²⁹ Meist werden Kundenaufträge erst durch Ergänzen von zusätzlichen Informationen, wie Lagerort, und Entnahmegebilde, und durch Trennen und Neusortierung anhand verschiedener

²² Vgl. Muppani, V.R., Adil, G.K. (2008), S. 492

²³ Vgl. Frazelle, E.H., Sharp, G.P. (1989), S. 33

²⁴ Vgl. Petersen, C.G., Gerald, A. (2004), S. 11 f.

²⁵ Vgl. Hausman, W.H., Schwarz, L.B., Graves, S.C. (1976), S. 629

²⁶ Vgl. Heskett, J.L. (1963), S. 27

²⁷ Vgl. Caron, F., Marchet, G., Perego, A. (1998), S. 713 f.

²⁸ Vgl. Bynzer, H., Johansson, M.I. (1996), S. 595

²⁹ Vgl. Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 153

Logiken und Entnahmereihenfolgen, zu Kommissionieraufträgen – welche Logiken hierbei verbreitet sind wird in Kapitel 2.5.2 behandelt.

2.4 Auslagerung

Während des Kommissionierprozesses gilt es, Totzeiten weitestgehend zu minimieren. Eine effiziente Nachschubssteuerung ist deshalb entscheidend für die Verfügbarkeit, und damit die Effizienz der Kommissionierung. Nach Festlegung der zu erfüllenden Aufträge erfolgt deshalb automatisch eine Prüfung, ob ein eventuell vorhandener Artikelbestand auf der Entnahmefläche ausreicht um die Aufträge vollständig erfüllen zu können. Sollte dem nicht der Fall sein hat rechtzeitig ein Nachschubsauftrag erstellt und durchgeführt zu werden, um die zeitgerechte Erfüllbarkeit aller verplanten Auftragspositionen zu ermöglichen.

Die Auswahl der nachzuschiebenden Lagereinheiten erfolgt anhand gewichteter Parameter – Tabelle 2 listet die gängigsten Auslagerstrategien mit der jeweiligen Zielsetzung in der modernen Lagerwirtschaft auf.

Tabelle 2: Auslagerstrategien im Überblick nach Ten Hompel (2008) ³⁰

Bezeichnung	Strategie	Zielsetzung
FIFO (First-In-First-Out)	Auslagerung der zuerst eingelagerten Ladeeinheit eines Artikels	Vermeidung von Überalterung und Verfall einzelner Ladeeinheiten eines Artikels
LIFO (Last-In-First-Out)	Auslagerung der zuletzt eingelagerten Ladeeinheiten eines Artikels	Vermeidung von Umlagerungen bei bestimmten Lagertechniken (Blocklager)
Mengenanpassung	Auslagerung der vollen und angebrochenen Ladeeinheiten entsprechend der Auftragsmenge	Erhöhung der Umschlagsleistung durch Minimierung der Rücklagerungen
Anbruchmengenbevorzugung	generelle Priorisierung angebrochener Ladeeinheiten	verbesserte Nutzung der Lagerkapazitäten
kürzester Fahrweg	Auslagerung der Ladeeinheit eines Artikels mit dem kürzesten Anschlussweg	Erhöhung der Umschlagsleistung durch Minimierung der Fahrwege
Gassenwechselminimierung	Sortierung der Auslagerreihenfolge nach einzelnen Lagergassen	Minimierung der Umsetzvorgänge bei kurvengängigen RBG oder Verschieberegalen
tourenbezogen	Planung der Auslagerreihenfolge entsprechend der Tourenplanung eines nachgeschalteten Verkehrsmittels	Reduktion der Rangier- und Umladearbeiten
terminiert	Planung des Auslagerzeitpunktes entsprechend dem voraussichtlichen Bedarfszeitpunkt	Reduzierung der Rangier- und Umladearbeiten
Vorholung	Umlagerung der in Kürze auszulagernden Einheiten in die Nähe des Übergabepunktes	Verkürzung der Reaktionszeit durch Erhöhung der Umschlagsleistung zum Bedarfszeitpunkt

Auch Auslagerungen müssen durch Bestätigung des Transportabschlusses quittiert werden, dadurch erfolgen die Freigabe des Lagerplatzes und die Umbuchung des Bestandes.

Eine wesentliche konzeptionelle Entscheidung bei der Definition des Materialflusses in einem Kommissioniersystem betrifft die Art und Weise, wie die Ware mit dem Kommissionierer zeitlich und räumlich möglichst effizient zusammengeführt, und die Kommissioniereinheit weiter befördert wird. Nur selten muss keine unmittelbare Bewegung durchgeführt werden, als Beispiel hierfür können Schachtkommissionierer genannt werden. Bei diesen Automaten, welche beispielsweise in der Pharmabranche eingesetzt werden, wird die zu kommissionierende Ware direkt auf ein stetig laufendes Förderband vereinzelt, und in einem Kommissionierbehälter (bei Pick and Pack auch eine Versandverpackung) abgelegt.³¹ Aufgrund des hohen möglichen Durchsatzes

³⁰ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 33

³¹ Vgl. <http://www.ssi-schaefer.de/foerder-und-kommissioniersysteme/automatische-kommissionierung/a-frame.html>

bei derartigen Pickautomaten geschieht der weitere Materialfluss ebenfalls per stetiger Fördertechnik, so können in der Pharmabranche zwischen 500 und 1000 Picks pro Stunde abgewickelt werden.³²

Jünemann und Schmidt (1999) definieren die physische Kommissionierung anhand des Zusammenspiels folgender materialflusstechnischen Grundfunktionen, wobei hier die Unterscheidung zwischen Auslagerung und Kommissionierung im Falle von Ganzpalettenabspaltung, der Zuordnung einer vollständigen Lagereinheit zu einem Kundenauftrag, als zusätzlicher Sonderfall zu betrachten ist:³³

- Bewegung der Güter zur Bereitstellung
- Bereitstellung
- Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
- Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe
- Abgabe der Entnahmeeinheit
- Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe
- Abgabe der Kommissioniereinheit
- Rücktransport der angebrochenen Ladeinheit

Auch definiert Jünemann die derzeit möglichen Ausprägungen eines Materialflusssystems in der Kommissionierung, wie in Tabelle 3 in Form eines morphologischen Kastens zusammengefasst.

³² Vgl. Koster, de Rene, Tho, Le-Duc, Kees, J. (2007), S.481 f.

³³ Vgl. Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 153

Tabelle 3: Grundfunktionen des Materialflusssystems nach Jünemann, Schmidt (1999) ³⁴

Grundfunktionen Materialfluss	Realisierungsmöglichkeiten			
Bewegung der Güter zur Bereitstellung	Keine Bewegung	Bewegung		
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
		manuell	mechanisiert	automatisiert
Bereitstellung	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet	teilgeordnet	ungeordnet	
Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	keine Fortbewegung	Fortbewegung		
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
		manuell	mechanisiert	automatisiert
Bereitstellung	manuell	mechanisiert		automatisiert
	Einzelstückgut		Sammelstückgut	
Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe	kein Transport	Transport		
		Kommissionierer		Fördermittel
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
		manuell	mechanisiert	automatisiert
Abgabe der Entnahmeeinheit	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet	teilgeordnet	ungeordnet	
Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe	kein Transport	Transport		
		Kommissionierer		Fördermittel
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
		manuell	mechanisiert	automatisiert
Bewegung der Güter zur Bereitstellung	Keine Bewegung	Rücktransport ins Lager	Rücktransport ins Anbruchlager	
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
		manuell	mechanisiert	automatisiert

Als Nebenbedingung gilt, dass immer entweder Ware oder Kommissionierer aktiv in Bewegung gebracht werden müssen – sowohl zum Ort der Entnahme, als auch weiter zum Sammelplatz der entnommenen Waren. Bei dieser Betrachtung ist es aber nicht relevant ob der Kommissionierer ein Mensch, oder eine Maschine ist – Pickroboter übernehmen immer häufiger diese zeitintensiven und körperlich anstrengenden Tätigkeiten.

Einige der von Jünemann und Schmidt (1999) scheinbar klar definierten Klassifizierungen werden in der Literatur allerdings divers interpretiert – speziell die Bezeichnungen „statisch“ und „dynamisch“.³⁵ Die klassische Definition in der Lagertechnik sieht vor, dass die zu entnehmende Einheit zwischen Ein- und Auslagerung am selben Ort ver-

³⁴ nach Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 153 f.

³⁵ Vgl. Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 154

bleibt, so beispielsweise Gudehus (1973).³⁶ Dies ist bei der Entnahme in einem Regalfach der Fall, oder bei Blocklagerung. Dem entgegengesetzt ist definiert, dass die Ware bei dynamischer Bereitstellung zum Entnahmeort gefördert, und gegebenenfalls nach dem Zugriff wieder als Anbrucheinheit zurück eingelagert wird.

Moderne Veröffentlichungen hingegen unterscheiden zwischen „statisch“ und „dynamisch“ lediglich durch den Zeitraum der Entnahme selber – ist das zu entnehmende Gut in Ruhe so wird dies als statische Bereitstellung definiert, ist das Gut in Bewegung so entspricht dies einer dynamischen Bereitstellung.

Ähnlich differenziert werden ebenfalls die Ausprägungen „zentral“ und „dezentral“ in der Literatur betrachtet: *Zentrale Bereitstellung* definiert die Entnahme von Ware in räumlich eng begrenzten Bereichen – dafür werden die Lagereinheit sequentiell zum Kommissionierer (meist über Fördertechnik) geführt, und nach erfolgter Entnahme wieder entfernt. Der Zugriff kann nur an diesem zentralen Punkt erfolgen. Die Entnahme an verschiedenen Punkten, welche nur durch Bewegung des Kommissionierers zu den Lagerplätzen erfolgen kann, wird dementsprechend als *dezentrale Bereitstellung* definiert.

Angesichts dieser Unterscheidungen wird klar, dass die in der Literatur oftmals vorgenommene Trennung hinsichtlich den Prinzipien „Mann-zur-Ware“ und „Ware-zum-Mann“ nicht ausreicht, da verschiedene Facetten und Ausprägungsformen von „zentral“ und „dezentral“ denkbar sind – Zugriff auf in Bewegung befindlichen Lagereinheiten, oder die Entnahme in Kommissioniernestern können nicht derartig klassifiziert werden. Deshalb werden folgende Definitionen für diese Arbeit getroffen:

- Kann eine Entnahme erst nach Durchführung eines Transportes einer Lagereinheit zu einem Entnahmepunkt erfolgen, so wird dies als *dynamische Bereitstellung* definiert. Dem gegenüber steht die *statische Bereitstellung*.
- Erfolgt die Entnahme der zu kommissionierenden Waren bei vielen verschiedenen räumlichen Punkten (Entnahmeplätzen), so wird dies als *dezentrale Bereitstellung* definiert. Bei der *zentralen Bereitstellung* ist das Verhältnis zwischen Fahr- und Zugriffsanteil entscheidend auf Seiten des Zugriffsanteiles.

Tabelle 4 bietet einen Überblick über einige Kombinationen von statischen / dynamischen, und zentralen / dezentralen Entnahmevarianten.

³⁶ Vgl. Gudehus, T. (1973), S. 21

Tabelle 4: Bereitstellvarianten nach ten Hompel (2008) ³⁷

	statisch	dynamisch
dezentral	<p>Fachbodenregalanlage</p> <p>Die Bereitstellung erfolgt in einem Fachbodenregal, der Kommissionierer bewegt sich entlang der Regalfront und entnimmt einzelne, benötigte Bereitstellungseinheiten. Dieser Ablauf wird auch "Person zur Ware" genannt.</p>	<p>Regalfront an AKL</p> <p>Die Bereitstellungseinheiten befinden sich bspw. in einem automatischen Kleinteilelager (AKL). Die Kommissionierung erfolgt an der bodenebenen Regalebene, seitlich des AKL. Die Bereitstellungseinheiten werden in unterster Regalhöhe dynamisch bereitgestellt, allerdings werden verschiedene Plätze angefahren, sodass sich der Kommissionierer wie im Fall des Fachbodenregals vor der Regalzeile bewegen muss.</p>
zentral	<p>Kommissioniernest</p> <p>Es wird eine Regalanordnung geschaffen (zumeist U-förmige Anordnung), in deren Mitte der Kommissionierer steht und alle Artikel in Reichweite hat. Der Kommissionierer erreicht durch Wegfall sämtlicher Weganteile sehr hohe Kommissionierleistungen (bis zu 1000 Teile/h). Die Anwendung ist auf die Kommissionierung einer begrenzten Anzahl kleinvolumiger Artikel beschränkt.</p>	<p>Hochregallagervorzone</p> <p>Die Bereitstellungseinheiten befinden sich in einem automatischen Hochregal oder Kleinteilelager und müssen zur Entnahme an einen zentralen Übergabepunkt befördert werden. Die Lagereinheiten werden nach Auslagerung aus dem Regalfach zumeist über Stetigförderertechnik zum Kommissionierplatz gefördert und anschließend wieder eingelagert.</p> <p>Eine Anordnung dieser Art wird auch als "Kommissionier-U" bezeichnet und der Ablauf als Prinzip "Ware zur Person".</p>

Auch unterscheidet die Literatur zwischen statischer, und dynamischer Abgabe der Kommissioniereinheit. Erfolgt die Abgabe auf eine in Bewegung befindliche Einrichtung, so wird dies als *dynamische Abgabe* definiert – etwa bei Abgabe auf ein Förderband, oder einen anderen Stetigförderer. Wird die Kommissioniereinheit hingegen zu einer räumlich fix definierten Fläche abgegeben so verwendet die Literatur den Begriff der *statischen Abgabe*.

Einige gebräuchliche Varianten der verschiedenen Abgabemöglichkeiten sind in Tabelle 5 angeführt, und dienen als Überblick.

³⁷ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 38

Tabelle 5: Abgabevarianten nach ten Hompel (2008) ³⁸

	statisch	dynamisch
dezentral	Pick-to-Box Der Kommissionierer legt die Einheiten in einen mitgeführten Behälter ("Kommissionierwanne"). Dabei bewegt er sich mit dem Behälter zwischen den Entnahmestellen. Stellt der Behälter gleichzeitig die zum Kunden gehende Versandeinheit dar, wird das Prinzip als "Pick&Pack" bezeichnet.	Pick-to-Belt Der Kommissionierer legt die Entnahmeeinheiten direkt nach der Entnahme auf ein parallel zur Regalfront angeordnetes, zumeist angetriebenes Förderband. Anschließend bewegt er sich zum nächsten Entnahmeort.
zentral	Ware-zur-Person / Kommissionier-U Die an der Entnahmestelle entnommenen Einheiten werden auf eine bereitgestellte Sammeleinheit (Palette oder Behälter) abgegeben und ggf. dort gestapelt.	Ware-zur-Person / Paternosterregal mit Rollenbahn Die dem Paternosterregal entnommenen Einheiten werden auf einen davor installierten Bandförderer abgegeben. Der Kommissionierer legt keine Wege zurück.

Wie in Tabelle 3 bereits im Überblick ersichtlich unterscheiden Jünemann und Schmidt (1999) auch hinsichtlich der Form der Bewegung, der Entnahmeart, und der Ordnung der kommissionierten Ware:³⁹

- **Eindimensionale Kommissionierung:** Bei dieser Ausprägung bewegt sich der Kommissionierer lediglich auf einer Ebene, etwa an einer Regalfront, oder in einem Blocklager
- **Zweidimensionale Kommissionierung:** Hier geschieht die Entnahme in mehreren Ebenen, diese Form wird typischerweise durch Regalbediengeräte oder Kommissionierstapler ermöglicht
- **Dreidimensionale Kommissionierung:** Hierbei werden mithilfe eines Kranes verschiedene übereinander gelagerte Bewegungen gleichzeitig ausgeführt

2.5 Kommissionierung

Unter dem Begriff „Kommissionierung“ definiert der VDI „das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen (Artikeln) aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) aufgrund von Bedarfsinformationen (Aufträge). Hier erfolgt eine Umwandlung von einem lagerspezifischen in einen verbrauchspezifischen Zustand“.⁴⁰ Dieser Vorgang kann sowohl manuell als auch maschinell, beispielsweise in Schachtkommissionierau-

³⁸ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 39

³⁹ Vgl. Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 156

⁴⁰ Zit. VDI 3590/1 (1994), S. 2

tomaten, durchgeführt werden. Beim Begriff des „Pick and Pack“ wird zusätzlich zu der mengenmäßigen Zusammenstellung die Ware auch im selben Arbeitsschritt zu einer Transporteinheit zusammengefasst, und verpackt.

Der Vorgang des Kommissionierens zählt zu den arbeits-, personal- und damit kostenintensivsten Vorgängen in einem Lager, siehe Tompkins⁴¹ und Coyle⁴², eine möglichst gleichmäßige Auslastung der Mitarbeiter dient zur Reduktion von Kosten (z.B. sprungfixe Kosten bei zusätzlich benötigten Arbeitskräften). Die Kommissionierung selber kann entweder beleglos, etwa durch Scan mit einem geeigneten mobilen Terminal, oder auch belegbehafet erfolgen – hierzu zählen Kommissionierlisten, oder auch Kommissionieretiketten.

Beleglos wäre beispielsweise die ‚pick-to-light‘ Methode, bei der ein Kommissionierer durch optische Signale die für den Auftrag anzufahrenden Entnahmeplätze übermittelt bekommt, und durch Druck einer entsprechenden Taste am Lagerplatz die Entnahme quittiert. Laut Jane und Laih (2005) kann mit dieser Variante die Effizienz der Entnahme um 50% gesteigert werden, bei gleichzeitiger Reduktion der Kommissionierfehler.⁴³

Die Organisation eines Kommissioniersystems wird wesentlich durch Struktur und Steuerung der Abläufe definiert. Die wesentlichen Komponenten dieses Kommissioniersystems bilden Aufbau-, und Ablauforganisation. Diese sind sogar durch Normen geregelt, etwa in der VDI.⁴⁴

2.5.1 Aufbauorganisation und Ablauforganisation

Die Struktur eines Kommissioniersystems wird durch die Aufbauorganisation festgelegt. Für unterschiedliche Artikeltypen ist es hierbei zweckdienlich auch unterschiedliche Formen der Bereitstellung zu ermöglichen. Genaue Kenntnisse sowohl über Sortiment, als auch über die typischen Auftragsstrukturen werden für eine geeignete Auswahl der Kommissioniersysteme vorausgesetzt!

⁴¹ Vgl. Tompkins, J.A, u.A. (1996), S. 4

⁴² Vgl. JJ. Coyle, EJ Bardi (1996), S. 48

⁴³ Vgl. Jane, C.C., Laih, Y.W. (2005), S. 489

⁴⁴ Vgl. VDI 3590 (1994)

Typische Entscheidungskriterien hinsichtlich des Sortiments und der Aufträge definiert ten Hompel (2008) wie folgt:⁴⁵

- Bereitstelleinheiten: Volumina, Gewichte, Abmessungen
- Stapelfähigkeit in der Kommissionierung / Verladung
- Umschlagshäufigkeiten und Zugriffshäufigkeiten
- Durchschnittliche Anzahl an Entnahmeeinheiten je Artikel pro Zeiteinheit
- Typische Kombinationsformen von Artikeln je Auftrag
- Sicherheitsanforderungen (aufgrund der Wertigkeit der Ware oder aber auch aufgrund von physikalischen oder chemischen Eigenschaften)

Durch die Auswahl, Kombination und Ausprägung dieser Faktoren leiten sich unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Kapazität, Leistung und Eigenschaften des Kommissioniersystems ab. Um die Waren verschiedenster Eigenschaften optimal bereitstellen zu können werden gleichartige Artikel gemeinsam in, oftmals nur logisch, getrennten Zonen bearbeitet. Tabelle 1 bezieht sich bereits auf die Möglichkeit der Bildung unterschiedlicher Einlagerzonen.

Ablauforganisation:

Laut ten Hompel (2008) setzt sich Kommissionierzeit, in Anlehnung an REFA, zusammen aus:⁴⁶

- Basiszeit: Übernahme des Kommissionierauftrages, Aufnahme des Kommissionierbehälters, Abgabe des befüllten Kommissionierbehälters, abschließende Belegbearbeitung
- Greifzeit: Hierbei wird zwischen Hinlangen, Aufnehmen, Befördern und Ablegen der Entnahmeeinheit unterschieden
- Totzeit: Lesen, Entfernen von Umverpackungen, Suchen und Identifizieren, Kontrollieren

⁴⁵ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 35

⁴⁶ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 40

- Wegzeit: Bewegung des Kommissionierers zwischen Annahmestelle, Entnahmeort und Abgabestelle

Das Verhältnis dieser Zeiten zu einander, sowie die daraus ergebende Summe, ist in hohem Maß abhängig von der gewählten Ablauforganisation des Kommissioniersystems. Totzeiten und Basiszeiten werden stark durch das gewählte Informationssystem fixiert – diesem Faktor ist Kapitel 2.5.2 gewidmet. Die Optimierung von Greif- und Wegzeiten sind demnach direkte Resultate der Ablauforganisation.

Maßgeblich an den Durchlaufzeiten sind auch Wechselwirkungen mit anderen Personen im Kommissioniersystem. Laut Gu, Goetschalckx und McGinnis (2007) gibt es nur wenig wissenschaftlich fundierte Literatur über die gegenseitige Verschlechterung der Effektivität.⁴⁷ Beispielsweise haben Gue, Meller und Skufca (2006) die Anzahl an parallel abgearbeiteten Kommissionieraufträgen derselben Zone als Hauptgrund für die Verlängerung der durchschnittlichen Auftragsbearbeitungszeit identifiziert.⁴⁸ Decker, De Koster und Andere (2004) führen dies auf einen gesteigerten Stresspegel durch einander konkurrierende Kommissionier Routen, und auch auf eine erhöhte Mitarbeiterrotation mit damit verbundenem Verlust an durch Erfahrung gewonnenes Know-How der Mitarbeiter zurück.⁴⁹

Pan, Shih und Wu (2012) beschäftigen sich deshalb mit den gegenseitigen Beeinflussungen durch Kommissionierer im selben Kommissioniersystem.⁵⁰ Das Kommissioniersystem wird durch Warteschlangentheorie dargestellt, und bei gegebenem Auftragsmix und einer variablen Anzahl an Kommissionierern die jeweils optimale Entnahmeplatzzuordnung ermittelt und damit die Gesamtware- und Fahrzeit verkürzt.

2.5.2 Formen der Kommissionierung

Koster, Tho und Kees (2007) klassifizieren die Formen der Kommissionierung in folgende Gruppen:⁵¹

- Auftragsweise Kommissionierung: Hierbei erfolgt eine einfache 1:1 Zuordnung eines Kundenauftrages zu einem Kommissionierer. Diese Variante bedeutet einer-

⁴⁷ Vgl. Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F. (2007), S. 1

⁴⁸ Vgl. Gue, K.R., Meller, R., Skufca, J.D. (2006), S. 859

⁴⁹ Vgl. Dekker, R., De Koster, M.B.M., Roodbergen, K.J., Van Kalleveen, H. (2004), S. 303

⁵⁰ Vgl. Pan, J.C-H., Shih, P-H., Wu, M-H. (2012), S. 527 f.

⁵¹ Vgl. Koster, de Rene, Tho, Le-Duc, Kees, J. (2007), S.481

seits den geringsten Aufwand zur Arbeitsvorbereitung, da ein Kundenauftrag äquivalent zu einem Kommissionierauftrag ist, und andererseits auch größtmöglichen Auslastungsgrad des Kommissionierbehälters.

Nachteilig bei einer dezentralen Bereitstellung ist der große Anteil an Wegstrecke, und der damit verbundenen langen Bearbeitungsdauer je Auftrag.

- Auftragsparalleles Kommissionieren: Diese Variante wird auch „Mehrkundenkommissionierung“ genannt, mehrere Aufträge werden gleichzeitig durch denselben Kommissionierer in verschiedene kundenspezifische Kommissionierbehälter abgearbeitet. Auch hier entspricht ein Kundenauftrag einem Kommissionierauftrag. Durch die Reduktion des Weganteiles je Auftrag kann eine höhere Kommissionierleistung erreicht werden, als Voraussetzung ist allerdings eine geeignete (systemgestützte) Führung des Kommissionierers durch das System zu nennen. Dadurch werden gleichzeitig Weg- und Totzeiten je Auftrag reduziert. Die Durchlaufzeit der einzelnen Kommissionieraufträge wird durch das parallele Abarbeiten allerdings signifikant verlängert.
- Kommissionieren in seriellen Zonen: Mit ansteigender Größe des Kommissioniersystems ist es notwendig, Kundenaufträge in kleinere Kommissionieraufträge zu splitten um überhöhtem Transportaufkommen entgegen zu wirken. Splitkriterium hierbei sind die getrennten Kommissionierzonen, welche von Kommissionieraufträgen seriell durchlaufen werden - nach Abarbeitung eines zonenspezifischen Kommissionierauftrages werden die verwendeten Kommissionierbehälter in die nächste Kommissionierzone verbracht, wo der Auftrag weiter bearbeitet wird. Hierbei ergibt sich erstmalig die Möglichkeit Kommissionierzonen zu überspringen sollte kein Kommissionierauftrag für diese Zone vorhanden sein, das Resultat sind kürzere Auftragsbearbeitungszeiten für kleine Kommissionieraufträge.
- Kommissionieren in parallelen Zonen: Durch Weglassen der seriellen Verkettung von Kommissionierzonen, und der damit hervorgerufenen parallelen Bearbeitung eines Kundenauftrages durch mehrere Kommissionierer, können Verkürzungen der Durchlaufzeit je Kundenauftrag erreicht werden. Als Nachteil bei dieser Variante wird aber darauf hingewiesen, dass der Zeitersparnis bei der Auftragsbearbeitung erhöhter Aufwand bei der Arbeitsvorbereitung gegenüber steht. Moderne Lagerverwaltungssysteme erledigen die Auftragsplits jedoch vollautomatisch, was den Aufwand der Arbeitsvorbereitung reduziert. Auch bedeutet diese Vorgehensweise

zumindest einen Kommissionierbehälter je Kommissionierauftrag, um das zu Verfügung stehende Transportvolumen optimal auszunützen erfolgt daher in der Praxis beim Prozessschritt Verpackung oder Versand eine Verdichtung der Behältnisse, siehe auch Kapitel 2.6. Um eine möglichst gleichmäßige Bearbeitungsdauer der Kundenaufträge je Kommissionierzone zu ermöglichen besteht weiters auch die Möglichkeit der Einführung weiterer Splitkriterien. Einige typische derartige Splitkriterien sind bspw. Volumen (ein Kommissionierauftrag soll maximal einen Kommissionierbehälter füllen), Zugriffe (gleichmäßige Dauer der Abarbeitung), oder auch optimale Kommissionierbehältertypen und Artikeleigenschaften (wie Stapelbarkeit, Zerbrechlichkeit, chemische oder physikalische Eigenschaften,...).

Bei den bisher genannten Methoden wird stets eine 1:1 Verknüpfung von zu entnehmender Ware, und einem Kundenauftrag hergestellt – es wird *kundenspezifisch* entnommen, daher werden diese als *einstufig* bezeichnet. Die Anzahl an parallel zu bearbeitenden Aufträgen ist in hohem Grad von der Anzahl an gleichzeitig transportierbaren Kommissionierbehältern abhängig, da jeder Kommissionierauftrag auch zumindest einen Kommissionierbehälter je Zone bedingt. Bei *mehrstufigen* Kommissionierprozessen ist dies nicht mehr der Fall, diese werden folgend beschrieben.

- Artikelorientierte Kommissionierung / Batchkommissionierung: Bei der Batchkommissionierung werden in separaten Schritten die gesamte Artikelmenge, die für die Erfüllung zusammengefasster Kundenaufträge nötig ist, entnommen und die Zuordnung zu Kundenaufträgen getrennt. Dadurch werden Synergieeffekte bei Wegzeiten, innerbetrieblichen Verkehrsaufkommen, Tot- und Greifzeiten genützt, bei gleichzeitiger Reduktion der Fehlerwahrscheinlichkeit. Vor allem bei der zentralen Bereitstellung „Ware zum Mann“ wird dadurch die Notwendigkeit von mehrmaligem Bereitstellen derselben Lagereinheit eingeschränkt, und der Transportaufwand reduziert. Voraussetzung hierfür ist ein Konsolidieren mehrerer Kundenaufträge zu „Batches“.

Für den zweiten Schritt, dem Vereinzeln der Ware zu den jeweiligen Kundenaufträgen, wird immer häufiger auf leistungsfähige Sortieranlagen, oder auch „Sorter“ zurückgegriffen, so Jodin u.A. (2005).⁵² Diese Methode der Kommissionierung bedingt hohen maschinellen und informationstechnischen Aufwand, und ist daher

⁵² Vgl. Jodin, D., Ten Hompel, M. (2005), S. 121

nur große Systeme mit hohem gefordertem Durchsatz bei gut transportabler, in den Eigenschaften ähnlicher Ware möglich. Die Bearbeitungsdauer der Aufträge an sich ist bei ähnlicher Positionsverteilung sehr lange, es besteht nur sehr eingeschränkt die Möglichkeit von Eilaufträgen. Durch die lange Bearbeitungsdauer ergibt sich auch ein hoher WIP (Work in progress), und damit ungleichmäßige Auslastung bei den Verpackungs- und Verladestationen bei gleichzeitig hohem Platzbedarf während der auftragspezifischen Zusammenstellung der Ware. Ackerman weist auf den Nachteil der höheren Bearbeitungsdauer für kleine Kommissionieraufträge hin, da diese gleichzeitig mit großen Aufträgen abgearbeitet werden (1997).⁵³

Generell ist die optimale Bündelung von Kommissionieraufträgen eines der Schlüsselkriterien zur Erhöhung der Effektivität der Kommissionierung. Je ähnlicher sich die Aufträge sind, desto größer sind die erwarteten Optimierungen. Bereits 1992 haben Gibson und Sharp die Effektivität der Batch-Kommissionierung bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen, wie etwa die Auftragsgröße, Anzahl an zusammengefassten Aufträgen, oder auch die Lagerzonung durch Computersimulation versucht zu errechnen.⁵⁴ Eine exakte Lösung haben Gademann u.A. 2001 durch Anwendung des branch-and-bound Algorithmus in einem Lagersystem mit parallelen Regalen gefunden. In dieser Lösung werden die Aufträge unter gegebenen Nebenbedingungen optimiert gebündelt, sodass die maximale Durchlaufzeit eines jeden einzelnen Auftrages minimiert wird.⁵⁵ Im Unterschied dazu steht bei Gademann und Van de Velde (2005) die Minimierung der Summe der benötigten Fahrzeit im Vordergrund, auf Kosten der Durchlaufzeit einzelner Aufträge.⁵⁶

2.6 Verpackung

Im Anschluss an die Kommissionierung erfolgt eine kundenauftragsbezogene Konsolidierung der Waren. Gemäß der gewählten Kommissionierform, siehe Kapitel 2.5.2, wurden durch das Aufteilen eines Kundenauftrages in verschiedene Kommissionieraufträge mehrere Kommissionierbehälter verwendet – durch nachträgliches Verdichten kann eine Vollständigkeitskontrolle durchgeführt werden, diese wird immer häufi-

⁵³ Vgl. Ackerman, K. (1997), S. 37 f.

⁵⁴ Vgl. Gibson, D.R., Sharp, G.P. (1992), S. 57

⁵⁵ Vgl. Gademann, A.J.R.M, Van Den Berg, J.P., Van Der Hoff, H.H. (2001), S. 385

⁵⁶ Vgl. Gademann, N, Van De Velde, S. (2005), S. 63

ger durch eine Gewichtskontrolle durchgeführt. Auch dient dieser Prozessschritt dazu, kundenfreundlichere größere Transporteinheiten zu bilden. Die Reduktion der Anzahl dieser dient weiters zur effizienteren Warenverfolgung, und auch der Kosteneinsparung beim Versand durch Volumenoptimierung. Dieser Vorgang wird zunehmend durch mathematische Algorithmen durchgeführt, um die optimale Transporteinheitenbildung zu vereinfachen.

2.7 Verladung

Die Verladung wird als letzter Prozessschritt bei der Lagerhaltung angesehen. Neben der originären Aufgabe des Bewegens der Transporteinheiten in ein Transportmittel muss spätestens hier eine Entscheidung des Transportmodus⁷ getroffen werden. Bei kleinen Sendungsgrößen und hoher Dringlichkeit wird zunehmend auf Kurier Express-Paketdienste („KEP“) zurückgegriffen, bei großen zu transportierenden Mengen werden aufgrund von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zumeist Spediteure mit LKW eingesetzt. Durch unterschiedliche Kostensätze je Relation, Volumen und Gewicht wird diese Auswahl vermehrt durch Optimierungsprogramme durchgeführt, so ten Hompel (2008).⁵⁷

Sollte ein Mehrkundentransport wirtschaftlich sein gilt es den Stauplan der Beladung der zuvor definierten Reihenfolge der Abladestellen anzupassen – die Festlegung dieser Reihenfolge stellt ein mathematisches Optimierungsproblem dar, welches entweder als „Travelling Salesman Problem“ oder „Milk-Run“ klassifiziert wird.⁵⁸

Bedingt durch die an dieser Stelle notwendige Pufferfunktion zwischen Kommissionierung / Verpackung und der tatsächlichen Verladung stellen Verladebereiche oftmals einen Engpass im Materialfluss dar, welcher häufig als Kriterium für die Freigabe von Kommissionieraufträgen berücksichtigt werden muss.

Nach erfolgter Verladung werden Transportpapiere erstellt, der Warenausgang verbucht.

⁵⁷ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 53

⁵⁸ Vgl. R.L. Daniels, J.L. Rummel (1998), S. 1

3 Gründe für Lagerhaltung

Ein wesentlicher für Kunden direkt wahrnehmbarer Effekt von Lagerhaltung ist eine kürzere Reaktionszeit auf Bedarfe, und damit wiederum die Möglichkeit der Bestandssenkung seinerseits.⁵⁹ Abbildung 2 zeigt das so genannte „Magische Viereck“, mit den klassischen Logistikzielen und ihren teilweise konkurrierenden Ausprägungen. Lagerhaltung hat primär direkten Einfluss auf die Faktoren Zeit, Flexibilität, und in weiterer Folge auch auf Kosten.

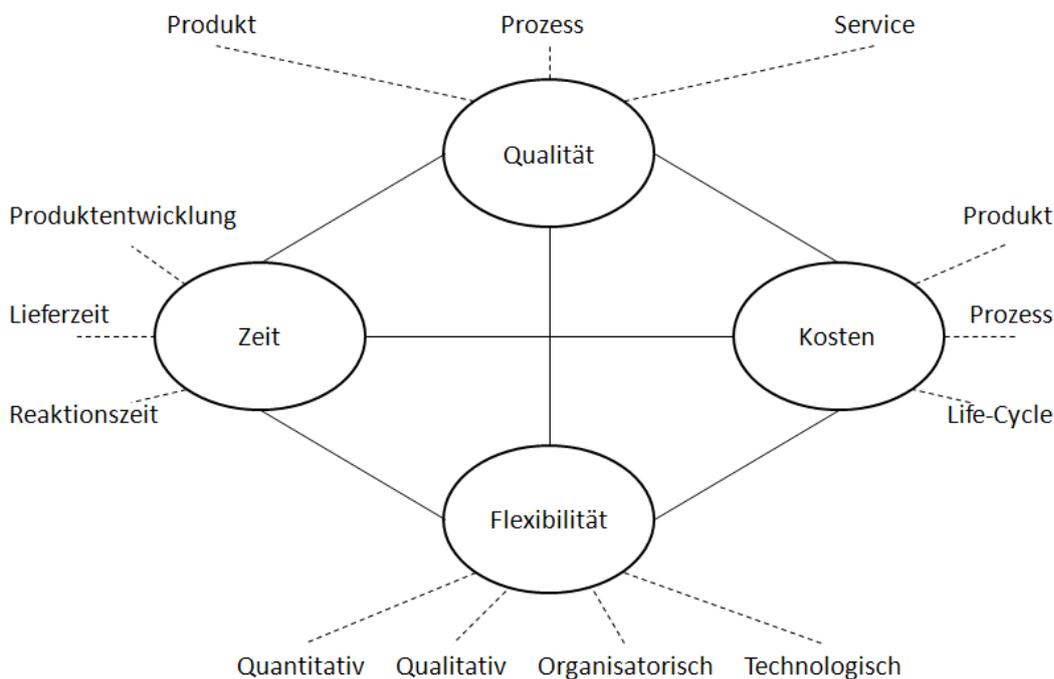


Abbildung 2: Das Zielviereck ⁶⁰

Jünemann (1989) hält fest, dass die, aus logistischer Sicht, wesentliche Besonderheit der Lagerhaltung darin besteht, dass es sich um einen geplanten Prozess der Zeit- und Zustandsüberbrückung handelt.⁶¹ Durch konzernweit zu betrachtende Einflussfaktoren und Gesamtkostenbetrachtung bestehen neben der Produktionsmengen- oder Beschaffungskostenoptimierung weitere Aspekte, welche Lagerhaltung notwendig machen. Ziel ist es laut Jünemann die erforderlichen Warenströme effizient zu behandeln, und die dafür notwendigen Prozesse möglichst optimiert und lean zu gestalten.

⁵⁹ Vgl. Jünemann, R. (1989), S. 3

⁶⁰ Nach Bogaschewsky / Rollberg (1998), S.8

⁶¹ Vgl. Jünemann, R. (1989), S. 3

Ten Hompel (2008) benennt die wichtigsten Gründe für die Lagerhaltung wie folgt.⁶²

- Fertigwarenlager / Handelswarenlager zur Sicherstellung der Verfügbarkeit
- Werkstofflager und Halbfertigwarenlager zur Sicherstellung der Produktionsfähigkeit
- Halbfertigwarenlager zur späten Variantenbildung
- Lager als Mittel zur Transportkostenreduktion
- Ausgleich von Bedarfs- und Liefermengen
- Ausgleich von Preisschwankungen / saisonellen Einflüssen

3.1 Ausprägungsformen von Lagersystemen

Die gängigsten Ausprägungsformen möglicher Lagerhaltung beschreibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Differenzierung der Lagersysteme nach ten Hompel (2008) ⁶³

Merkmal	Ausprägungsformen	Beschreibung	gängige Zielsetzungen
Lagertechnik	Bodenlagerung	Ladegut wird unmittelbar auf dem Boden gelagert bzw. gestapelt	große Mengen weniger Artikel kostengünstig lagern
	Regallagerung	Ladegut wird in Regalen gelagert, zumeist auf einem Ladehilfsmittel	Direktzugriff auf große Artikelanzahl, hohe Flächennutzung
Lagerform	Blocklagerung	Lagergüter werden unmittelbar über-, hinter und nebeneinander gelagert	hohe Raumnutzung und geringe Bedienwege
	Zeilenlagerung	Ladegüter werden über- und hintereinander gelagert; zwischen Regalflächen bestehen Bedienwege	Direktzugriff auf große Artikelanzahl, hohe Flächennutzung
Lagerort	Statisches Lagersystem	Lagergut verbleibt zwischen Ein- und Auslagerung am selben Ort, d.H. es führt keine Ortsveränderung durch	kostengünstige Lagertechnik, geringe Beanspruchung des Lagergutes
	Dynamisches Lagersystem	Ladeeinheiten werden nach der Einlagerung bewegt. Ein-/Auslagerung am selben Ort ist dennoch möglich	Geringe Bedienwege, Direktzugriff trotz hoher Volumennutzung

⁶² Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 2

⁶³ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 74

Jede Kombination aus Merkmal und Ausprägungsform eignet sich für andere Anforderungen bei der Lagerhaltung. Typischerweise ist kein rascher Wechsel zwischen den angeführten Lagertechniken möglich, wohl aber eine angepasste Lagerbewirtschaftung und -zonung.

Als Entscheidungskriterien für das anzuwendende Lagersystem dienen hauptsächlich:

- Vielfalt einzulagernder Waren (qualitativ)
- Vielzahl einzulagernder Waren (quantitativ)
- Artikelattribute (Abmessungen, Gewichte, Stapelbarkeit, Gefahrgut,...)
- Benötigter Durchsatz
- Raum- und Flächenangebot
- Identifikation von Chargen
- Verfügbarkeit von Fördermitteln
- Zugriffsverhalten (zeitliche Variabilität im Zugriff)

Einige weit verbreitete Lagersysteme und -techniken werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt. Speziell wird hierbei auf die Relevanz für die Behandlung der Fallstudie, siehe Kapitel 5, Rücksicht genommen.

3.1.1 Bodenlagerung

Die zu lagernden Waren werden auf dem Boden gelagert, oder auch gestapelt. Der tatsächlich nutzbare Raum ist hierbei abhängig von Artikeleigenschaften, wie etwa dem Schüttwinkel, oder auch Eigenschaften der Lagereinheit wie Stapelbarkeit von Boxen. Auch gibt es technische Limitierungen, bspw. durch die eingesetzte Förder-technik. Durch diese simple Form der Lagerung entstehen nur geringe Investitionskosten, und bietet eine hohe Flexibilität um große Volumina kostengünstig lagern und transportieren zu können. Als Nachteil sei aber die fehlende Möglichkeit zur Optimierung von Fahrwegen angeführt, welche speziell bei schwankender XYZ Klassifizierung zu Tragen kommt.

Um die Anzahl an in Zugriff befindlichen Artikeln zu erhöhen werden häufig Zeilen gebildet, welche eine Lagerung in die Tiefe bedeuten. Abhängig von der Bestückungs- bzw. Entnahmerichtung unterliegt diese Form der Lagerung einem strikten FIFO bzw. LIFO Prinzip, worauf bei der Lagerung Rücksicht genommen werden muss. Die Bedienung derartiger Bodenlager erfolgt nahezu ausschließlich manuell, bei Schüttgut sind es häufig Stapler oder Kräne, die zum Einsatz kommen. Bei palettierten oder in Boxen befindlichen Einheiten erfolgt die Aufgabe der Warenmanipulation durch Stapler verschiedenster Ausführungsformen.

- Variante Bodenblocklager: Die zu lagernden Waren werden laut Ehrmann (1997) unter höchstmöglicher Raumnutzung kompakt zu einem Block (Stückgut) oder zu einer Halde (Schüttgut) gelagert.⁶⁴ Um die Anzahl an direkt im Zugriff befindlichen Artikeln zu erhöhen ist es zweckdienlich eine Lagerung in Zeilen durchzuführen – damit sinkt einerseits der Raumnutzungsgrad, jedoch dient dies andererseits sowohl der Möglichkeit der Chargenverfolgung, als aber auch dem leichteren Zugriff auf mehrere Artikel. Sollten die Lagerflächen nicht räumlich voneinander getrennt sein ist es weiters nur umständlich möglich den Auslastungsgrad des Lagers zu bestimmen, oder auch das Auffinden von gesuchten Chargen aufgrund der fehlenden Stellplatzbeschriftung. Bei voluminösen Stückgut, wie etwa Stahlbrammen, kann die Chargenzuordnung durch entsprechender Kennzeichnung jedoch direkt an der Ware erfolgen
- Variante Bodenzeilenlager: Der Unterschied zum Bodenblocklager liegt in der bewussten Bildung von Gassen zwischen den Blocklagerflächen. Schulte (1999) sieht darin sowohl eine leichter möglichere Adressierung der Lagerflächen, als auch eine Erhöhung der direkt im Zugriff befindlichen Waren.⁶⁵

3.1.2 Statische Blockregallagerung

Die statische Blockregallagerung fasst alle Regaltypen zusammen, bei denen das Verhältnis von Fahr- zu Lagerflächen trotz Regallagerung maximal in Richtung Lagerfläche verschoben wird. Abhängig von der Bedienung lassen sich hierbei sowohl LIFO, aber auch FIFO Auslagerstrategien umsetzen, jedoch ist stets die Zugänglichkeit

⁶⁴ Vgl. Ehrmann, H. (1997), S. 216 f.

⁶⁵ Vgl. Schulte, C. (1999), S. 181

zu den einzelnen Lagereinheiten stark eingeschränkt. Diese Form der Lagerung bietet sich deshalb bei hoher Homogenität des Produktspektrums, geringer Artikelvielfalt, aber großen Artikelmengen an. Anders als bei der Bodenlagerung bietet sich diese Form der Lagerung auch für schlecht stapelbare Güter an, da die Lagereinheiten nicht direkt auf einander gestapelt werden.

Voraussetzung für diese Variante ist die absolute Homogenität der Ladungsträger, diese müssen sowohl formstabil als auch genormt ausfallen. Die verbreitetsten Typen von Regalen definiert Jünemann (1989) wie folgt:⁶⁶

- Einfahr- und Durchfahrregale: Einfahr- bzw. Durchfahrregale stellen technisch simple Formen von Blockregalen dar. Die Ladungsträger werden hierbei auf durchgehenden waagrechten Winkelprofilen abgestellt, auf der gewünschten Höhe werden die Lagereinheiten durch Frontstapler bis zur gewünschten Tiefe im Regal bewegt und danach abgestellt.

Einfahrregale eignen sich lediglich für eine LIFO Entnahme der Lagereinheiten, während Durchfahrregale die Möglichkeit zur beidseitigen Entnahme bieten. Eine Änderung der Reihenfolge von Lagereinheiten innerhalb eines Ganges ist hierbei ohne Versetzen anderer Lagereinheiten nicht möglich. Innerhalb eines Ganges sollte die Lagerung deshalb möglichst artikelrein erfolgen!

- Satellitenregale: Hier sind unterhalb jeder Lagerebene Fahrschienen für den sogenannten Satelliten angebracht, sodass damit jeder Platz des Kanals angefahren werden kann. Damit sind wesentlich mehr Einheiten als im Falle des Einfahrregals im Zugriff, da das verwendete Gerät unabhängig von dem Platzangebot in den darunter liegenden Ebenen ist!

3.1.3 Statische Regallagerung

Bei der Lagerung in Regalen wird eine möglichst hohe Raumnutzung durch Lagerung in mehreren übereinander liegenden Fächern erreicht. Dies ist für alle Güter möglich, welche sich sinnvoll zu Lagereinheiten zusammenfassen lassen (etwa Stückgut, oder auch Schüttgut wenn ein entsprechender Behälter verwendet wird). Durch die Ver-

⁶⁶ Vgl. Jünemann, R. (1989), S. 17

wendung von Regalen können auch nicht stapelfähige Güter mit nur geringem Flächenbedarf effizient gelagert werden.

Höhenlimitierungen stellen hierbei selten bauliche Gegebenheiten dar, viel eher sind sie von der Form der Bestückung abhängig – so haben sind die Grenzen für eine Bestückung ohne mechanische Hilfsmittel bei ungefähr 2m Arbeitshöhe, während Frontstapler eine mögliche Arbeitshöhe von 4-6m aufweisen. Größere Höhen können nur noch durch Regalbediengeräte effizient bewirtschaftet werden, hierbei sind Höhen von bis zu 50m erreichbar – so Schulte (1999).⁶⁷

Durch die eindeutige Bildung von Lagereinheiten ist die Verfolgbarkeit von Chargen, aber auch eine effiziente Auswahl an auszulagernden Einheiten gegeben – um etwa der Veralterung von Ware entgegen zu wirken kann hier mit dem FIFO Prinzip gearbeitet werden. Die gesteigerte Informationsqualität und –quantität ist hierbei für jede Optimierungsmaßnahme grundlegend!

Je nach Ausführungsform von Regalen unterscheidet ten Hompel (2008) zwischen Zeilenregalen, mit ausgewiesenen Fahrwegen zwischen den Regalen, und Blockregalen. Blockregale bieten den Vorteil größtmöglicher Raumnutzung durch Wegfall von Fahrwegen, haben jedoch den Nachteil eingeschränkter Zugänglichkeit zu der eingelagerten Ware.⁶⁸

- Variante Zeilenregal: Zeilenregale sind per Definition eine Anordnung von Fächern sowohl neben-, als auch übereinander. Diese Form von Regalen gibt es in verschiedensten Größen, Belastungsgrenzen, und Möglichkeiten zur Auslegung. Während einfachtiefe Regale die Zugänglichkeit zu jeder einzelnen Lagereinheit direkt an der Regalfront ohne Nebenbedingung erlauben, und damit verbunden keine Nebenbedingung für die Umsetzung von Lagerbewirtschaftungsstrategien, bieten doppel- oder dreifachtiefe Regale die Möglichkeit der noch höheren Raumnützung durch Verschiebung des Anteiles Fahrweg/Regalflächen zugunsten den Regalflächen. Bei der Dimensionierung müssen die benötigte Durchsatzmenge, die physikalischen Eigenschaften der einzulagernden Güter, aber auch die Form der Bedienung beachtet werden. Ebenfalls bietet die Dimensionierung der Regale Möglichkeiten zur Optimierung – Regale können möglichst lange konstruiert werden, um die Notwendigkeit von Gassenwechseln des Lagereinheitenmanipulators zu reduzieren. Dadurch reduziert sich aber der mögliche Durchsatz, da weniger

⁶⁷ Vgl. Schulte, C. (1999), S. 178

⁶⁸ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 76

Bediengeräte gleichzeitig eingesetzt werden können. Auch sind die Weg zu den definierten Abgabestationen der Lagereinheiten ungleich länger, was ebenfalls in einer schlechteren Cycletime resultiert.

Durch die Möglichkeit der direkten Adressierung eines jeden einzelnen Lagerplatzes bieten sich Vorteile bei Inventur, oder auch Chargenverfolgungen. Typischerweise kommen diese Form von Regalen in Lagern vor, bei denen eine hohe Vielfalt an Artikeln, bei mittelmäßiger Stückzahl je Artikel eingelagert wird.

Die erforderlichen Breiten der Gänge sind abhängig von dem eingesetzten Lagereinheitenmanipulator, der eingelagerten Ware, und der Bauform des Regals. Während breite Gassen die Möglichkeit des „Überholens“ von Staplern durch Kommissionierer bieten, bedeutet dies laut Gue u.A. (2006) gleichzeitig eine Verschiebung des Verhältnisses Fahrweg/Regalflächen in Richtung Fahrweg und damit eine Verringerung des Raumnutzungsgrades.⁶⁹

- Zeilenregal – Palettenregal: Diese Ausführung von Regalen ist am häufigsten verbreitet. Durch die große Variabilität in der Ausführung können sowohl Kleinteile, als auch schwere und große Waren mit nur geringem Raumverlust durch variable Höheneinstellung eines Faches gelagert werden. Die Einlagerung erfolgt auf standardisierten Norm-Ladungsträgern, etwa EURO-Paletten (80x120x14,4cm), Chemiepaletten (100x120x14,4cm), oder in Gitterboxen mit ähnlicher Grundfläche. In einem Fach finden typischerweise zwischen 3 und 5 Lagereinheiten nebeneinander Platz, wobei hier die Restriktion durch die maximal zulässige Feldbelastung gegeben ist. Durch die Reduktion an Stützen eines Regals erreicht man eine höhere Anzahl an möglichen Stellplätzen, und damit einen höheren Nutzungsgrad. Ob eine Palette längs (die kurzen Seiten parallel zum Gang) oder quer (die langen Seiten parallel zum Gang) werden ist für die Dimensionierung sowohl der erforderlichen Gangbreite, aber auch der Auswahl des Manipulators entscheidend – sollte eine Kommissionierung händisch direkt von der Lagereinheit erfolgen muss die maximale Reichweite eines Menschen, welche mit 95cm angenommen wird, berücksichtigt werden – durch eine Tiefe von 120cm bei Palettenlängseinlagerung wäre eine Entnahme nicht ohne Beeinträchtigung möglich. Für die Lagerung überlanger Waren empfiehlt sich dennoch die Quereinlagerung in einem Regal, da sich dadurch die Auflagefläche von 80 auf 120cm erhöht.

⁶⁹ Vgl. Gue, K.R., Meller, R., Skufca, J.D. (2006), S. 860

- Zeilenregal – Behälterregal: Sollte aufgrund geringer Artikelmenen oder kleiner Abmessungen der einzulagernden Artikel die Lagerung auf Paletten oder in Rollboxen nicht wirtschaftlich sein, so empfiehlt sich die Verwendung von kleineren Behältnissen. Durch die geringen Gewichte der Lagereinheiten ist ein materialsparender Aufbau von Regalen durch Verwendung einfacher Winkelprofile möglich.

Die physischen Warenbewegungen in Behälterregalen werden oftmals durch vollautomatische Regalbediengeräte ausgeführt, welche durch den Entfall von Brachzeiten sehr hohe Zugriffsraten ermöglichen. Die Einlagerung bzw. Auslagerung aus den Regalplätzen kann dabei durch Schieben oder Ziehen des Behältnisses erfolgen, das geringe Gewicht der Lagereinheit verursacht geringe Reibung, so kann der Vorgang des Hebens bzw. Absenkens weggelassen werden. Dadurch sind kurze Verweilzeiten des Regalbediengerätes möglich, was die Umschlagleistung signifikant ansteigen lässt. Ebenfalls reduziert sich die notwendige lichte Höhe je Regalfach, da kein Hubweg berücksichtigt werden muss – dies führt zu einer wesentlich kompakteren Bauform des Regales.

- Zeilenregal – Mischpalettenlagerung: Sollten verschiedene Waren oder Chargen gemeinsam auf einem Ladehilfsmittel gelagert werden spricht die Literatur von „Mischpalettenlagerung“.⁷⁰ Die Verwaltung dieser Einheiten ist ungleich komplexer im Vergleich zu artikelreinen Lagereinheiten, da hier Konsolidierungsmaßnahmen notwendig sind um eine hohe Raumauslastung erreichen zu können. Dieses „Dazulagern“ verursacht zusätzliche Transporte im Regal, weshalb die Optimierung oftmals bei geringer Belastung des Systems durchgeführt wird um die operativen Prozesse nicht zu beeinträchtigen.

- Zeilenregal – Hochregallager: Die DIN EN 15635 bezeichnet Regale mit Bauhöhen über 12m als „Hochregale“.⁷¹ In der Praxis zeigt sich jedoch, dass die Unterscheidung zwischen Regal und Hochregal eher in den für den Zugriff notwendigen Betriebsmitteln getroffen wird. Während ein Frontgabelstapler üblicherweise nur Lasten in maximal 6m Höhe aufnehmen kann, so müssen für größere Höhen entweder Stapler mit Teleskopmasten, oder Regalbediengeräte verwendet werden.

Derzeit liegt die Grenze der Effektivität der Bewirtschaftung eines Regales mit einem Regalbediengerät bei 50m Regalhöhe, wobei sich aus Gründen der Wegoptimierung die Regale oftmals zur Hälfte unter dem Bodenniveau befinden.

⁷⁰ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 80

⁷¹ Vgl. DIN EN 16635 (2009), S. 6 f.

3.1.4 Dynamische Regallagerung

Die dynamische Regallagerung zeichnet sich durch Bewegung der eingelagerten Lagereinheiten zwischen Ein- und Auslagerung aus. Dadurch sind sowohl Wegoptimierungen für die Kommissionierung, aber auch erhöhte Raumauslastung bei der Lagerung möglich.

Grundsätzlich erfolgt eine Unterscheidung hinsichtlich der bewegten Einheit. Zum Einen sind feststehende Regale, mit sich darin bewegenden Lagereinheiten möglich, zum Anderen gibt es auch die Kombination beweglicher Regale, aber darin ortsfesten Lagereinheiten.

- Durchlaufregale: Laut Schulte (1996) werden in Durchlaufregalen Lagereinheiten durch Einsatz sogenannter Förderebenen innerhalb des Regales transportiert.⁷² Dieser Transport kann entweder durch Schwerkraft (schiefe Ebene) erfolgen, oder motorisch angetrieben. Man unterscheidet bei dieser Form zwischen einer LIFO Entnahme in einem *Einschubregal*, hier erfolgt die Bestückung und die Entnahme der Lagereinheiten auf derselben Seite, und zwischen der FIFO Entnahme mit getrennten Einschub- / Entnahmestellen, und damit einem *Durchlaufregal*. Bei Letzterem ist der Materialfluss innerhalb des Regales stets unidirektional ausgerichtet, während bei der LIFO Entnahme der Materialfluss nicht gerichtet ist.

Die Vorteile dieses Lagersystems sind die kompakte Lagerung und der hohe Grad an Raumnutzung, als Nachteil ist die Zugänglichkeit nur auf die vordersten Lagereinheiten zu nennen – eine artikelreine Lagerung je Lagerkanal ist deshalb Voraussetzung!

Eine andere Form der dynamischen Regallagerung stellen statisch gelagerte Lagereinheiten in beweglichen Regalen dar:

- Verschieberegale: Verschieberegale bieten die Möglichkeit, Regalgassen durch Verschieben der Regale zu bilden oder auch zu entfernen. Dabei sind die Regale laut Ehrmann (1997) auf Schienen gelagert, welche ein seitliches Verschieben ermöglichen.⁷³ Die Besonderheit bei diesem System ist der hohe Raumnutzungsgrad durch den Entfall von fixen Gassen, bei dennoch prinzipiell nach Verschieben von

⁷² Vgl. Schulte, G. (1996), S. 247 f.

⁷³ Vgl. Ehrmann, H. (1997), S. 224

Regalen erreichbaren Lagereinheiten. Durch die Notwendigkeit des Verschiebens resultiert eine geringe Zugriffsleistung, welche durch geeignete Maßnahmen der Kommissionierung (Mehrkundenkommissionierung, siehe Kapitel 2.5.2) und Optimierung der Einlagerung in möglichst wenigen Regalen verbessert werden kann. Durch das Zusammenfahren der Regale zu einem Block kann weiters ein positiver Effekt bei der Lagerung temperaturempfindlicher Güter, etwa in Kühllagern, erreicht werden, und auch Schutz vor unbefugtem Zugriff.

- Umlaufregale: Umlaufregale sind vom Prinzip her angepasste Stetigförderer, welche als Hauptaufgabe die Lagerung und nicht den Transport haben. Dabei erfolgt der Zugriff auf die Lagerplätze lediglich bei definierten Übergabestationen, somit entfallen Gassen und Fahrwege – eine Erhöhung der Raumnutzung bei Reduktion der Kommissionierwege beim Prinzip Ware-zum-Mann, siehe Kapitel 2.5.2, sind die direkte Folge. Da zwischen den Entnahmen verschiedener Artikel das Regal verfahren muss werden oftmals mehrere Umlaufregale nebeneinander verwendet, wobei der Kommissionierer nach jeder Entnahme die Entnahmestation wechselt.
- Umlaufregale - Paternosterregale: Sollten sich die Lagerplätze dynamisch senkrecht bewegen so spricht man von vertikalen Umlaufregalen, oder auch „Paternosterregalen“. Die Lagerplätze müssen bei dieser Form drehbar ausgeführt sein, um eine sichere Lagerung trotz Umkehr der Bewegungsrichtung gewährleisten zu können. Bauartbedingt erreicht man eine hohe Nutzung der Bodenfläche, da die Lagerung primär in die Höhe erfolgt.
- Umlaufregale - Karussellregale: Bei Karussellregalen bewegen sich die Lagerplätze samt Lagereinheiten horizontal, um Kommissionierwege zu verkürzen meist in die Tiefe. Die Entnahme erfolgt bei fixen Entnahmestellen am stirnseitigen Wendepunkt des Regals, im Zugriff befinden können sich entweder komplette Lagerfelder, oder auch nur einzelne Fächer – alle Anderen sind durch Türen vor fremden Zugriff oder auch vor Fehlentnahmen gesichert. Im Gegensatz zu den Paternosterregalen sind bei Karussellregalen weitaus größere Baulängen möglich, bis zu 50m Tiefe ermöglichen höhere Lagermengen.
- Umlaufregale - Behälterumlauftregale: Behälterumlauftregale bieten eine besonders hohe Umschlagsleistung, da das Verfahren des Regals unabhängig von der Entnahme der Ware erfolgt. In diesem Fall wird die Ware in Behältern inner-

halb eines Regalfaches gelagert, und bei der Entnahmestation aber nicht der Inhalt des Behälters manuell, sondern die vollständige Lagereinheit vollautomatisch entnommen. Die eigentliche Kommissionierung erfolgt im Anschluss an ein Staulager, während das Regal durch Verfahren die nächste zu entnehmende Lagereinheit bereitstellt. Nach der Entnahme wird die angebrochene Lagereinheit wieder zurück zur Entnahmestelle gebracht, wobei die Auslagerung einer Lagereinheit, und das Rücklagern einer angebrochenen Einheit im Doppelspiel erfolgen – dadurch werden laut Jünemann und Schmidt (1999) höchste Zugriffszahlen ermöglicht!⁷⁴

Die Verwaltung dieser Lagersysteme setzt eine leistungsstarke Software voraus, welche nicht nur die je Lagerplatz gebuchten Bestände, sondern auch Optimierungen der Einlagerung und der Entnahme durchführen kann. Kapitel 4 widmet sich den Aufgaben eines sogenannten „Warehouse Managementsystems“.

4 Warehouse Managementsystem (WMS)

Ten Hompel (2008) sieht die Aufgaben eines WMS in der Lagerverwaltung.⁷⁵ Die vorhandenen Lagerplätze sind in diesem System abgebildet, und die darin enthaltenen Einheiten erfasst sowie mit Attributen, wie Lagereingangsdatum, Artikelnummer, Artikelmenge, versehen.

Eine etwas weitere Definition sehen Rouwenhorst u.A. (2000).⁷⁶ Laut ihrer Sicht ist ein WMS eine auf eine Datenbank aufbauende Computeranwendung, welche von Logistik geschultem Personal zur Erhöhung der Effektivität und zur Optimierung von Abläufen betrieben wird. Sämtliche Vorgänge werden mit Transaktionen durchgeführt, und können verfolgt werden.

Typische Erwartungshaltungen gegenüber einem WMS sind laut Rouwenhorst demnach neben den üblichen Lagerfunktionen (Vereinnahmung von Ware, Lagerung, Kommissionierung, Verpackung und Versand) auch effizienzsteigernde Maßnahmen:

- Reduktion von Aufwand im innerbetrieblichen Transport

⁷⁴ Vgl. Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), S. 183

⁷⁵ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 35

⁷⁶ Vgl. Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V. (2000), S. 515

- Effizienzsteigerungen in der Produktion
- Erhöhung des Kundenservices
- Erhöhte Flexibilität gegenüber externen Einflüssen
- Ausgleichsfunktion in den Dimensionen Ort und Zeit zwischen Produzenten und Kunden
- Minimierung von Logistikkosten bei gleichzeitig determiniertem gewünschtem Servicegrad
- Möglichkeit zur Vertiefung von Kunden-Lieferantenbeziehungen

4.1 Lagerplatzverwaltung (LPV)

Basis einer LPV ist immer ein elektronisches Abbild der physischen Lagerstruktur. Typischerweise unterscheidet man hierbei zwischen Regalen verschiedenster Macharten, wie in Kapitel 3.1 bereits angeführt, und Blockplätzen. Jeder dieser Plätze wiederum hat bestimmte Attribute, welche die erlaubten Ladungsträgerkombinationen oder Ware bestimmen. Typische Eigenschaften eines Platzes sind Tragfähigkeit, Abmessungen, erlaubte Ladungsträger, erlaubte Anzahl an gleichzeitig eingelagerten Ladungsträgern, aber auch die Position innerhalb des Lagers. Je genauer die Position errechnet werden kann, desto effizienter sind nachgelagerte Optimierungen der Einlagerung.

Die zweite Hauptaufgabe der LPV stellt die Bestandsverwaltung dar – hierbei werden Kombinationen von Ware, eventuell vorhandenem Ladungsträger, und Lagerplatz hergestellt welche die physische Realität wiedergeben. Die Bestandsführung erfolgt in modernen LVS in Echtzeit, jede Artikelbewegung wird online verbucht und führt direkt zu einer Bestandskorrektur am betroffenen Stellplatz.

Jeder im WMS angelegte Lagerplatz kann verschiedene Stati annehmen, etwa wenn der Platz Ziel eines Umlagerungsauftrages, aber noch physisch unbelegt ist. Dadurch ist der Platz für diese Lagereinheit reserviert, wodurch eine unzulässige Mehrfachbelegung des Lagerplatzes verhindert wird. Weitere Stati sind üblicherweise „verfügbar“, „belegt“, „gesperrt zur Einlagerung“ und „gesperrt zur Auslagerung“. Das Sperren von Lagerplätzen kann zur bewussten Konzentrierung der Einlagerung auf eine

geringere Anzahl an Gängen verwendet werden, oder aber auch um bestimmte Zonen für Wartungsarbeiten frei zu halten.

Auch ist es möglich Lagereinheiten zu sperren – diese können nicht zur Auslieferung herangezogen werden, etwa im Falle eines Qualitätsproblems, oder eines überschrittenen Verfalldatums.

4.2 Bestandsverwaltung

Bei der Bestandsverwaltung liegt der Fokus auf die Mengen der eingelagerten Artikel. Abhängig vom benötigten Aggregationsgrad werden entweder Bestellungen beim Lieferanten ausgelöst, oder auch Nachschubaufträge innerhalb des Lagers erzeugt. Dadurch werden Versorgungsengpässe umgangen, und eine möglichst kontinuierliche Bereitstellung ermöglicht. Auslösekriterien für Nachschübe oder Nachbestellungen können zum Einen sowohl klassische Min./Max Bestand Parameter sein, aber zum Anderen auch Prognosen über erwartete Bedarfe in der Zukunft.

Eine permanente Überwachung der Bestände je Lagerplatz ist dafür unumgänglich. Diese Bestände können ebenfalls verschiedene Stati einnehmen. Abhängig vom aktuellen Status kann auf die Ware nicht zugegriffen werden, und kann so etwa einer gezielten Zählung oder einer Qualitätskontrolle unterzogen werden. Tabelle 7 listet die geläufigsten Stati von Beständen auf:

Tabelle 7: Differenzierung von Bestandsstati nach Ten Hompel (2008) ⁷⁷

Bezeichnung	Bedeutung
physischer Bestand	im Lagersystem vorhandene Einheiten
verfügbarer Bestand	Lagerbestand unter Berücksichtigung gesperrter oder reservierter Mengen = Bestand an disponiblen Einheiten
reservierter Bestand	mit Sperrkennzeichen versehener Bestand
Fehlmengen	offene (ausstehende) Eingangslieferungen, für die bereits ein Auftrag besteht

⁷⁷ nach Ten Hompel, M. (2008), S. 57

4.2.1 Möglichkeiten der gezielten Warenverteilung im Lager

Speziell in Lagern mit hohem Grad an Auslastung ist es aus räumlichen Gründen nicht immer möglich, die optimalen Plätze zur Einlagerung zu verwenden. Dadurch entstehen sowohl lange Transportwege, als auch ein geringerer Auslastungsgrad je Stellplatz – etwa durch nicht ideale Ladungsträgerkombinationen innerhalb eines Regalfaches, oder durch schlechte Ausnützung der zu verfügbaren Höhe eines Faches durch niedrige Lagereinheiten.

Um die daraus resultierenden Verluste möglichst gering zu halten weist ten Hompel (2008) auf die Notwendigkeit der Selbstoptimierung eines Lagersystems hin, einer sogenannten Lagerreorganisation.⁷⁸ Als Möglichkeiten zur Optimierung werden folgende Möglichkeiten genannt:

- Vergabe eines neuen Entnahmeplatzes, um die Kommissionierwege optimieren zu können
- Umlagerung ganzer Lagereinheiten in geeignetere Lagerzonen, etwa in Schnelldreherzonen, oder Blocklager zur Verkürzung der Nachschubwege
- Verdichtung mehrerer Lagereinheiten mit geringer Volumennutzung auf weniger, dafür besser genützte Ladungsträger

Um eine Optimierung der Lagerung zu erreichen wurden bereits viele verschiedene Ansätze gewählt: Muralidharan u.A. (1995) untersuchte die Einsatzbarkeit eines Karussellregals, um die Durchlaufzeit eines Kommissionierauftrages zu reduzieren.⁷⁹ Thonemann und Brandeau (1998) entwarfen Algorithmen um sowohl die Bestands-, als auch die Kommissionierkosten zu verringern.⁸⁰ Vickson und Lu beschäftigten sich mit der Zuordnung von Kommissionierern und Artikeln zu definierten Entnahmeplätzen, sowohl für statische, als auch für dynamische Lagerung, siehe Kapitel 3.1.⁸¹

Jewkes u.A. (2004) haben diese unterschiedlichen Betrachtungsweisen in einen neuen Algorithmus vereint, um Zielkonflikte der Vergabe eines Entnahmeplatzes, der Zu-

⁷⁸ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 35

⁷⁹ Vgl. Muralidharan, B., Linn, R., Pandit, R. (1995), S. 1161

⁸⁰ Vgl. Thonemann, UW, Brandeau, M. (1998), S. 142

⁸¹ Vgl. Vickson, R., Lu, X. (1998), S. 18

ordnung von Kommissionierern zu Aufträgen, und der Zuordnung von Aufträgen zu Zonen mathematisch behandeln zu können.⁸²

4.2.2 Steuerung der Fördermittel

Selbstfahrende Fördereinrichtungen wie Regalbediensysteme werden durch intelligente, und wegoptimierende Staplerleitsysteme (SLS) gesteuert. Manuell geführte Fördereinrichtungen, typischerweise Unstetigförderer wie Flurfördergeräte oder Gabelstapler können ebenfalls durch das WMS entweder unterstützt, wobei der Mitarbeiter selber die Reihung der abzuarbeitenden Aufträge vornimmt, oder geleitet werden – in diesem Fall werden die Aufträge durch den Materialflussrechner gesteuert in der optimalen Auftragsreihenfolge per Funk freigegeben.⁸³

Die Gründe für IT Unterstützung liegen in erster Linie bei der Optimierung des Materialflusses, etwa die Berechnung von Doppelspielen zur Reduktion von Leerfahrten, oder auch bei der verbesserten Taktung der Transporte und der damit verbundenen Reduktion der Durchlaufzeiten je Auftrag. Auf kurzfristige Änderungen der Auftragszusammensetzung kann bedingt durch eine Führung auch die Priorität von Aufträgen geändert werden, sollte dies etwa für Eillose notwendig sein. Ebenfalls kann dadurch eine bewusste Zonung des Lagers in Zuständigkeitsbereiche von Mitarbeitern bzw. Fördermitteln erreicht werden, dadurch wird verhindert dass Aufträge von nicht geeigneten Fördermitteln übernommen werden (z.B. Einlageraufträge in ein Regal für ein Niederflurfördergerät).

Damit die Auftragsvergabe korrekt erfolgt ist es im SLS notwendig die jeweiligen Fördermittel mit ihren individuellen Eigenschaften anzulegen. Diese Eigenschaften sind zum Einen technisch begründet, wie die maximale Tragfähigkeit oder eine maximale Hubhöhe, und zum Anderen auch logisch – indem man die erlaubte Arbeitszone eines Fördermittels begrenzt. Damit ein mehrstufiger Transport zwischen verschiedenen Arbeitszonen durchgeführt werden kann ist die Definition von Übergabepätzen notwendig, welche lediglich als Schnittstelle zwischen Zuständigkeiten für einen Transportauftrag dienen, ohne sonstige Funktion als Lager- oder Entnahmeplatz.

⁸² Vgl. Jewkes, E., Lee, Ch., Vickson, R. (2004), S. 623

⁸³ Vgl. VDI 3591 (1998)

4.2.3 Data Warehouse im Lager

Um den Zustand eines Lagers bzw. von gelagerter Ware möglichst einfach und über einen bestimmten Zeitraum vergleichbar zu machen gibt es eine Vielzahl an möglichen Kennzahlen.

Ten Hompel (2008) gruppiert die geläufigsten Kennzahlen unter den Überbegriffen „Leistungserfassung“, „Übersichtsinformationen“ und „Betriebsmittelstatistiken“ zusammen.⁸⁴

Die „Leistungserfassung“ dient der Vergleichbarkeit der individuellen Leistung von Mitarbeitern, und ist gleichermaßen notwendig, wie bei Logistikdienstleistern, als auch umstritten bei Arbeitsnehmersvertretern:

- Qualität der Kommissionierung (Pickfehler, Anteil an beschädigter Ware,...)
- Individuelle Arbeitsleistung eines Mitarbeiters (Picks in der Kommissionierung, verladene Kubatur im Warenausgang, verreinnahmte Kubatur / gebildete Lagereinheiten im Wareneingang,...)
- Anzahl an bearbeiteten Reklamationen
- ...

Die sogenannten „Übersichtsinformationen“ dienen zur Beurteilung der Lagersituation:

- Lagerbelegungsgrad (Anzahl an belegten Stellplätzen)
- Raumbefüllungsgrad
- Füllgrad der Ladungsträger
- Lagerbestand
- Lagerdrehung
- ...

⁸⁴ Vgl. ten Hompel, M. (2008), S. 61

In den „Betriebsmittelstatistiken“ werden Informationen über Betriebsmittel gesammelt und aufbereitet:

- Betriebsstunden
- Ausfallzeiten
- Laufende Kosten je Betriebsmittel
- ...

Durch eine kontinuierliche Analyse der genannten Kennzahlen ist es möglich, auf Auslastungsschwankungen zwischen verschiedenen Bereichen des Lagers proaktiv zu reagieren. Vor erwarteten Spitzenauslastungen können dadurch rechtzeitig erhöhte Kapazitäten bereitgestellt, und vor Reduktion des Beschäftigungsgrades langsam wieder abgebaut werden. Diese Informationen dienen deshalb zur Reduktion der Kostenremanenz, welche bei geänderter Kapazitätsbereitstellung entsteht.⁸⁵ Auch dient ein Kennzahlensystem zur Identifikation temporärer Engpässe, und der Möglichkeit zur gezielten Lösung.

Die Datenprotokollierung kann entweder durch Fortschreibung definierter Statistiken, oder durch Archivierung von Buchungsprotokollen im sogenannten Lagerbuch, so Thaler (2000), erfolgen.⁸⁶ Diese können individueller abgefragt werden, und stellen eine breite Datenbasis dar – dementsprechend liegt auch der benötigte Speicherplatz der Archivdaten ein Vielfaches über dem der Variante mit den fest definierten, und fortgeschriebenen Kennzahlen.

Üblicherweise werden sämtliche Bewegungsbuchungen protokolliert, etwa mit den Daten der Quelle / Senke, der bearbeiteten Personalnummer, der ID des Transportauftrages, dem Zeitstempel der Auftragsannahme, des Auftragsabschlusses, und der ID der bewegten Lagereinheit inklusive den damit verknüpften Artikeldaten.

Beim Wareneingang (WE) werden Daten wie WE-Datum, Lieferschein, Lieferant, Bestellnummer, Chargennummer und eventuell auch Ablaufdaten erfasst und protokolliert.

Für die Auswertung über Warenausgänge (WA) müssen ebenfalls Lieferscheine und Rechnungen dokumentiert werden – diese Informationen werden heutzutage elekt-

⁸⁵ Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7702/kostenremanenz-v6.html>

⁸⁶ Vgl. Thaler, K. (2000), S. 177 f.

ronisch abgelegt, und können dadurch auch rasch ausgelesen und interpretiert werden.

Im kommenden Kapitel werden die bisher gewonnenen Erkenntnisse zur Durchführung einer Fallstudie eingesetzt.

5 Fallstudie Möbelhandel

Anhand eines Fallbeispiels werden in diesem Kapitel die möglichen Auswirkungen einer geänderten Bereitstellstruktur auf zu definierende Logistikkennzahlen ermittelt, und daraus Optimierungspotentiale identifiziert. Als Nebenbedingung sollen die betrieblichen Infrastruktur und die baulichen Gegebenheiten beibehalten werden, es dürfen lediglich prozessuale Änderungen vorgenommen werden!

Vorgehensweise:

Definition der Forschungsfragen:

- Welche Möglichkeiten der Kommissionierung gibt es, und welche sind in einem Hochregallager mit niedrigem Automationsgrad anwendbar?
- Welche Formen der Bereitstellung sind bekannt, und in einem Schmalgang Hochregal anwendbar?
- Wie kann die Gesamtauslastung der Systeme „Nachschub“ und „Kommissionierung“ ohne zusätzlichen Investitionsaufwand verringert werden?

Datenbeschaffung:

Die dieser Fallstudie zugrunde liegenden Daten und Prozesse wurden von einem österreichischen Möbelhändler zu Verfügung gestellt, und entsprechen nur geringfügig verallgemeinerten Echt Daten des vorhandenen Hochregals in dessen Zentrallager. Durch die Verallgemeinerung werden die Anwendbarkeit auf andere Hochregallager mit ähnlicher Bewirtschaftung geschaffen, und allgemein gültige Erkenntnisse abgeleitet!

Sowohl die Ist-Daten der Lagereinrichtung als auch der darin umgeschlagenen Waren wurden aus dem eingesetzten Lagerverwaltungssystem entnommen. Durch Buchungsprotokolle wurden sämtliche Bewegungsmeldungen über einen Zeitraum von KW 1/2012 bis KW 30/2013 erhoben und ausgewertet, siehe Kapitel 5.4.2. Die Beschaffenheit des Hochregallagers selber hat sich während dieses Zeitraumes nicht verändert, somit ist eine Eingrenzung auf einen bestimmten Betrachtungszeitraum nicht notwendig – in Kapitel 5.2 wird näher auf die Ausstattung der Lagereinrichtung eingegangen.

Zusätzlich wurden Experten der Lagerverwaltung befragt, und deren Erfahrungen in die Analysen eingearbeitet. Durch Eigenerhebungen nach REFA wurden zusätzlich Soll-Zeiten sowohl für Zugriffs-, als auch für Transportleistungen definiert, und zur Verifizierung der Datenbasis verwendet.

Die systemische Korrektheit der im Laufe der Arbeit definierten Prozessvarianten wurde mit Experten des eingesetzten Lagerverwaltungssystems geprüft und für einsetzbar befunden.

Datenanalyse:

Die gewonnenen Ist-Bewegungsdaten aus den Bereichen Transport und Kommissionierung wurden statistisch erfasst und in Kapitel 5.4.2 aufbereitet.

Durch Gegenüberstellung mit den erhobenen Soll-Daten für TUL-Vorgänge im Lager wurde eine signifikante Abweichung der Durchführungszeiten festgestellt und in Kapitel 5.4.1 die Ursachen erhoben.

Entwicklung von alternativen Varianten der Bereitstellung und Kommissionierung:

Nach der Datenanalyse wurden nicht wertschöpfende Tätigkeiten identifiziert, deren Anteil an den Ist-Durchführungszeiten erhoben, und Varianten zur Minimierung dieser entwickelt.

5.1 Besonderheiten des Möbelhandels

Bedingt durch heterogene Produkteigenschaften wie Form (von quaderförmig bis zylindrisch), Eigenschaften (stapelbar bis zerbrechlich) oder die Aufsplittung eines Artikels in verschiedene zusammengehörige Packstücke (beispielsweise ein Bett mit einem Packstück Kopfteil, einem Packstück Fußteil, einem weiteren Packstück Seitenteile, zwei Packstücken Lattenrost und zwei Matratzen) sind in dieser Branche spezielle intralogistische Herausforderungen in den Bereichen Lagerung und Transport zu lösen. Die Taktung der Bereitstellung von zusammengehörigen Produkten stellt einen besonderen Anspruch dar, auf den in dieser Arbeit näher eingegangen wird.

Auch ist die Möbelbranche durch die Saisonalität einzelner Produkte geprägt, etwa Gartenmöbel oder Weihnachtsware. Derartige Waren befinden sich nahezu ausschließlich nur einige Wochen bis wenige Monate im Zentrallager, und das Unternehmen versucht die Restbestände durch Abverkäufe vor Saisonende möglichst zu reduzieren.

Andere Einflussfaktoren wie bestimmte benötigte Umgebungstemperaturen sind für die Betrachtung der Bereitstellungsmöglichkeiten nicht relevant, dennoch kann die Betrachtung eines Lagers der Möbelbranche stellvertretend für die Lagerhaltung verschiedenster Branchen durchgeführt werden.

5.2 Hochregallager – Größe und Ausstattung

Das betrachtete Hochregallager ist ein Schmalganglager, mit singledeep Einlagerung auf beiden Seiten der Gasse. Es besteht aus 50 Gassen, wobei nur die Bodenebene als Kommissionierebene verwendet wird. Direkt darüber gibt es 4 Ebenen mit Reserveware, siehe Abbildung 3. Jede Regalebene ist mit 17 Fächern zu je 3 Plätzen ausgeführt, dadurch ergeben sich je Gasse 34 Fächer mit 102 Kommissionierplätzen, und 148 Fächer mit 408 Reservestellplätzen. Bei 50 Gassen umfasst das betrachtete Hochregallager demnach 25.500 Regalplätze, von denen 5100 Plätze auf Bodenebene sind und damit als Kommissionierplätze genützt werden.

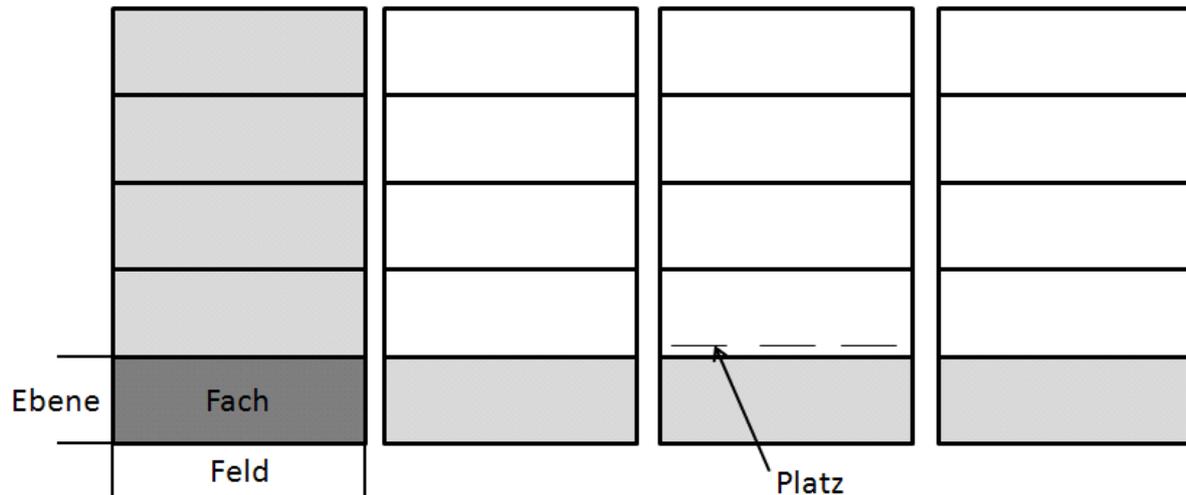


Abbildung 3: Schematische Darstellung Regal⁸⁷

Die Länge jeder Gasse beträgt 73m, durch die geringe Gassenbreite von lediglich 1,9m (Schmalgangregal) ist es nicht möglich zwischen den Regalen mit einem Fahrzeug zu wenden oder zwischen den Gassen zu wechseln. Die Tiefe jedes Regals beträgt 120 cm, durch das Aneinanderstellen und durch die notwendigen Steher ergibt sich deshalb eine verbaute Tiefe von 250cm zwischen den Gassen.

Die Grundfläche des betrachteten Hochregals ist folglich 220m breit, und 73m lang, und umfasst eine Grundfläche von ungefähr 16.000m², und ist auch in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

⁸⁷ Eigene Darstellung

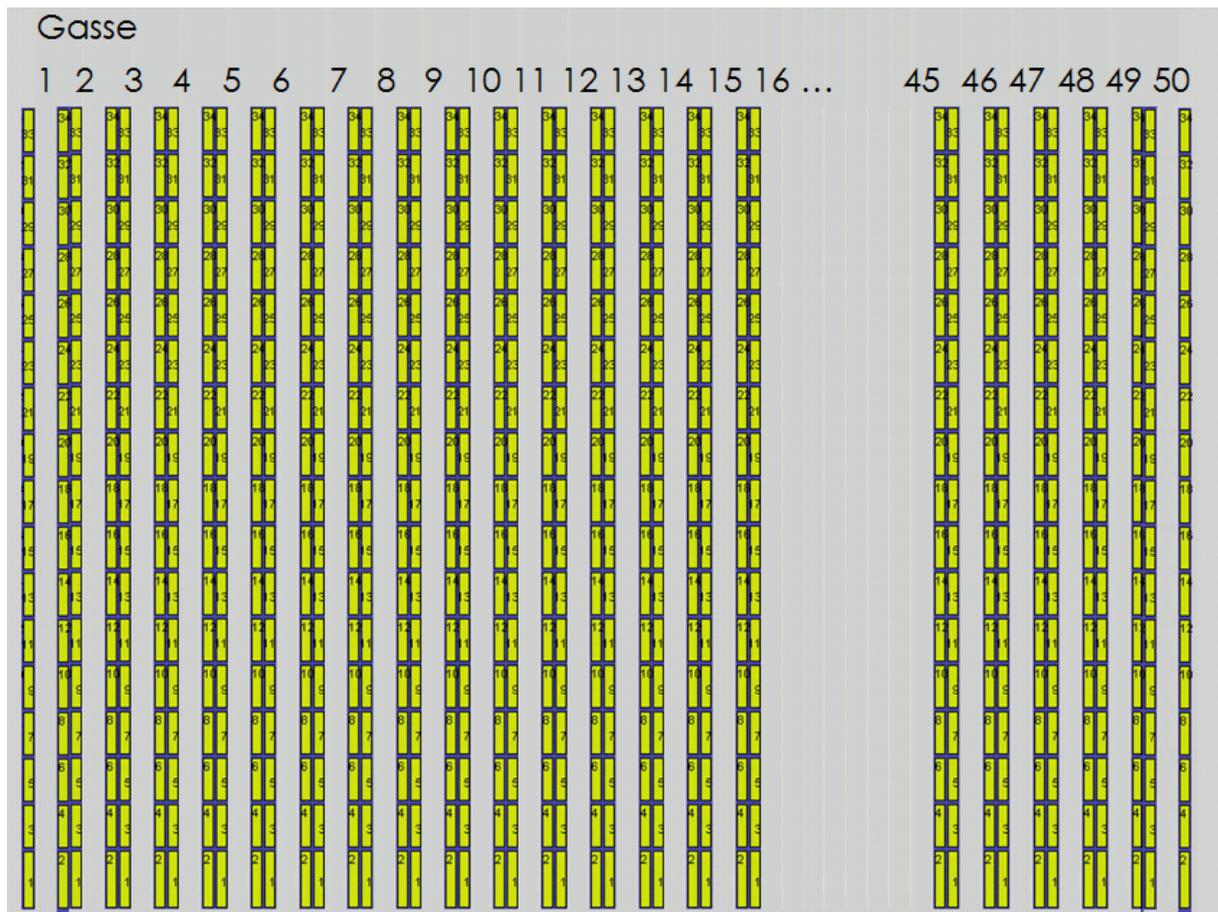


Abbildung 4: Grundriss Hochregal⁸⁸

Bedingt durch das heterogene Produktspektrum mit bspw. Überlangen, oder nur schwer stapelbaren Artikeln sind verschiedene Ladungsträgertypen im Einsatz. Jede dieser Varianten hat eine rechnerische Tiefe von 120cm, jedoch eine Breite von 130cm („A-Größe“), 200cm („B-Größe“) oder 270cm („C-Größe“), siehe Abbildung 5. Durch die einheitliche Fachbreite im Regal von 420cm sind nur folgende Ladungsträgerkombinationen ohne Verlust von Lagerfläche erlaubt:

- 3 A-Größen (= 3x 130cm verwendete Breite, 30cm Restbreite für Manipulation)
- 2 B-Größen (= 2x 200cm verwendete Breite, 20cm Restbreite für Manipulation)
- 1 C und 1 A-Größe (= 1x 270 + 1x 130cm verwendete Breite, 20cm Restbreite für Manipulation)

⁸⁸ Eigene Darstellung



Abbildung 5: A-Box, B-Box, C-Box⁸⁹

In diese Breitenklassen sind sowohl verwendete Boxen für schlecht stapelbare Waren wie Sitzsäcke, Sesselauflagen oder Artikel aus geflochtenem Rattan, als auch Europaletten mit überbreiter Beladung unterteilt. Generell sind alle verwendeten Boxen fix mit einzigartigen Barcodes ausgezeichnet, und damit individuell verfolgbar. Paletten hingegen werden beim Wareneingang einmalig mit Barcodes von Spenderrollen versehen. Dieses Etikett befindet sich aus Gründen der Scanbarkeit durch den Hochregalstapler entweder auf einer Höhe von 1,5m der Stirnseite, oder auf der Oberseite des obersten Paketes. Nach Entnahme dieses Paketes ist die Ware am Kommissionierplatz nur noch über die Umlagerhistorie rückverfolgbar.

Die Transporte von Ware auf Bodenebene erfolgt nahezu ausschließlich durch Flurfördergeräte, siehe Abbildung 6, welche in der Lage sind sämtliche verwendeten Ladungsträgertypen aufzunehmen. Durch die langen Staplergabeln ist der Transport von zwei Lagerobjekten gleichzeitig möglich!



Abbildung 6: Flurfördergerät⁹⁰

⁸⁹ Eigene Darstellung

⁹⁰ Vgl. http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_5502_de-DE___pdf___link/1417_ECE_220_225_D.PDF

Durch die beschränkte Hubhöhe der Flurfördergeräte von lediglich 20cm erfolgen Transporte in, oder aus der Reservezone des Hochregals ausschließlich durch Hochregalstapler, Abbildung 7 zeigt einen Solchen. Diese verfügen über einen Teleskopmast, mit dem die benötigte Hubhöhe von 15m erreicht werden kann. Sie bewegen sich induktionsgeführt stets längs innerhalb einer Gasse, und sind durch die drehbare Staplergabel in der Lage Ladungsträger auf beiden Seiten der Gasse einzulagern ohne außerhalb des Regals wenden zu müssen. Allerdings sind diese Stapler sehr langsam und unübersichtlich, und damit nicht geeignet weite Strecken zurück zu legen. Der Einsatzbereich für diese Geräte liegt primär in der Ein- und Auslagerung von Lagerobjekten innerhalb eines Ganges.



Abbildung 7: Hochregalstapler⁹¹

5.3 IT Infrastruktur

Die Lagerverwaltung wird mithilfe eines modernen, modular aufgebauten Lagerverwaltungssystems durchgeführt. Dieses ermöglicht eine Lagerverwaltung in Echtzeit, sodass jederzeit Informationen über Lagerstände, Kommissionierfortschritte, oder auch Auslastungsgrade von Betriebsmitteln ausgelesen werden können. Jede Warenbewegung oder Buchung wird auf Handscannern quittiert, welche per W-LAN permanent Informationen mit dem LVS austauschen – es erfolgt keine Verarbeitung von Informationen im Batch-Verfahren, sondern stets online. Dadurch ist eine genaue Datenprotokollierung gewährleistet, bei gleichzeitiger Möglichkeit Änderungen in der Planung sofort auf die bestehenden Aufträge übertragen zu können.

⁹¹ Vgl. http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_5802_de-DE___pdf___link/1952_ETX_513_515_D.PDF

Der betrachtete Teil des Hochregals ist mit je einer W-LAN Antenne je Gang ausgestattet, der hohe Anteil an Stahl durch das Regal und durch die eingelagerten Boxen, siehe Abbildung 5, machen diese hohe Dichte an Antennen mit Richtfunk notwendig.

Das physische Lager ist innerhalb des LVS logisch modelliert. Jeder Stellplatz hat eine eindeutige Nummer, und jedes Fach eigene Stammdaten welche für die Lagerbewirtschaftung notwendig sind. Beispiele hierfür sind Abmessungen, erlaubte Ladungsträger, aber auch Belastungsgrenzen je Fach. Dadurch wird ein höchstmöglicher Füllgrad des Lagers erreicht.

Für die Kommissionierung verwendete Stellplätze haben zusätzlich noch eine weitere Adresse, welche die Reihenfolge in der Kommissionierung steuert. Um Wegzeiten zu optimieren ist es sinnvoll Kommissionierer mäanderförmig durch das Lager zu schicken, wobei die Entnahmepunkte eines Kommissionierauftrages von der Vorderseite aus beginnend bis zum Ende des Regals laufen, und nach Gassenwechsel im nächsten Regal von hinten beginnend nach vorne. Während die „sichtbare“ Stellplatznummerierung stets von einer Seite einer Gasse nach hinten verläuft, ist diese Eigenschaft bei der für die Bildung der Kommissionierreihenfolge relevanten Kommissionierplatznummer in jeder zweiten Gasse gegengleich. Durch die logische Adressierung ist der Weg eines Kommissionierers fix vorgegeben und immer gleichbleibend, ein begonnener Gang muss immer vollständig durchquert werden, es gibt keinen Algorithmus zur Wegoptimierung. Auch gibt es kein Überholen oder Umkehren innerhalb eines Ganges.

5.4 Analyse Ist-Zustand

Durch Expertenbefragungen wurde herausgefunden, dass ein großes Optimierungspotential bei den Weg- und Wartezeiten von Kommissionierern und Schnellläufern vermutet wird. Das LVS bietet aktuell keine Unterstützung zu einer, auf Basis von Zugriffshäufigkeiten, optimierenden Kommissionierplatzzuordnung. Die Vergabe erfolgt lediglich anhand der erlaubten Ladungsträgerkombinationen (A, B oder C-Größe) innerhalb eines Faches, das LVS filtert die Suchergebnisse lediglich vor sodass eine möglichst platzsparende Zuordnung erfolgen kann. Der Fokus hierbei liegt klar auf

der größtmöglichen Ausnützung des vorhandenen Platzes durch Bildung nur erlaubter Ladungsträgerkombinationen, sowohl in der Reserve als auch im Kommissionierfach. Dadurch werden lange Fahrwege durch breite Streuung der Schnelldreherartikel im Lager vermutet, und damit verbunden ein schlechtes Verhältnis von wertschöpfender Zeit zu Gesamtzeit. Es gibt zwar die Möglichkeit einer 1:n K-Platzzuordnung zu vergeben, jedoch wird dies aufgrund der nicht vorhandenen Klassifizierung in Schnell- und Langsamdreher nicht praktiziert.

Auch bleibt die K-Platzzuordnung einen Produktlebenszyklus lang gleich, es gibt nur in Ausnahmefällen eine Änderung – etwa außerhalb einer Saison, wenn keine Ware vorrätig ist. Dies ist aber nur für einen kleinen Teil der gelagerten Ware der Fall.

Die Einlagerung wiederum erfolgt unter dem Fokus der Wegoptimierung im Nachschub statt – ausgehend von dem definierten Kommissionierplatz werden Entfernungen der noch verfügbaren Reserveplätze berechnet und in „Kosten“ umgerechnet. Durch eine unterschiedliche Gewichtung je Dimension in der Freiplatzsuche FPS (bspw. ist jeder Gassenwechsel ein vielfaches „teurer“ als lediglich ein Seitenwechsel innerhalb der Gasse, ein Ebenenwechsel ist „günstiger“ als ein Feldwechsel, siehe Abbildung 8) wird die Vergabe der Reserveplätze nach Kundenwunsch gesteuert.



Abbildung 8: Parameter Freiplatzsuche FPS⁹²

⁹² Quelle: Benutzerhandbuch LVS, S.134

Um gezielt Reserveware innerhalb des Lagers zu verstreuen, etwa um zu verhindern dass bei großen WE-Mengen die Ware nur eines Artikels optimal nahe am K-Platz eingelagert wird, und damit für andere Artikel nur sehr viel weniger optimale Stellplätze zu Verfügung stehen, besteht die Möglichkeit im LVS „Einlagerstrategien“ zu hinterlegen.

Dadurch wird das Lager in logisch verschiedene Zonen unterteilt, und je Zone wird die maximale erlaubte Anzahl an Ladungsträgern desselben Artikels in dieser Reservzone definiert, siehe Abbildung 9.

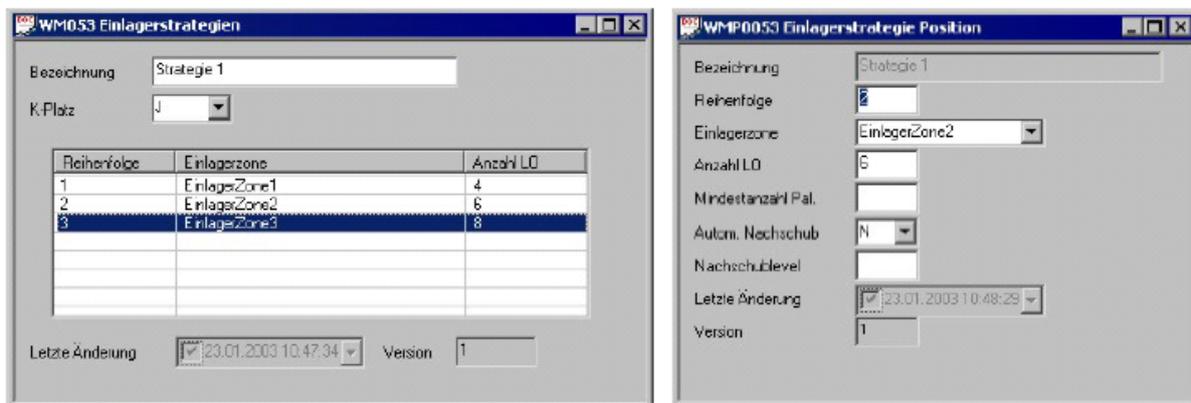


Abbildung 9: Modellierung Einlagerstrategie⁹³

5.4.1 Prozessbeschreibung

Die Prozessbeschreibung dient lediglich als grober Überblick um die Materialflüsse im Kommissioniersystem, und die Interaktionen zwischen den verschiedenen Rollen zu veranschaulichen. Deshalb werden nur jene Prozesse dargestellt, welche direkt oder indirekt mit Warenbewegungen zu tun haben:

Wareneingang:

Zum Zeitpunkt des ersten Wareneinganges wird ein zu verwendender Kommissionierplatz vergeben. Bei der Auswahl des Platzes wird der Benutzer lediglich dabei unterstützt, nur erlaubte Ladungsträgerkombinationen, siehe Kapitel 5.2, anzulegen. Es erfolgt keine Optimierung in Form einer Schnelldreherzonung, oder Ähnlichem. Bei

⁹³ Quelle: Benutzerhandbuch LVS, S. 133

der Kommissionierplatzvergabe wird weiterhin auch eine Maximalmenge definiert, die von diesem Artikel am Stellplatz lagerbar ist.

Dieser Kommissionierplatz bleibt für gewöhnlich diesem einen Artikel zugeordnet, durch die fehlende Unterstützung von Seiten des LVS, etwa durch Zonungsvorschläge, wird die K-Platzzuordnung nicht aktiv modifiziert.

Die Vereinnahmung in dem betrachteten Regalsystem wird in Form von Lagerobjekten durchgeführt. Hierbei wird die Teilmenge einer offenen Lieferantenbestellung auf einzeln ausgezeichnete Ladungsträger gebucht, etwa einer A-Palette, oder B-Box, und zusätzlich auch die Gesamthöhe im LVS hinterlegt.

Einlagerung:

Durch Scan der Lagerobjekt ID durch einen Schnellläufer wird zuerst die aktuell am Kommissionierplatz gebuchte Menge geprüft. Sollte die Artikelmenge des eben vereinnahmten LO's gemeinsam mit der aktuell am K-Platz befindlichen Menge weniger als die erlaubte Maximalmenge am Platz sein, so wird dieses LO direkt auf den Kommissionierplatz geleitet.

Sollte dies nicht möglich sein startet das LVS die FPS, und beginnt ausgehend vom zugeordneten K-Platz den optimalen, nächstgelegenen Reserveplatz zu suchen. Dabei wird auf die maximal zulässige Traglast des Regalfaches, erlaubte Ladungsträgerkombinationen innerhalb eines Faches, und auch die LO-Höhe Rücksicht genommen. Die Gewichtung zwischen dem kürzesten Nachschubsweg und einer optimalen Raumauslastung in einem Reserveplatz wird durch die Parameter der FPS, siehe Kapitel 5.4, vorgenommen.

Sollte sich der Zielplatz des Transportes auf Bodenebene befinden wird der Transport vom Schnellläufer abgeschlossen. Sollte der Zielplatz allerdings in einer höheren Ebene liegen wird die Einlagerung zweistufig durchgeführt – das LO wird auf einem Übergabepplatz abgestellt und bestätigt, ein Hochregalstapler übernimmt durch Scan den Einlagerauftrag, lagert das LO auf dem Zielplatz ein und schließt den Transportauftrag durch Scan des Zielplatzes ab. Damit erfolgt die systeminterne Buchung des Lagerobjektes auf den Zielplatz, und es steht für die Kommissionierverplanung bereit.

Kommissionierverplanung:

In der Kommissionierverplanung werden offene Kundenaufträge anhand der gewünschten Lieferwoche zu Ausliefer Touren zusammengestellt. Das Ergebnis der Verplanung sind Kommissionieraufträge, welche manuell freizugeben sind. Durch das Freigeben wird vom LVS je Artikelnummer automatisch geprüft, ob die Summe aller freigegebenen Kommissionieraufträge durch den aktuellen Bestand am Kommissionierplatz gedeckt werden kann. Sollte dem nicht sein werden automatisch Nachschubsaufträge aus der Reserve generiert, sodass die Kommissionierung zeitgerecht erfolgen kann.

Nachschub:

Der Nachschub erfolgt zweistufig, da sich der Quellplatz des Nachschubobjektes mit hoher Sicherheit nicht in der Gasse des Zielplatzes befindet. Die Staplerfahrer werden optimiert durch die Nachschubsaufträge geführt, sodass innerhalb einer Gasse immer zuerst alle Nachschubsaufträge einer Regalseite, und dann erst die gegenüberliegende Seite auf seinem Terminal vorgeblendet werden. Da die Hochregalstapler speziell bei Gassenwechseln ineffizient sind werden die Nachschublagerobjekte vor jeder Gasse abgestellt, und damit die Transportaufträge pausiert.

Jeder Nachschub wird durch sogenannte „Schnellläufer“ beendet, welche möglichst zeitnah nach Entnahme des letzten Stücks am Kommissionierplatz das neue Lagerobjekt außerhalb des Regales aufnehmen, und auf den Zielplatz verbringen. Damit ist die Durchlaufzeit eines Nachschubsauftrages verhältnismäßig lang, und Kommissionierer müssen häufig mehrfach innerhalb eines Kommissionierauftrages denselben Kommissionierplatz anfahren. Sollte der Nachschub noch nicht erfolgt sein muss der Kommissionierer diesen abwarten, da ansonsten der Auftrag nicht abgeschlossen werden kann.

Die Aufgabe der „Schnellläufer“ ist einerseits der möglichst zeitnahe Nachschub auf leere Kommissionierplätze, und andererseits auch das Entfernen der nun leeren Ladungsträger in den Regalen. Diese Tätigkeiten sind stark abhängig von der Taktung zwischen Stapler und Kommissionierung, sehr viele Stehzeiten sind hier die Folge wenn die Kommissionierung hinter dem Sollfortschritt ist, und die Entnahme nicht mit dem Nachschub getaktet ist.

Kommissionierung:

Die Kommissionierer bekommen automatisch vom LVS den höchstpriorisiertesten Kommissionierauftrag zugewiesen. Die Positionen sind anhand der Kommissionierplatznummern gereiht, sodass der Fahrweg stets fix vorgegeben ist. Sollte eine Kommissionierposition nicht zur Gänze entnommen werden können wird die Position überblättert, und der Kommissionierer setzt mit der nächsten Position fort. Am Ende seines Kommissionierauftrages werden die überblätterten Positionen erneut angezeigt, und erneut versucht abzuarbeiten.

Sollte der Kommissionierauftrag vollständig abgearbeitet sein, oder der verwendete Kommissionierladungsträger voll, so wird die Ware zur für die Tour vorgesehenen Warenausgangszone gebracht und bestätigt. Danach wird der begonnene Kommissionierauftrag fortgesetzt.

Dimensionierung der Kommissionierzonengröße:

Wie in Abbildung 10 ersichtlich erstreckt sich die Kommissionierzone über die Bodenebene aller 50 Gassen, jeder Artikel hat eine fixe Kommissionierplatzzuordnung. Bei 50 Gassen, zu je 34 Fächern, zu je 2 verwendbaren Stellplätzen ergibt sich hier die Möglichkeit 3400 Artikel eindeutige Kommissionierplätze zuzuordnen. Im Betrachtungszeitraum werden 3300 Artikel bewegt, woraus ein Anteil an 3% leeren Kommissionierplätzen ableiten lässt.



Abbildung 10: Ist-Situation Kommissionierzoning, Grundriss ⁹⁴

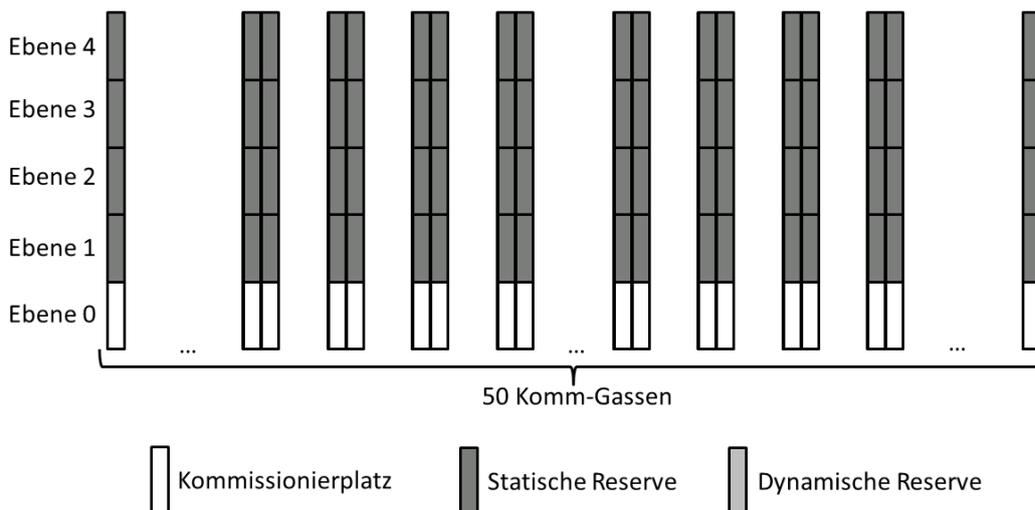


Abbildung 11: Ist-Situation Kommissionierzoning, Aufriss ⁹⁵

5.4.2 Kennzahlen Ist-Situation

Durch die Zielvorgabe der Verringerung nicht wertschöpfender Tätigkeiten in der Kommissionierung wird ein Zeitraum mit möglichst großer Belastung des Kommissioniersystems definiert. Wie in Abbildung 12 ersichtlich schwankt diese zwischen den Wochen bedingt durch Feiertage speziell gegen Jahreswechsel beachtlich, die Sai-

⁹⁴ Eigene Darstellung

⁹⁵ Eigene Darstellung

sonalität eingelagerter Waren sorgt zusätzlich in der zweiten Jahreshälfte für einen konstant höheren Abgang. Durch Glättung mehrerer Wochen ergibt sich als besonders arbeitsintensiven Zeitraum die 24 Wochen 35/2012 bis 06/2013, welche deshalb für die weiteren Betrachtungen als Datenbasis dient.

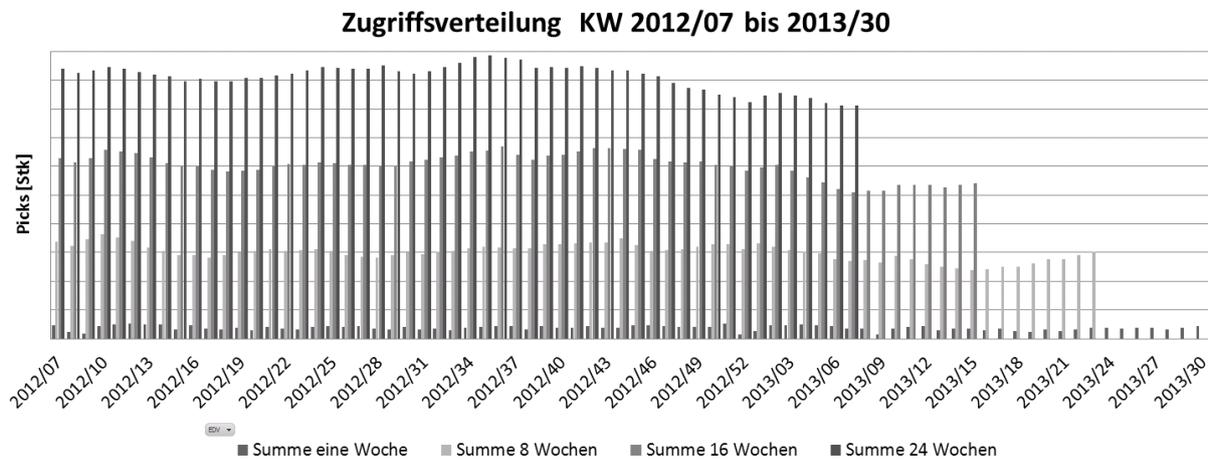


Abbildung 12: Zugriffsverteilung Hochregal ⁹⁶

In dem betrachteten Zeitraum von KW 2012/34 bis 2013/07 werden in Summe ~3300 verschiedene Artikel bewegt. Hier wird allerdings nicht zwischen neu ins Sortiment aufgenommenen, oder auslaufenden Artikeln unterschieden. Ein möglicher Anhaltspunkt wäre die Anzahl an Stellplätzen, von denen verschiedene Artikel entnommen wurden. Von 424 Stellplätzen des gesamten Kommissioniersystems wurden im Betrachtungszeitraum 2 verschiedene Artikelnummern im Betrachtungszeitraum entnommen, von 40 Stellplätzen wurden 3, und von einem Stellplatz sogar 4 verschiedene Artikel kommissioniert. Ursache könnte hierbei ein Wechsel des Sortiments sein, oder auch vorgenommene Umlagerungen innerhalb des Lagers. Um eine valide Aussage treffen zu können wird vom schlechtest möglichen Fall ausgegangen – alle 3300 Artikel bewegen sich im Lager, und müssen berücksichtigt werden. Als Konsequenz für diese Annahme wird sich der benötigte Platz für die Reserve erweitern, dies hätte im Umkehrschluss zur Folge dass auch der Kommissionierbereich unnötigerweise größer als nötig dimensioniert wird. Als Folge davon werden sich die Fahrwege verlängern, und einen schlechteren Optimierungsgrad bewirken.

⁹⁶ Eigene Darstellung

Die Kommissionieraufträge werden aktuell durch eine logische Zonung des Kommissionierbereiches Hochregal in vier etwa gleich große Teile gesplittet. Daraus ergibt sich eine hohe Anzahl an Kommissionieraufträgen, bei gleichzeitig geringen Stückzahlen je Kommissionierauftrag. Abbildung 13 zeigt eine Verteilung der Kommissionierauftragsgrößen, wobei als Mittelwert 12,65 Zugriffe errechnet werden.

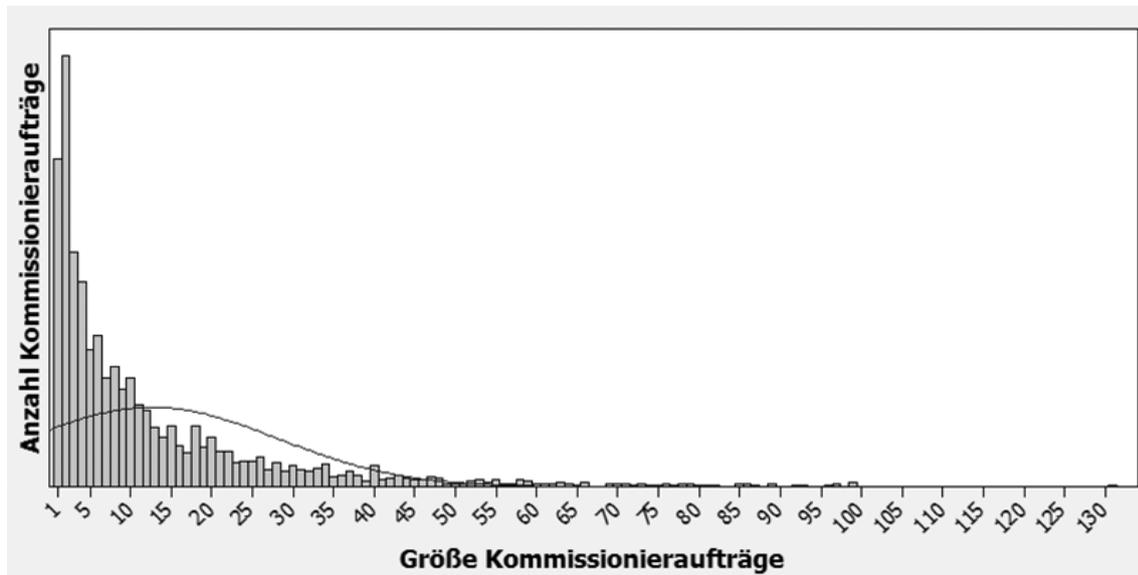


Abbildung 13: Ist-Situation: Größe der Kommissionieraufträge [Zugriffe] ⁹⁷

Diese 12,65 Zugriffe dienen als Referenzwert für die Neustrukturierung der Kommissionieraufträge in Kapitel 6.

Durch die sehr kleinen Kommissionieraufträge ist auch die verhältnismäßig kurze Dauer je Kommissionierauftrag erklärbar, welche in Abbildung 14 dargestellt ist. Ein Mittelwert von etwas mehr als 11 Minuten bedeutet eine rasche Kommissionierauftragsfolge, und damit eine gute Möglichkeit der Taktung bzw. der zeitgesteuerten Bereitstellung beim Warenausgang.

⁹⁷ Eigene Darstellung

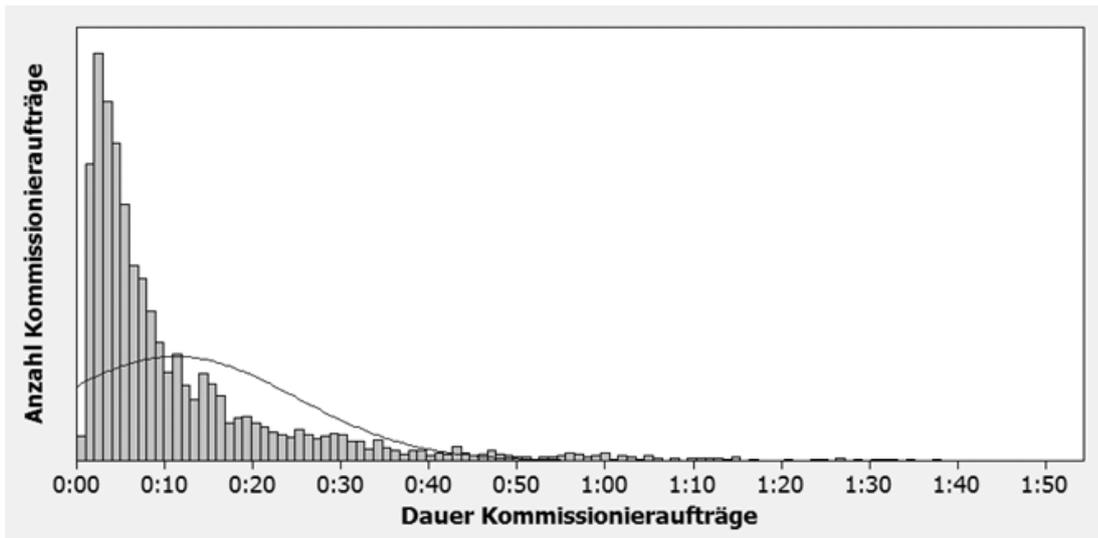


Abbildung 14: Ist-Situation: Dauer der Kommissionieraufträge [Stunden] ⁹⁸

Abbildung 15 hingegen liefert einen Vergleich zwischen der rechnerisch notwendigen und der tatsächlichen Durchlaufzeit je Kommissionierauftrag. Dabei werden große Abweichungen identifiziert, die auf eine schlechte Taktung des Nachschubes schließen lassen. Durchschnittlich werden dauern die Kommissionieraufträge damit etwa 4 Minuten länger als rein rechnerisch notwendig wären. Bemerkenswert ist die breite Streuung dieses Mehraufwandes, welche als vereinzelte aber dafür schwerwiegende Probleme der Kommissionierung identifiziert wird.

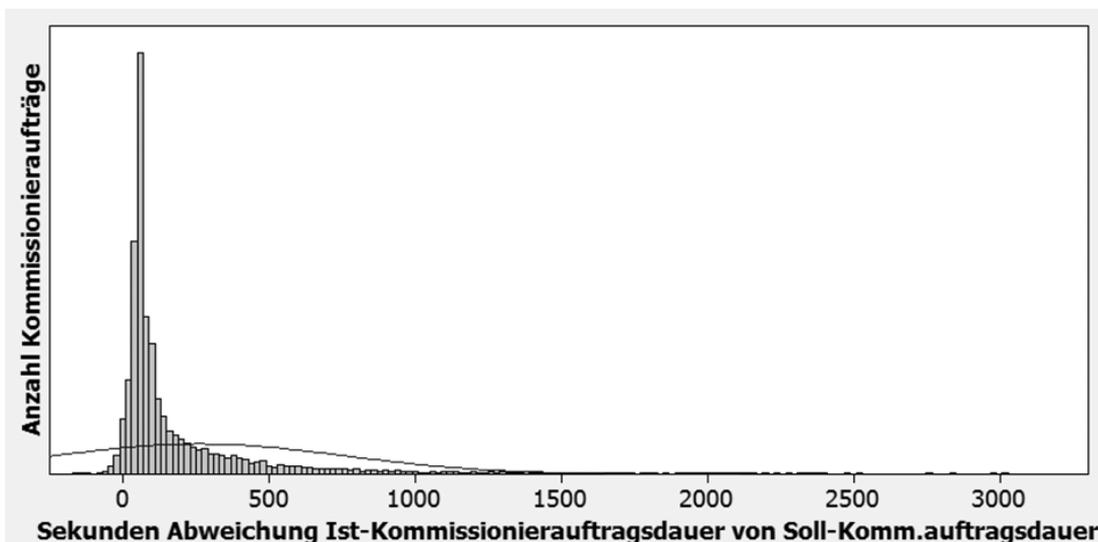


Abbildung 15: Ist-Situation: Vergleich DLZ / PDLZ der Kommissionieraufträge [Sekunden] ⁹⁹

⁹⁸ Eigene Darstellung

⁹⁹ Eigene Darstellung

Das Ergebnis aus Vergleich Fahr- und Kommissionierzeit der Ist-Situation verdeutlicht Abbildung 16 – hier lässt sich ein vergleichsweise konstanter Anteil von 67% Fahrzeit je Kommissionierauftrag ableiten, welcher bedingt durch die sehr kleinen Aufträge nachvollziehbar sind und damit als valide angesehen werden.

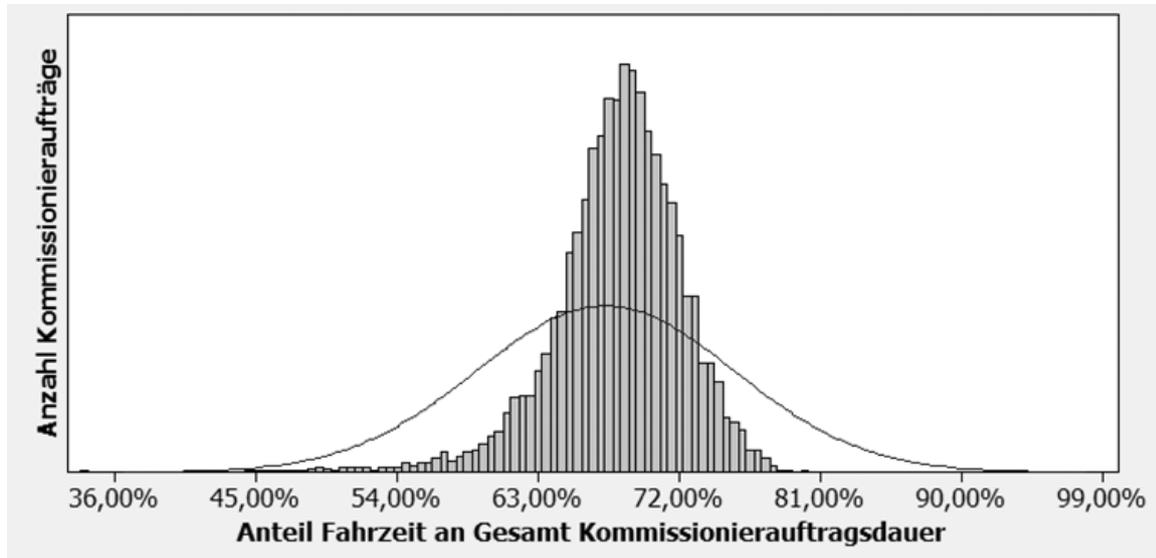


Abbildung 16: Ist-Situation: Anteil Fahrzeit an Kommissionierzeit je Kommissionierauftrag ¹⁰⁰

Diese 67% Fahranteil je Kommissionierauftrag dienen als Ausgangsbasis für die Optimierungen der Abläufe in Kapitel 6.

In Kapitel 5.2 wurden die verwendeten Ladungsträgertypen vorgestellt. Abbildung 17 verfeinert dies durch die Häufigkeitsverteilung der Verwendung je LT-Typ. Demnach ist das Verhältnis von Boxen zu Paletten 49% zu 51%, und es ist daraus abzulesen, dass 58% aller eingelagerten Artikel auf Ladungsträger mit A-Größen lagern, welche genau einen Stellplatz zur Einlagerung benötigen. 38% lagern auf B-Größen, welche rechnerisch 1,5 Stellplätze innerhalb eines Faches belegen. Lediglich 4% lagern auf C-Größen, wo jedes Lagerobjekt zwei vollständige Stellplätze eines Faches belegt.

Daraus lässt sich ein durchschnittlicher Platzbedarf von 1,227 Lagerplätzen je Ladungsträger errechnen. Da in einem Fach genau drei Plätze vorhanden sind, finden durchschnittlich 2,44 Artikel pro Fach Platz. Hier wird zugunsten der Sicherheit abgerundet, und mit nur 2 Artikeln pro Fach weiter optimiert – dadurch wird eine zusätzliche Sicherheit von 18% erreicht.

¹⁰⁰ Eigene Darstellung

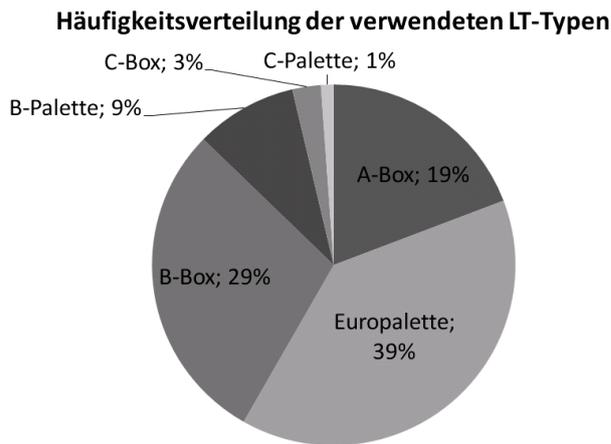


Abbildung 17: Verteilung Ladungsträgertypen ¹⁰¹

Aus Abbildung 18 lässt sich ein auf Tagesbasis konstant hohes Niveau an kommissionierten Artikeln ableiten. Bei Betrachtung von 111 Tagen ergibt sich eine Spitze von 1300 Artikeln, jedoch durchschnittlich werden täglich auf zwischen 950 und 1200 verschiedene Produkte zugegriffen.

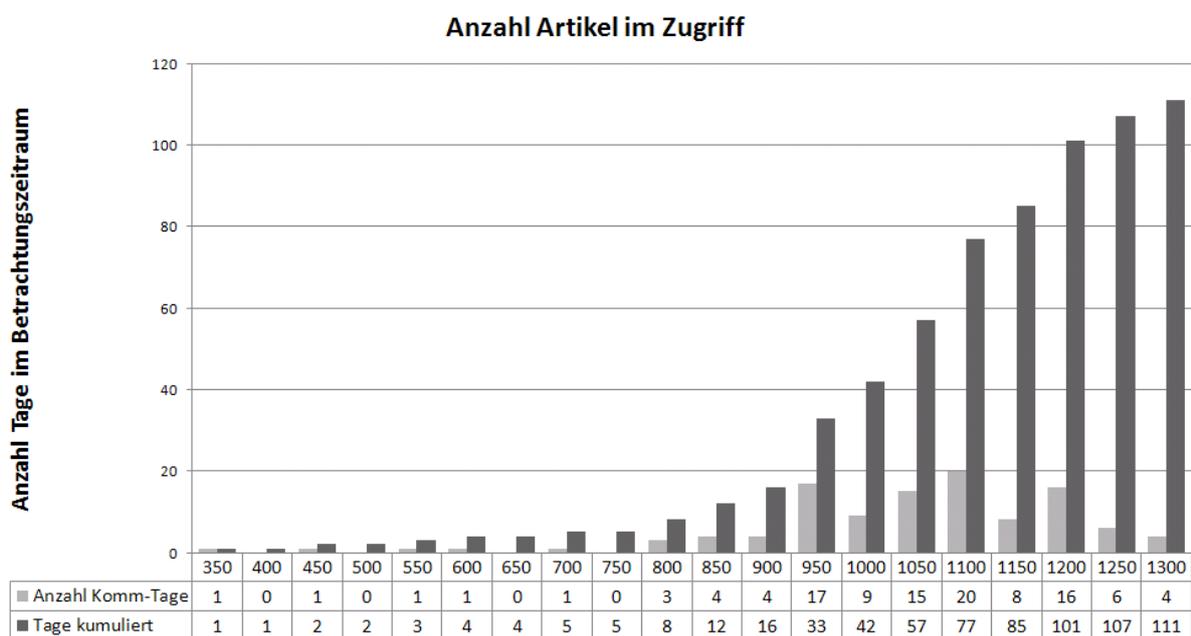


Abbildung 18: Auswertung Artikel im Zugriff¹⁰²

¹⁰¹ Eigene Darstellung

¹⁰² Eigene Darstellung

Der Arbeitsaufwand durch die Umlagerungen für die Schnellläufer ist von folgenden drei Faktoren abhängig:

- Anzahl umzulagernder Anbruchlagerobjekte
- Durchschnittlicher Weg zwischen dynamische Reserve und Kommissionierzone
- Häufigkeit der benötigten Umlagerungen

Eine Visualisierung dieser Variablen ist in Abbildung 19 gegeben, die Datenbasis hierfür wurde statistisch berechnet, und empirisch verifiziert:

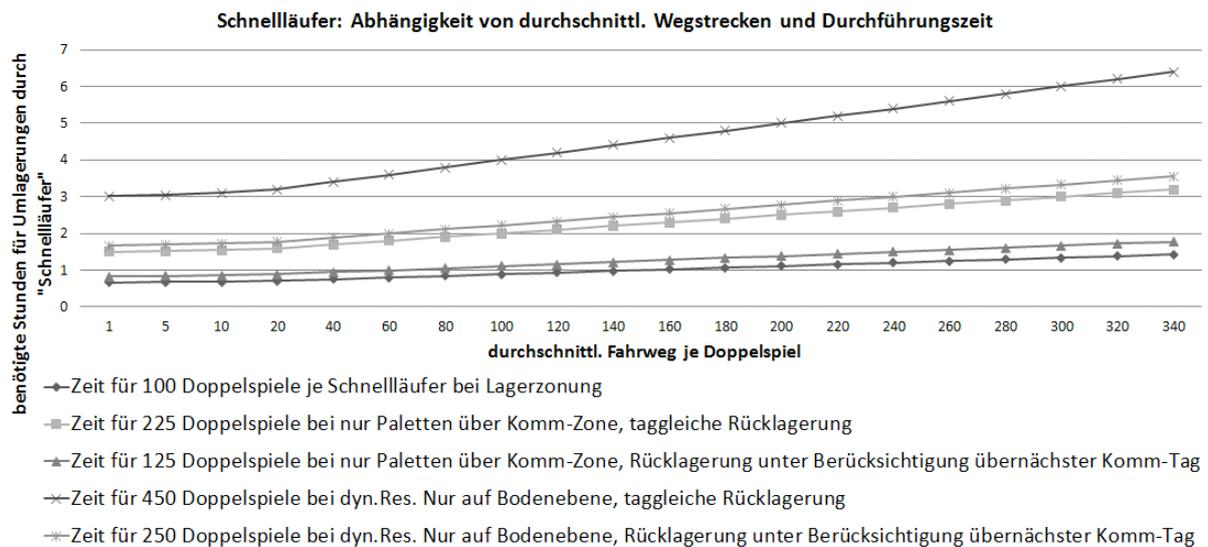


Abbildung 19: Arbeitsaufwand Schnellläufer ¹⁰³

Das Team „Stapler“ im System hat eine Leistung von durchschnittlich 70 Bewegungen pro Stunde in eine Richtung. Bei Doppelspielen erhöht sich die Leistung, allerdings bedingt durch Verfahren zwischen der Lastabgabe und erneuter Lastaufnahme auf durchschnittlich nur 125 Bewegungen pro Stunde.

5.5 Vorgehensweise Aufbereitung Rohdaten

Aufgrund der Datenbasis aus dem ERP-System, welche zum Einen aus Kommissionierprotokollen, und zum Anderen aus Transportprotokollen besteht, können die folgenden Auswertungen lediglich statistisch durchgeführt werden. Auf eventuelle Unschärfen wird explizit hingewiesen, und eine Fehlerabschätzung durchgeführt. Abbildung 20 zeigt die Vorgehensweise für die Ergebnisfindung der Fallstudie:

¹⁰³ Eigene Darstellung

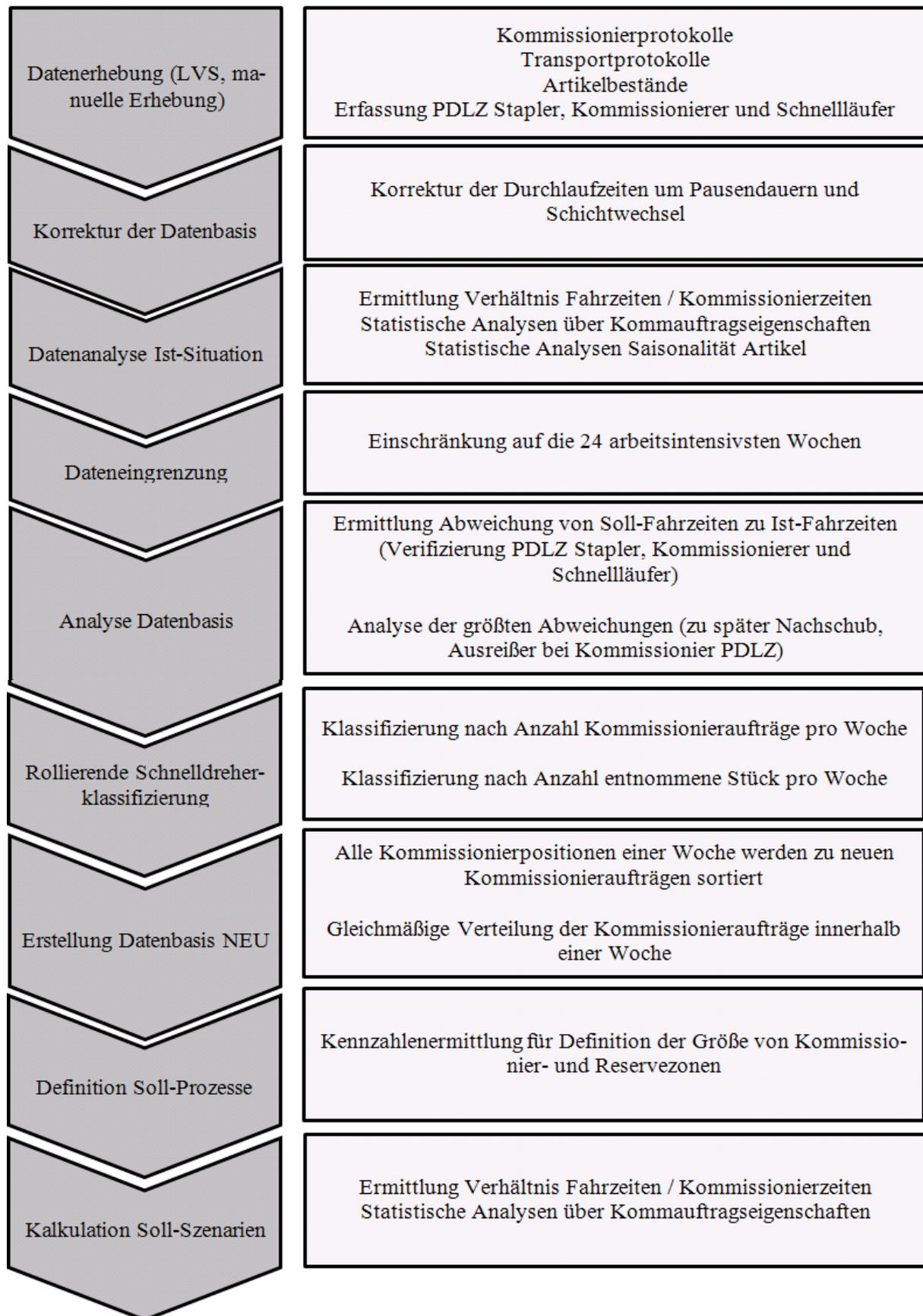


Abbildung 20: Vorgehensweise Fallstudie ¹⁰⁴

¹⁰⁴ Eigene Darstellung

Die Schnelldreherklassifizierungen werden aufgrund unterschiedlicher Definitionen genauer beschrieben:

- Klassifizierung Schnelldreher nach Anzahl an Kommissionieraufträgen: Diese Auswertung wurde wöchentlich rollierend mit einem 3 Wochen Betrachtungshorizont durchgeführt, um zu große Sprünge hinsichtlich der Klassifizierung zu vermeiden. Als Topseller des dreiwöchigen Betrachtungshorizonts gelten alle Artikel, die in zumindest zwei Wochen als Topseller klassifiziert sind.

Im Beispiel – „Top 150“ Artikel werden betrachtet, dabei schwankt die Anzahl der Topseller von 150 bis 163.

Durch die differenzierte Klassifizierung hinsichtlich Anzahl Komm-Aufträgen und Anzahl Kommissionierte Stück wird die Grenze ebenfalls dynamisch definiert, statt starr vorgegeben. Eine Grenze der Top x Anzahl an Artikeln bewirkt eine konstante Anzahl an betroffenen Artikeln, auch bei wechselnden Auslastungen, Überstunden u.Ä.

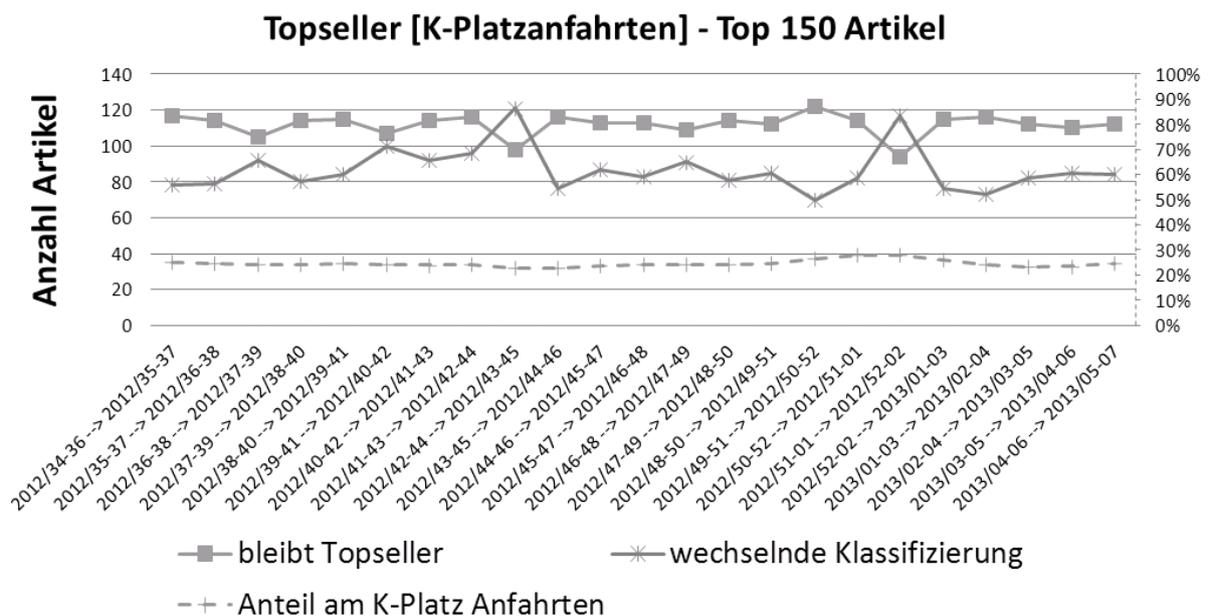


Abbildung 21: Stetigkeit Topseller nach Kommissionieraufträgen – Top 150 Artikel ¹⁰⁵

Erkenntnis aus Topseller nach Komm-Aufträgen: Ungefähr 75% der als Topseller klassifizierten Artikel bleiben in der gleichen Kategorie, 25 % wechseln zu den Langsamdrehern, und weitere 25 % werden dementsprechend Schnelldreher. Das bedeutet,

¹⁰⁵ Eigene Darstellung

dass durchschnittlich – 50% aller Top 150 Artikel wöchentlich die Kategorisierung ändern, um die Klassifizierung zu aktualisieren. Bei Betrachtung der Top 150 Artikel nach Anzahl an Kommissionieraufträgen, fallen lediglich ~25% aller Kommissionieranfahrten in die Schnelldreherklassifizierung.

Um die Top 50% aller K-Plätze zu definieren, müssen 450 Artikel als Topseller betrachtet werden – von Top 450 bleiben durchschnittlich 375 Artikel (83%) konstant in der Topseller Zone, während nur ~80 Artikel zwischen Schnell- und Langsamdreher schwanken, dies wird in Abbildung 22 dargestellt.

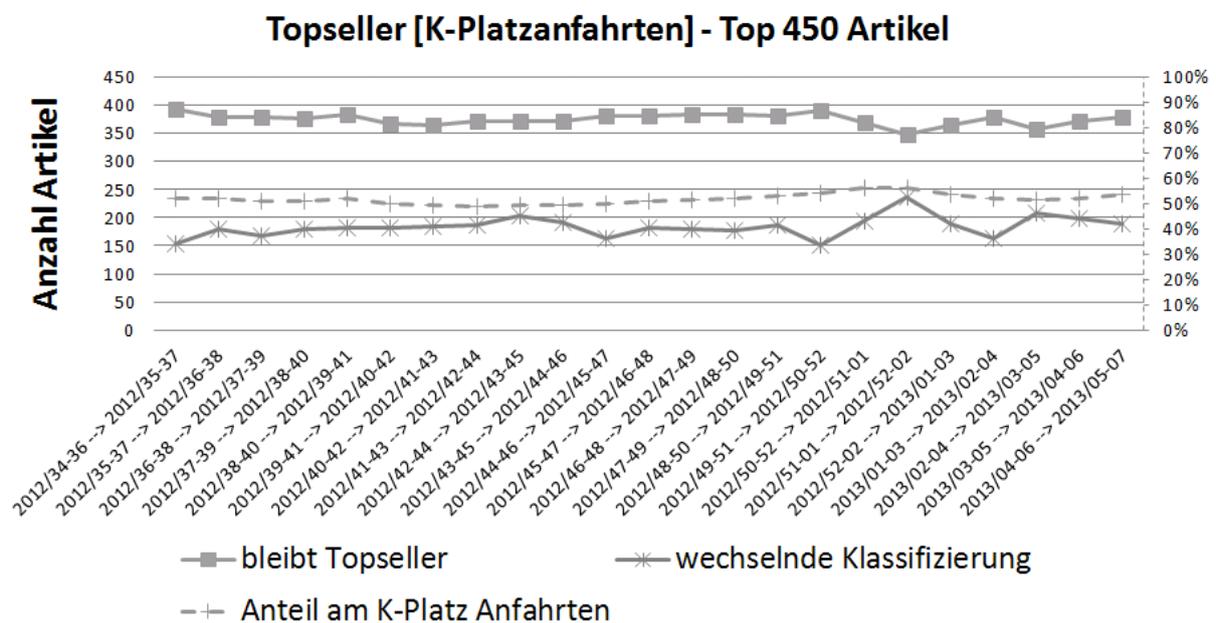


Abbildung 22: Stetigkeit Topseller nach Kommissionieraufträgen – Top 450 Artikel ¹⁰⁶

- Klassifizierung Schnelldreher nach Anzahl an Zugriffen: Diese Auswertung wurde wöchentlich rollierend mit einem 3 Wochen Betrachtungshorizont durchgeführt, um zu große Sprünge hinsichtlich der Klassifizierung zu vermeiden. Als Topseller des dreiwöchigen Betrachtungshorizonts gelten alle Artikel, die in zumindest zwei Wochen als Topseller klassifiziert sind.

Die Ergebnisse sind ungefähr ähnlich, jedoch kann die Klassifizierung desselben Artikels je nach Betrachtungsweise unterschiedlich sein: Ungefähr 70% der Topseller blei-

¹⁰⁶ Eigene Darstellung

ben länger als eine Woche derart klassifiziert, während 30% zu Langsamdrehern werden. Ungefähr dieselbe Anzahl an Artikeln wird umgekehrt nun neu als Schnelldreher klassifiziert, und muss dementsprechend ebenfalls umgelagert werden.

Dabei überraschend: ~33% des gesamten Zugriffsvolumen kann mit nur dynamisch berechneten Top150 Artikel abgedeckt werden, siehe Abbildung 23.

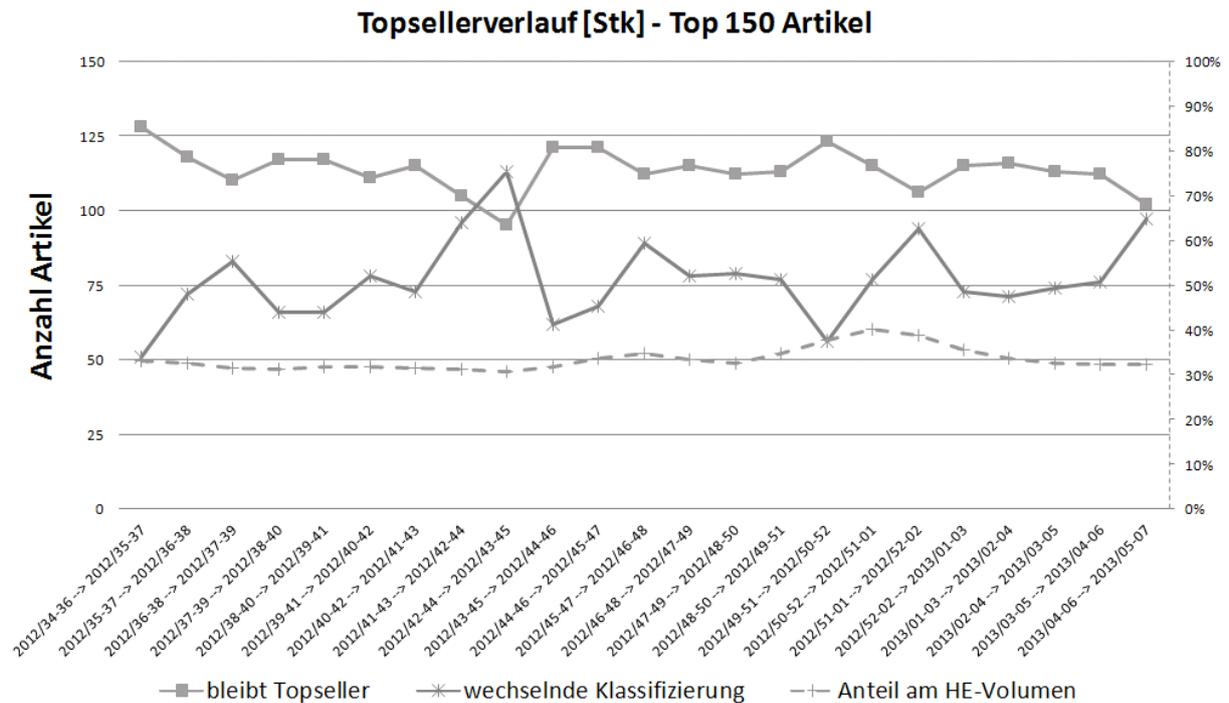


Abbildung 23: Stetigkeit Topseller nach entnommenen Stück – Top 150 Artikel ¹⁰⁷

Eine Verdopplung der betrachteten Artikelanzahl auf 300 erhöht das „Topsellervolumen“ lediglich von 33 auf ~50 % (strichlierte Linie, Skala = Sekundärachse) → + 100% Artikel = nur + 50% Volumen.

¹⁰⁷ Eigene Darstellung

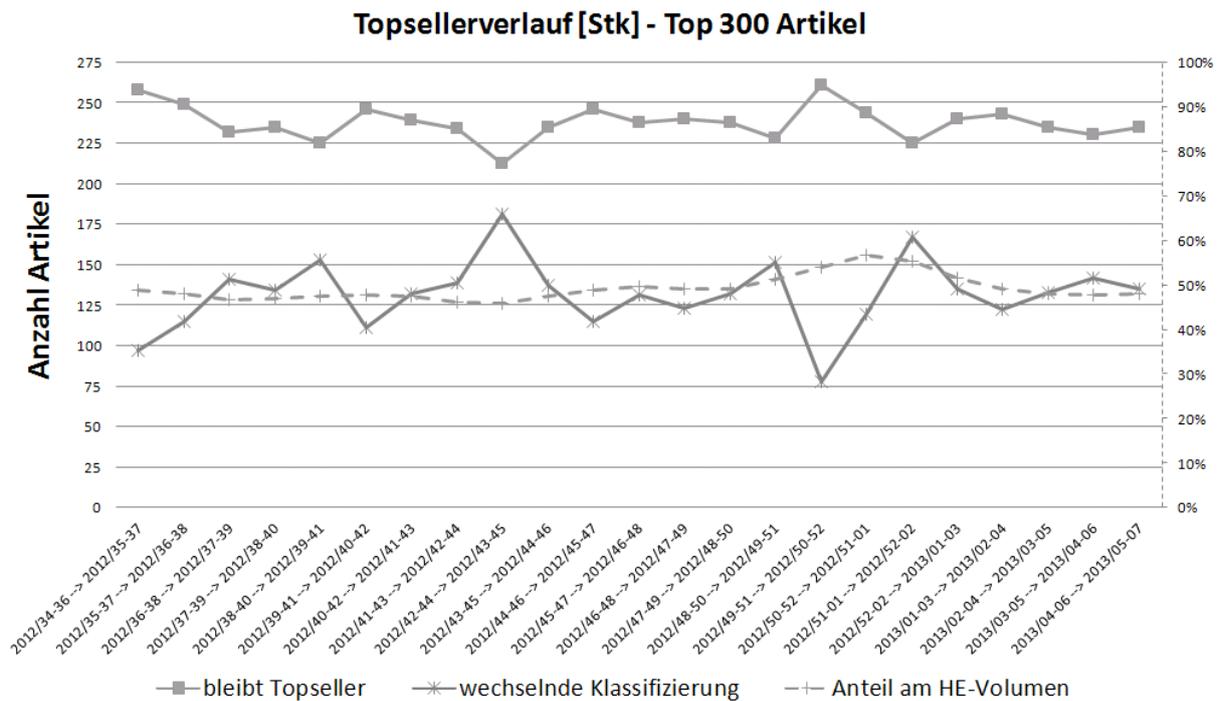


Abbildung 24: Stetigkeit Topseller nach entnommenen Stück – Top 300 Artikel ¹⁰⁸

Da die Wegoptimierungen (und damit Zeitersparnis) Primärziel der Diplomarbeit sind, wird als Datenbasis für die Optimierung die Anzahl an Kommissionieraufträgen als Entscheidungskriterium für die Klassifizierung als Topseller verwendet – und nicht die Anzahl an entnommenen Stück!

Durch die Splittung der Kommissionieraufträge je Regalbereich ist es für die Vergleichbarkeit notwendig, die vorhandenen Daten noch weiter zu verändern. Dazu werden die Kommissionierpositionen innerhalb einer Woche je Kunde neu sortiert, und in gleichmäßig große Kommissionieraufträge unterteilt. Wie in Kapitel 5.4.2 ersichtlich liegt die durchschnittliche Komm-Auftragsgröße bei ~11 Zugriffen. Diese 11 Zugriffe beruhen allerdings auf der bekannten Teilung in 4 Teillager, weshalb die neu errechneten Kommissionieraufträge mit 44 Zugriffen berechnet werden.

Durch die Neusortierung der einzelnen Kommissionierpositionen ergibt sich bei bestehender K-Platzzuordnung ein Fahrzeitanteil von 67% der Kommissionierzeit, siehe Kapitel 5.4.2. Kapitel 6 widmet sich der Reduktion dieses 67% Fahrzeitanteils durch geänderte K-Platzzuordnungen, und damit der Beantwortung der Forschungsfragen.

¹⁰⁸ Eigene Darstellung

Durch die Neusortierung der Kommissionierauftragspositionen ergeben sich folgende Änderungen:

- Es gibt keine tagesübergreifenden Kommissionieraufträge mehr (da alle Positionen innerhalb einer Kalenderwoche sortiert werden).
- Die Unschärfe bezüglich Wartezeit vor dem ersten Pick des Tages, und nach dem letzten Pick bis zum Abschluss des Kommissionierauftrages entfällt vollständig.
- Sollte der Kommissionierer mehrmals an einem Tag zum gleichen Kommissionierplatz gefahren sein um Ware für denselben Kunden zu entnehmen (entweder in verschiedenen Aufträgen, oder weil nicht die komplette Positionsmenge entnommen werden konnte) wird dies durch die Neusortierung nun zu einem Kommissionierauftrag umgesetzt – es gibt kein „Zurückfahren“ mehr sondern nur noch „ideale“, große Kommissionieraufträge, welche über alle Regalgassen führen.
- Das Abstellen eines vollen Kommissionierladungsträgers, und die Fortsetzung des Auftrages nach Neuaufnahme eines leeren Ladungsträgers wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

Dies bildet die Datenbasis bevor die eigentliche Optimierung durchgeführt wird.

Dabei verringert sich markant die Anzahl an Kommissionieraufträgen, wodurch die Kommissionierauftragsgröße steigt, von 11,36, siehe Abbildung 13, auf durchschnittlich 23,7 Positionen je Kommissionierauftrag, mit 43,26 Zugriffe je Komm-Auftrag.

6 Definition der Soll-Prozesse

Die häufigsten Ansätze von Optimierungen in Lagersystemen beschäftigen sich laut Napolitano (2008) mit folgenden Themen: ¹⁰⁹

- möglichst gleichmäßige Ressourcenauslastung (Personal, Betriebsmittel,...)
- Vermeidung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten
- Minimierung der Auftragsbearbeitungszeit
- Erhöhung der Termintreue der Auftragsbearbeitung

¹⁰⁹ Vgl. Napolitano, M. (2008), S. 48

Abhängig von der „Lebenszyklusphase“ eines Lagersystems, ob in der Definitionsphase oder im laufenden Betrieb, betreffen die Planungsaufgaben unterschiedliche Fristigkeiten. Strategische Entscheidungen werden in der Planungsphase getroffen, hierbei werden Lagerlayout, Lagereinrichtung, und auch die Dimensionierung vorgenommen. Diese Entscheidungen können erst nach Festlegung der strategischen Ausrichtung des Lagers erfolgen – welche Waren sollen bewegt werden, wie hoch wird die Lagerdrehung voraussichtlich sein, wie langfristig soll das Lager betrieben werden,...

Mittelfristig werden im laufenden Betrieb Vorkehrungen für saisonal schwankende Waren getroffen. Bedarfsspitzen müssen durch zusätzliches Personal abgedeckt werden, und kurzlebige Artikel möglichst effizient als Topseller durch das Lager geschleust werden. Noch kurzfristiger wird oftmals auf schwankende Bedarfe reagiert, indem häufig abgerufene Ware kurzfristig in eigenen Schnelldreherbereichen gelagert wird, um die Fahrwege zu reduzieren.

Aus der Literatur, siehe Kapitel 1, sind bereits mathematische Optimierungsmethoden der Lagerzonung bekannt. Einige Ideen dieser Methoden, wie die Zonung nach der Zugriffshäufigkeit und der dynamischen Platzvergabe, werden in der Fallstudie angewendet, wobei das Ergebnis statistisch errechnet wird. Ein mathematisch genaueres Ergebnis wäre nur durch diskrete Simulation möglich, wobei auch hier die Datenbasis zu hinterfragen wäre. Das Ergebnis beeinflussende Faktoren wären beispielsweise:

- Weshalb wurde ein Kommissionierauftrag nicht an einem Tag abgeschlossen? Waren es persönliche Gründe des Kommissionierers, gab es ein Qualitätsproblem, oder war der betroffene Mitarbeiter außerhalb des Zeitplans?
- Das „Tauschen“ der Entnahmeplätze von Topsellern mit Langsamdrehern nimmt keine Rücksicht auf eine Optimierung in Anbetracht anderer, freier Lagerplätze. In der Praxis würde ein möglichst naher Zielplatz gewählt, und so der Transportweg minimiert werden.
- Durch kürzere Nachschubwege wäre die Wahrscheinlichkeit einer nicht ausreichenden Menge am Entnahmeplatz reduziert – dem gegenüber steht ein höheres „Verkehrsaufkommen“ von Kommissionierern in der Schnelldreherzone.

Diese Wechselwirkungen können nur schwer quantifiziert werden, weshalb ein vermeintlich „genaueres“ Simulationsmodell nur eingeschränkt aussagekräftigere Er-

gebnisse bringen könnte. Dennoch werden in den kommenden Kapiteln einige Varianten der Kommissionierplatzzuordnung und deren Bestückung theoretisch vorgestellt, und statistisch mit einander verglichen. Ziel ist jeweils eine gleichmäßigere Ressourcenauslastung, und eine Reduktion von nicht wertschöpfenden Fahr- und Umlagertätigkeiten in der Kommissionierung bzw. dem damit verbundenen Nachschub.

Bei jeder Form der Artikel Kommissionierplatzzuordnung in einem Kommissioniersystem muss zwischen verschiedenen Formen der Optimierung trotz Zielkonflikt gewählt werden. Neben einer benötigten Schlichtoptimierung bei Produkten mit unterschiedlichen Produkteigenschaften sollen auch gleich häufig im Zugriff befindliche Artikel räumlich nahe beieinander gelagert werden. Diese Zugriffshäufigkeit kann allerdings durch etwaige Optimierungen der Ausliefersteuerung variieren, etwa wenn bewusst stets nur die Bedarfe von zwei Perioden gemeinsam ausgeliefert werden, statt Kleinstmengen. Im Möbelhandel gibt es allerdings noch einen weiteren Einflussfaktor, welcher zu berücksichtigen ist – zusammengehörige Produkte, siehe Kapitel 5.1, sollten ebenfalls wenn möglich nahe beieinander gelagert werden, da sie nur gemeinsam ausgeliefert werden können. Da diese allerdings oftmals heterogene Produkteigenschaften haben ist das Ziel der Optimierung bezüglich der Schlichtbarkeit auf einem Ladungsträger oftmals gegenläufig.

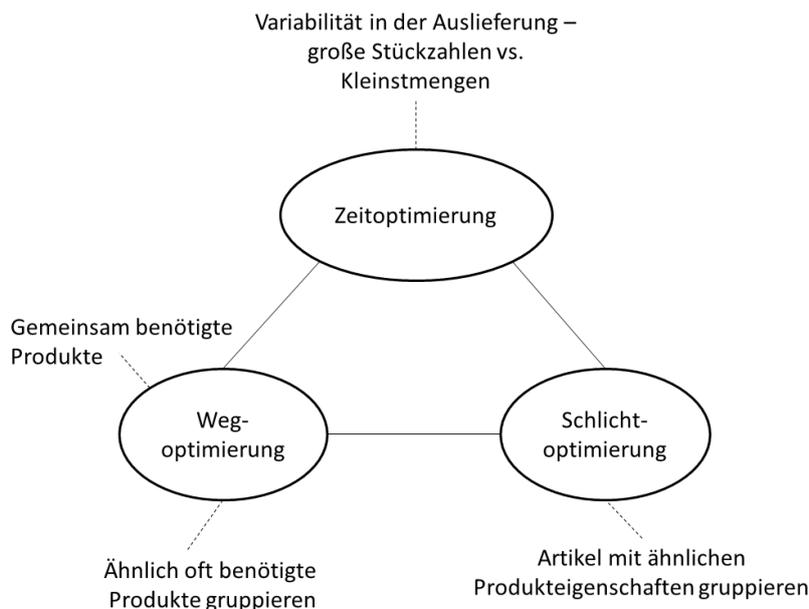


Abbildung 25: Zielkonflikt Kommissionierplatzvergabe¹¹⁰

¹¹⁰ Eigene Darstellung

6.1 Prozessbeschreibung Statische K-Platzzuordnung, Variante „Lagerzonung“

Bei dieser Variante werden ausgewählte Topseller Artikel in einer eigenen Schnelldreherzone gelagert. Langsam drehende Artikel dieser Zone werden ausgelagert, um die Wege zwischen den anzufahrenden Kommissionierplätzen möglichst kurz zu halten.

Dabei werden die Artikel als Vereinfachung „Zug um Zug“ getauscht, also ein Topseller gegen einen Langsamdreher. Dabei wird zwar keine Rücksicht auf erlaubte Ladungsträgerkombinationen innerhalb der Regalfächer genommen, dem entgegensteht jedoch die Möglichkeit die schlecht gängigen Artikel auf weniger weit entfernte, leere Plätze der Langsamdreher Zone umzulagern, was Zeit in der Umlagerung einsparen würde!

Die Klassifizierung hinsichtlich „Topseller“ wird in Kapitel 5.5 näher beschrieben, bei der Variante der Lagerzonung werden diese Ergebnisse verwendet. Die Vorgehensweise des Nachschubes entspricht der aktuellen Ist-Situation, wie auch in Kapitel 5.4.1 beschrieben. Lediglich der wöchentliche Umlageraufwand muss zusätzlich berücksichtigt werden. Bei Umlagerung von Palettenware ist das Vorhandensein eines Palettenetiketts unbedingt zu prüfen, da ansonsten die Ware nicht durch das LVS geführt umgelagert werden kann. Bei Bedarf ist ein neuer Barcode von der Spenderrolle zu verwenden.

Dimensionierung der Kommissionierzonenengröße:

Der Nachschub erfolgt unverändert vom Standardprozess zweistufig, damit ist dieser in der Dimensionierung der Schnelldreherzone nicht relevant und wird außer Acht gelassen. Abbildung 22 zeigt, dass durchschnittlich 450 Artikel in der Schnelldreherzone bevorratet werden müssen, um 50% aller Kommissionierauftragspositionen innerhalb dieser Zone entnehmen zu können.

Durch die Vereinfachung dass durchschnittlich 2 Artikel pro Fach gelagert werden können, ergibt dies eine benötigte Kommissionierzone in der Größe von 225 Fächern.

Bei 34 Fächern pro Gasse werden demnach 6,6, aufgerundet 7 Gassen benötigt (zusätzliche Sicherheit von 5,7%). Schematisch wird dies in Abbildung 26 dargestellt:

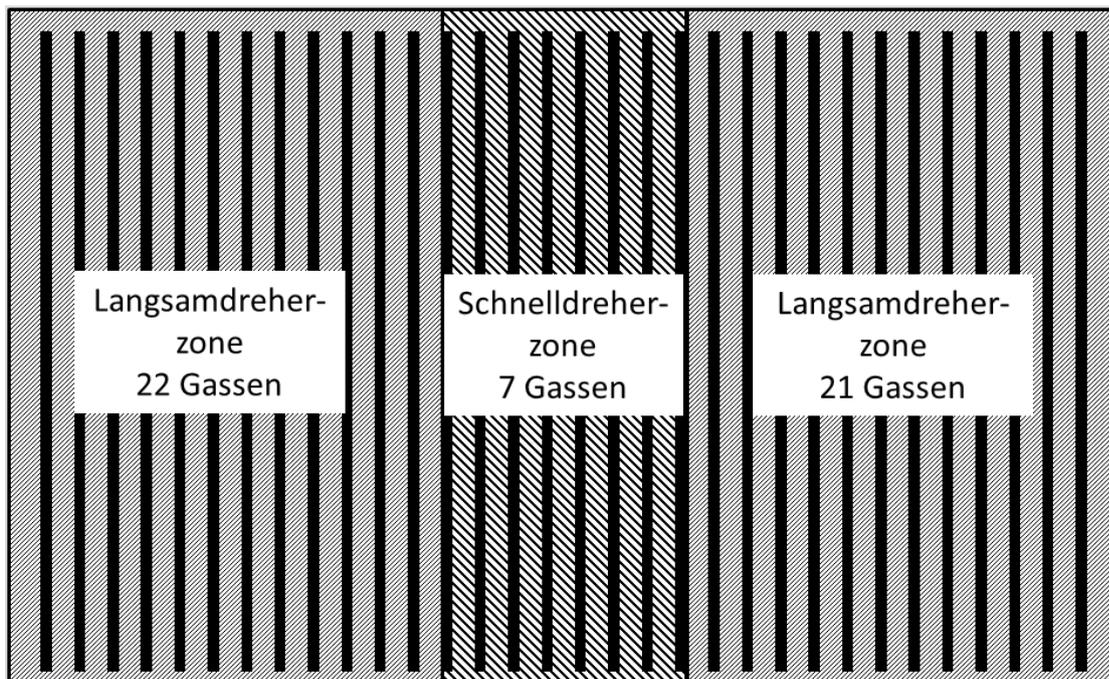


Abbildung 26: Logische Zonung des Lagers nach Zugriffshäufigkeit, Grundriss ¹¹¹

Bei diesem Lagerlayout ergibt sich ein mittlerer Weg für eine Umlagerung zwischen der Langsam- und der Schnelldreherzone von 148m für die Schnellläufer.

Vorbereitende Maßnahmen der Zonung:

Um eine Zone mit 50% Kommissionierpositionen zu definieren („Schnelldreherzone“) müssen initial 987 Umlagerungen durch Tauschen der zugeordneten Kommissionierplätze durchgeführt werden – damit wird eine zonenreine Trennung des Sortiments gewährleistet. Nach der Initialzuordnung der Kommissionierplätze wird jede Woche eine neue Artikelklassifizierung vorgenommen, wobei der Betrachtungszeitraum von 3 Wochen glättet und zu häufige Wechsel zwischen den Zonen verhindert.

Abbildung 27 zeigt die Entwicklung des mittleren Fahrzeitanteiles je Kalenderwoche auf. Die sprunghafte Reduktion des Fahranteiles in den letzten 3 Wochen stammt von der rollierenden Planung, für Wochen 2012/05-07 wird sich einem mathematischen lokalen Optimum angenähert, da es keine Folgedaten zu berücksichtigen gibt.

¹¹¹ Eigene Darstellung

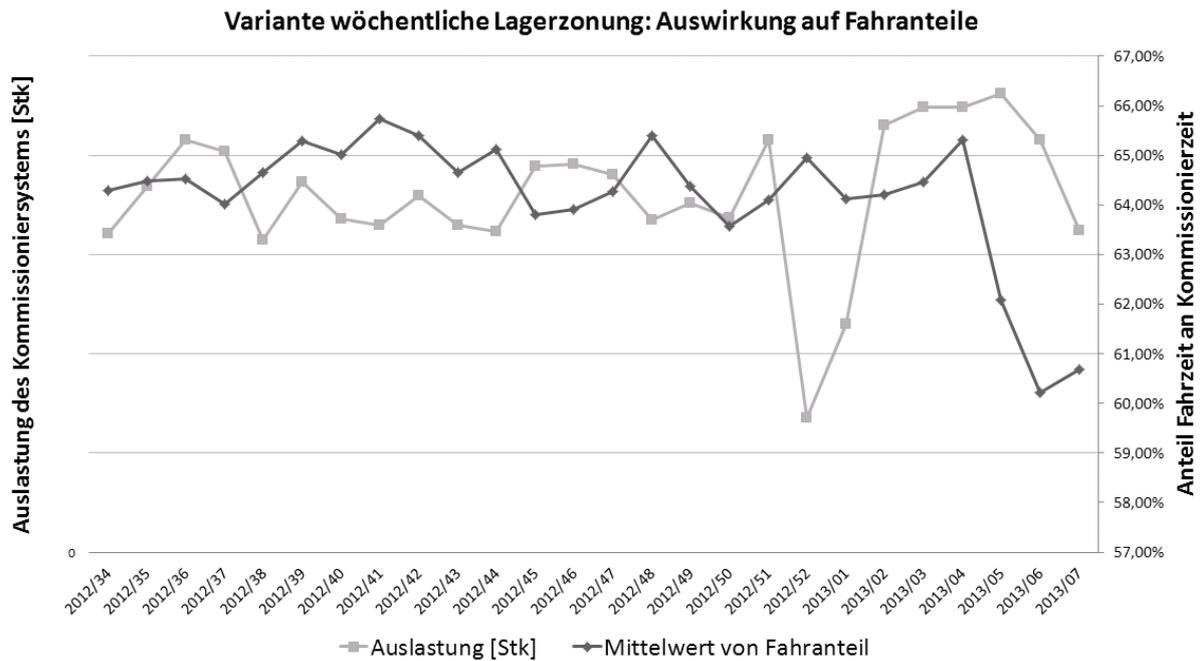


Abbildung 27: Fahranteile bei wöchentlicher Lagerzonung ¹¹²

Durch diese Initialbefüllung für KW 2013/34 verringert sich der durchschnittliche Fahranteil von 67% (der Anteil der neuen Datenbasis) auf 63%, für die ersten vier betrachteten Wochen. Bei Beibehaltung dieser neuen K-Platzzuordnung (ohne Berücksichtigung folgender Verschiebungen der Schnelldreherklassifikation) erhöht sich der Fahranteil langfristig auf 65% - somit könnte durch eine einmalige Neusortierung des Lagers langfristig um 3%, kurzfristig sogar um 6% reduzieren.

Die Aufwände für den Nachschub bleiben unverändert gegenüber der Ausgangssituation, jedoch müssen Stapler und Schnellläufer die Umlagerungen zusätzlich durchführen. Gemäß Abbildung 22 müssen durchschnittlich wöchentlich zusätzlich 200 Umlagerungen vorgenommen werden.

Neben der Schaffung eigener Schnelldreherzonen gibt es weitere Möglichkeiten, die Kommissionierwege zu verkürzen. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Methoden der Artikel-Kommissionierplatzzuordnung durchgeführt, und durch Variation der Nachschubstrategie das für die Forschungsfrage geforderte Optimum ermittelt!

¹¹² Eigene Darstellung

6.2 Dynamische K-Platzzuordnung

Bei diesen Varianten wird auf Tagesbasis rollierend Ware in einer definierten Kommissionierzone bereitgestellt. Die Überlegung ist, dass zu Beginn der Kommissionierung jeder benötigte Artikel, in ausreichender Menge in der Kommissionierzone gelagert ist - sowohl schnell, als auch langsam drehende Artikel. Damit sind Engpässe im Nachschub nicht mehr die Kommissionierzeit verlängernd, und die Kommissionierung kann ungestört von derartigen Nebeneinflüssen erfolgen. Um eine möglichst kleine Kommissionierzone bilden zu können ist es notwendig, am Folgetag nicht benötigte Artikel wieder in eine definierte Zone der Reserve („dynamische Reserve“) zurück zu lagern. In Summe soll sich von jedem Artikel in der Kommissionier- und der definierten Reservezone genau ein Lagerobjekt befinden, dessen Artikelmenge durch die Kommissionierentnahmen immer kleiner wird. Sollte die vorhandene Artikelmenge in der Kommissionierzone nicht ausreichen um die für einen Kommissioniertag benötigten Mengen zu decken, so sollen aus der statischen Reserve direkt genügend neue Lagerobjekte beschafft, und am Ende des Kommissioniertages ein einziges Anbruchslagerobjekt dieses Artikels in die dynamische Reserve zurückgelagert werden. Hierfür wird allerdings für mehr Validität des Berechnungsmodells nicht das Maximum der Summe der Nachschübe der sechs verschiedenen Ladungsträgertypen verwendet, sondern die Summe deren individuellen Maxima der 24 betrachteten Wochen. Dadurch wird eine zusätzliche Sicherheit von 6 % mit einberechnet, um die mehr Stellplätze für den Nachschub berücksichtigt werden:

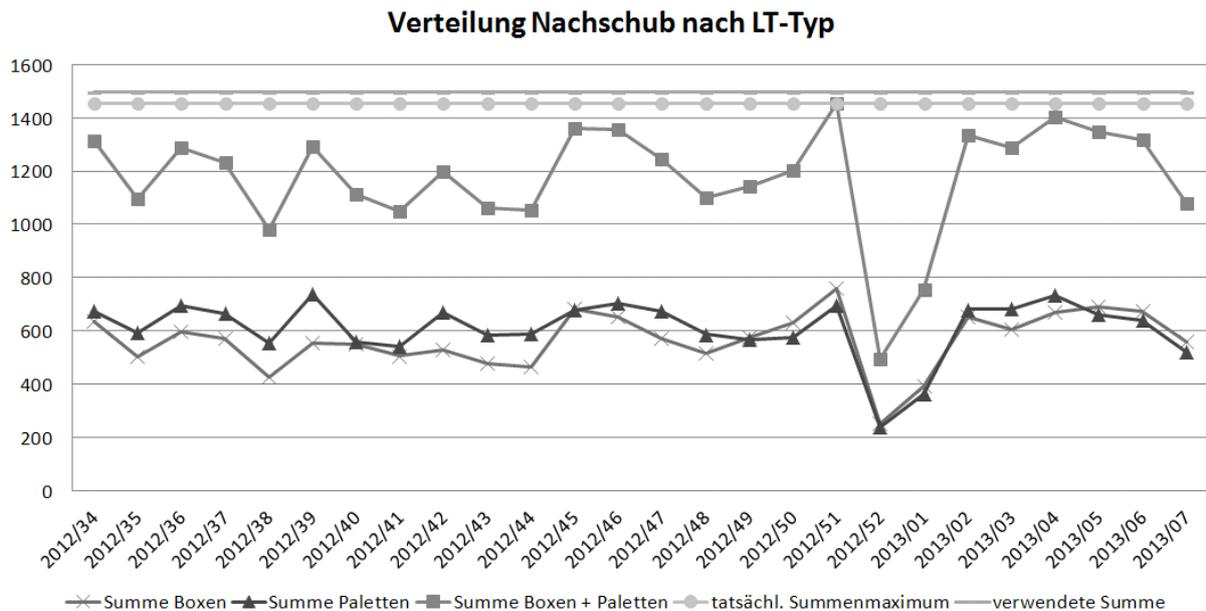


Abbildung 28: Verteilung Nachschub nach LT-Typ ¹¹³

Dabei ist für ausreichend zusätzlichen Platz in der Kommissionierzone zu sorgen, so dass durchschnittlich 300 Lagerobjekte täglich (50% in Boxen, 50% auf Paletten) zusätzlich als Nachschub in der Kommissionierzone eingelagert werden können. Die daraus resultierende Verlängerung der Kommissionierwege kann lediglich statistisch geschätzt werden, da ohne diskreter Simulation nicht unterschieden werden kann ab welchem Kommissioniervorgang der Kommissionierer den neuen Kommissionierplatz ansteuern muss. Um dennoch diesen Effekt zu berücksichtigen werden, beliebig gewählt, auf die 20 Gänge der Kommissionierzone verteilt genau 300 Plätze aus den zu Verfügung stehenden Plätzen der Kommissionierzone entfernt. Damit verlängern sich automatisch die Kommissionierwege aller Aufträge, in denen zumindest einer dieser gesperrten Plätze zwischen zwei Kommissionierpositionen liegt.

Zusätzlich muss der Aufwand der Rücklagerung von Palettenware genannt werden – sollte bereits das Paket mit dem angebrachten Barcode des Lagerobjektes entfernt worden sein, muss ein neues Etikett von einer Spenderolle verwendet werden. Dieser Vorgang kann nur durch zusätzlichen Aufwand durch den Staplerfahrer selber durchgeführt werden, da dies nicht vom Fahrerhaus aus möglich ist.

Für die Berechnung dieser Variante sind folgende Fragen grundlegend:

¹¹³ Eigene Darstellung

- Reicht der Platz in der definierten Kommissionierzone aus, um die alle Anbruchartikel inklusive der 300 Nachschubsobjekte aufzunehmen?
- Reicht der Platz in der dynamischen Reservezone aus, um je ein Lagerobjekt der aktuell nicht im Zugriff befindlichen Artikel aufzunehmen?
- Wieviele Transportvorgänge entstehen durch die tägliche Umlagerung, und wie stehen diese im Verhältnis zu den Zeiteinsparungen in der Kommissionierung?
- In wie fern beeinflusst eine Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages die Anzahl an Transporten, die benötigte Anzahl an Kommissionierplätzen, und damit auch die Durchlaufzeiten in der Kommissionierung?

Um die Verteilung des Kommissioniervolumens innerhalb einer Kalenderwoche zu simulieren werden die in Kapitel 5.5 definierten Kommissionieraufträge gleichmäßig innerhalb der Wochen aufgeteilt, Aufteilungsschlüssel hierbei ist die Anzahl an Zugriffe. Diese Vorgehensweise entspricht nicht der betrieblichen Praxis, da hier in erster Linie eine Gleichverteilung der auszuliefernden Volumina angestrebt wird. Da diese als Datenbasis allerdings nicht zu Verfügung stehen wird eine andere Form der Verteilung verwendet – diese Unschärfe hat allerdings nur unwesentlich Auswirkung auf das Ergebnis, da die Kommissionierwege nicht von der zu entnehmenden Kubatur abhängig sind. Etwaige Einflussfaktoren wären volle Kommissionierladungsträger, jedoch werden diese, wie in Kapitel 5.5 hingewiesen, nicht erfasst.

Um das Kommissioniersystem für eine mögliche Maximallast auszulegen werden lediglich die drei auslastungsstärksten Wochen (mit je einer Woche vorher zum Einschwingen des Systems, und 2 Tagen danach zum Ausschwingen) vollständig berechnet. Die drei Wochen mit den meisten Artikeln im Zugriff waren im Beobachtungszeitraum die KW 2012/42 (2125 kommissionierte Artikel), KW 2012/46 (2099 kommissionierte Artikel), und KW 2012/36 (2091 kommissionierte Artikel) – Abbildung 29 liefert einen Überblick über die Anzahl an kommissionierten Artikeln je Kalenderwoche.

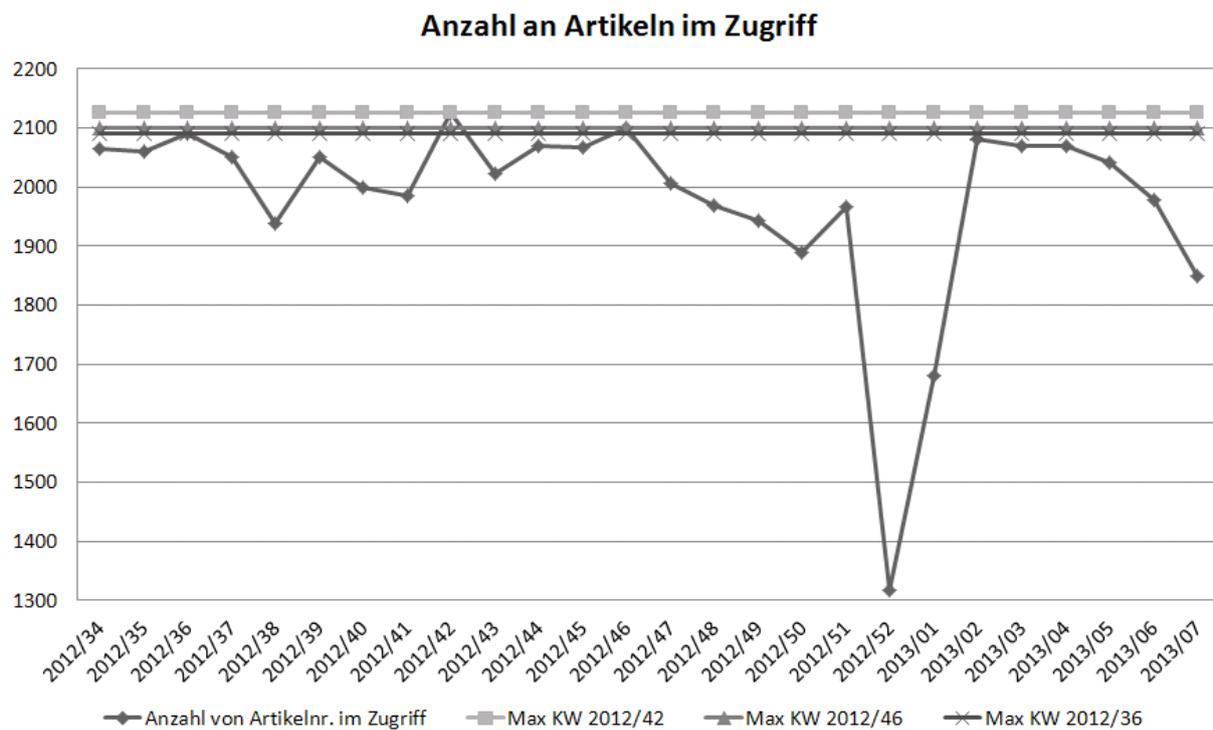


Abbildung 29: Anzahl an Artikel im Zugriff ¹¹⁴

Die schwankende Auslastung zwischen einzelnen Kommissioniertagen ist in Abbildung 30 dargestellt, durch diese realen Spitzen soll der Verlauf der benötigten Umlagerungen geprüft werden.

¹¹⁴ Eigene Darstellung

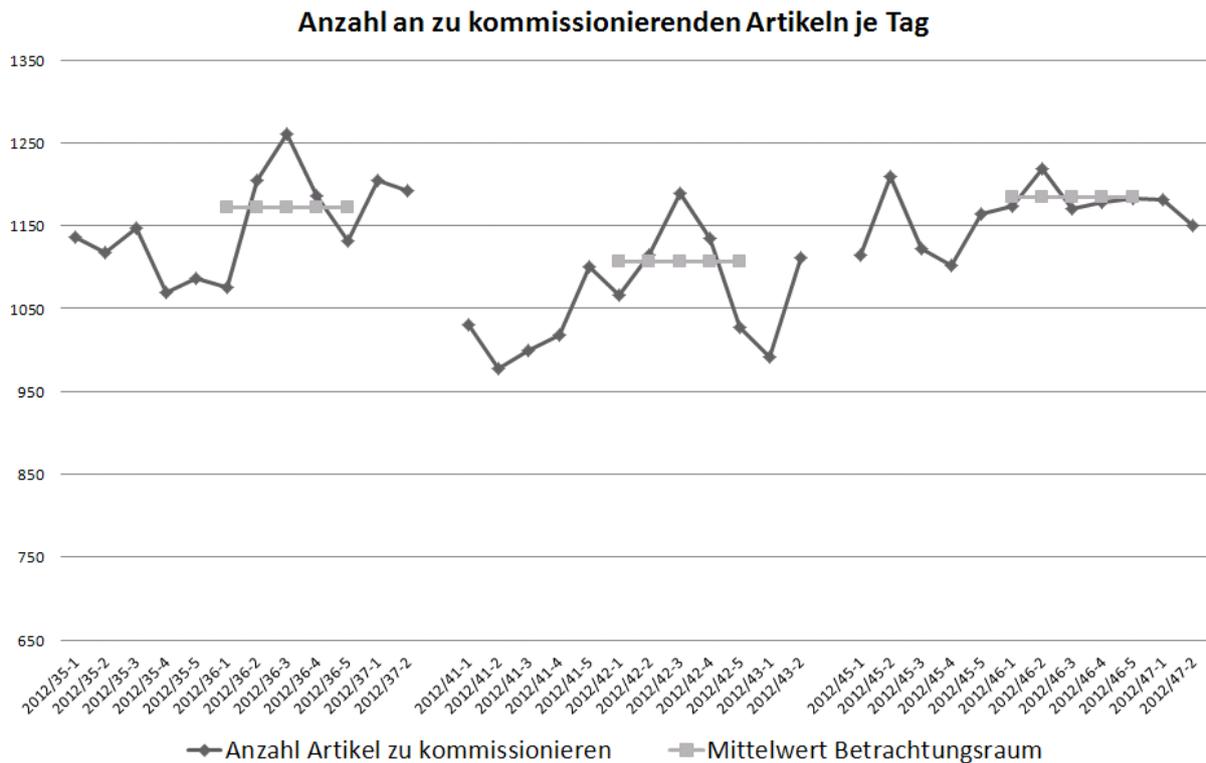


Abbildung 30: Anzahl an bereitzustellenden Artikeln dynamische Kommissionierung¹¹⁵

Bei der dynamischen K-Platzzuordnung ist durch den kurzen Planungshorizont der Aufwand für Umlagerungen bedeutend höher als bei der statischen K-Platzzuordnung. Daher werden die folgenden Szenarien doppelt berechnet. Einmal als Variante der „taggleichen Rücklagerung“, welche jedes Anbruchlagerobjekt vor einem Tag Nichtgebrauch in die dynamische Reserve zurück einlagern lässt, und eine Variante der „Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages“ – hier ist zwischen zwei Entnahmetagen genau ein Tag ohne Entnahme zulässig, und es wird keine Rücklagerung ausgelöst. Bei dieser Variante werden die erwarteten Kommissionierwege zwar verlängert, jedoch wird eine gravierende Aufwandsreduktion bei den Umlagerungen erwartet.

Dimensionierung der Kommissionierzonengröße – taggenaue Rücklagerung:

Durch die Erhebungen, dass an 96% aller Kommissioniertage 1250 Artikel oder weniger bewegt werden (siehe Abbildung 30), durchschnittlich täglich 300 Artikel nachgeschoben werden mussten (additiver Zusammenhang, siehe Abbildung 28), und

¹¹⁵ Eigene Darstellung

die Vereinfachung dass durchschnittlich 2 Artikel pro Fach gelagert werden können ergibt dies eine benötigte Kommissionierzone in der Größe von 775 Fächern. Bei 34 Fächern pro Gasse werden demnach 22,8, aufgerundet 23 Gassen benötigt (zusätzliche Sicherheit von 1%, 782 Fächer).

Das Ergebnis der dynamischen Bereitstellung aus Sicht der Kommissionierung fasst Abbildung 31 zusammen: Nach einer kurzen Einschwingphase in den ersten Tagen der Vorwoche der jeweiligen Betrachtungswoche pendelt sich der mittlere Anteil der Fahrzeit je Kommissionierauftrag bei ungefähr 45% ein.

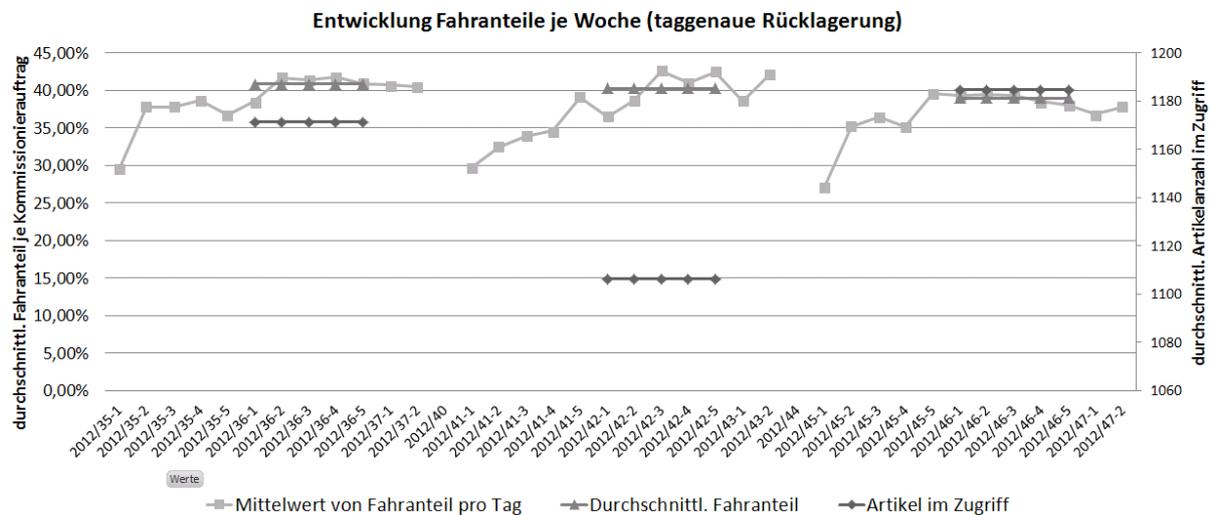


Abbildung 31: Entwicklung Fahranteile je Woche (taggenaue Rücklagerung) ¹¹⁶

Um diese Zeitersparnis in der Kommissionierung zu ermöglichen sind sehr viele Umlagerungen notwendig. Abbildung 32 verdeutlicht den dadurch entstehenden Aufwand – täglich müssen durchschnittlich 1200 Lagerobjekte bewegt werden (ungefähr 450 Umlagerungen aus der Reserve in die Kommissionierzone, die gleiche Zahl an Anbruchlagerobjekten zurück in die Reserve, und 300 neue Lagerobjekte als Nachschub).

¹¹⁶ Eigene Darstellung

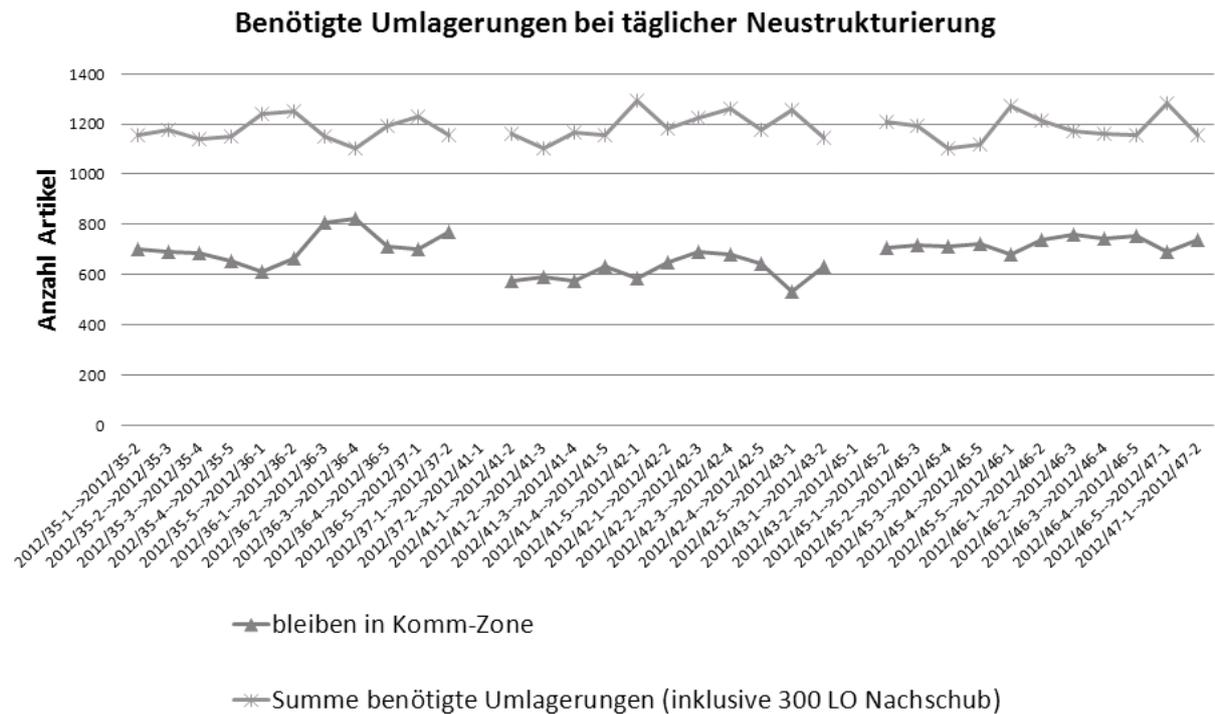


Abbildung 32: Anzahl Umlagerungen bei taggleicher Rücklagerung ¹¹⁷

Dimensionierung der Kommissionierzonengröße – Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages:

Bei dieser Variante verbleiben durchschnittlich 200 Artikel zusätzlich in der Kommissionierzone, wie Abbildung 33 zeigt – dies bewirkt eine Reduktion der benötigten Umlagerungen um 400 Transporte:

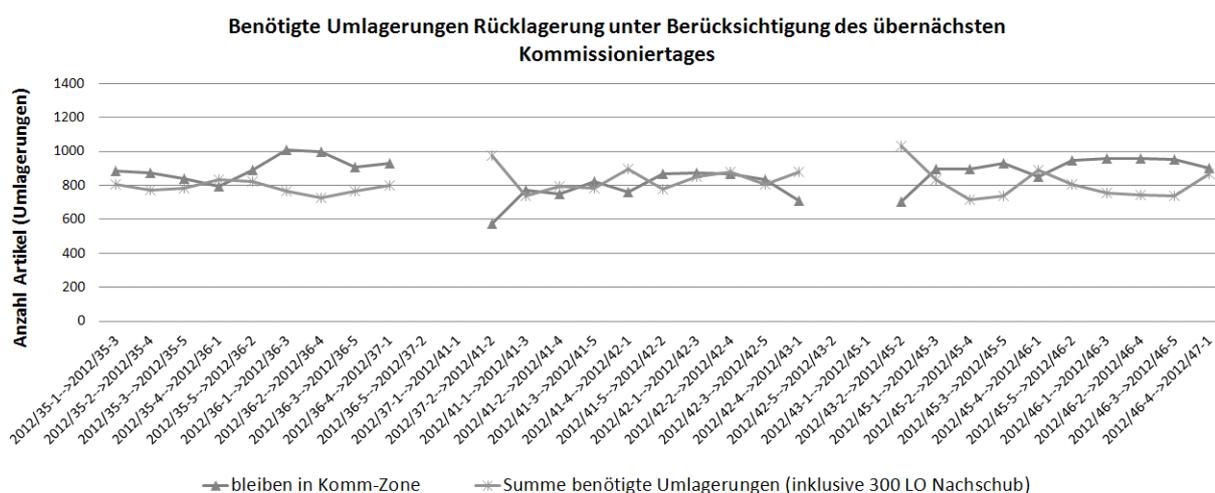


Abbildung 33: Anzahl Umlagerungen Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommtages ¹¹⁸

¹¹⁷ Eigene Darstellung

Die größere Dimensionierung und die bewusste Nicht-Rücklagerung wenn der Artikel nur den nächsten Kommissioniertag nicht benötigt wird, haben direkten Einfluss auf die mögliche Verdichtung der Kommissionierplätze. Während bei einem kleineren Kommissioniersystem per Definition die längste mögliche Kommissionierroute kürzer ist als in einem größeren System, so haben ungünstig zugeordnete (weil durch Auslastungsspitzen am Ende der Kommissionierroute gelagert) Kommissionierplätze länger Auswirkungen. Speziell bei schwankenden Auslastungen, siehe Abbildung 30, wirken sich diese Effekte signifikant aus. Dies ist die Begründung für die Erhöhung des Fahrzeiteils auf 47%, siehe Abbildung 34.

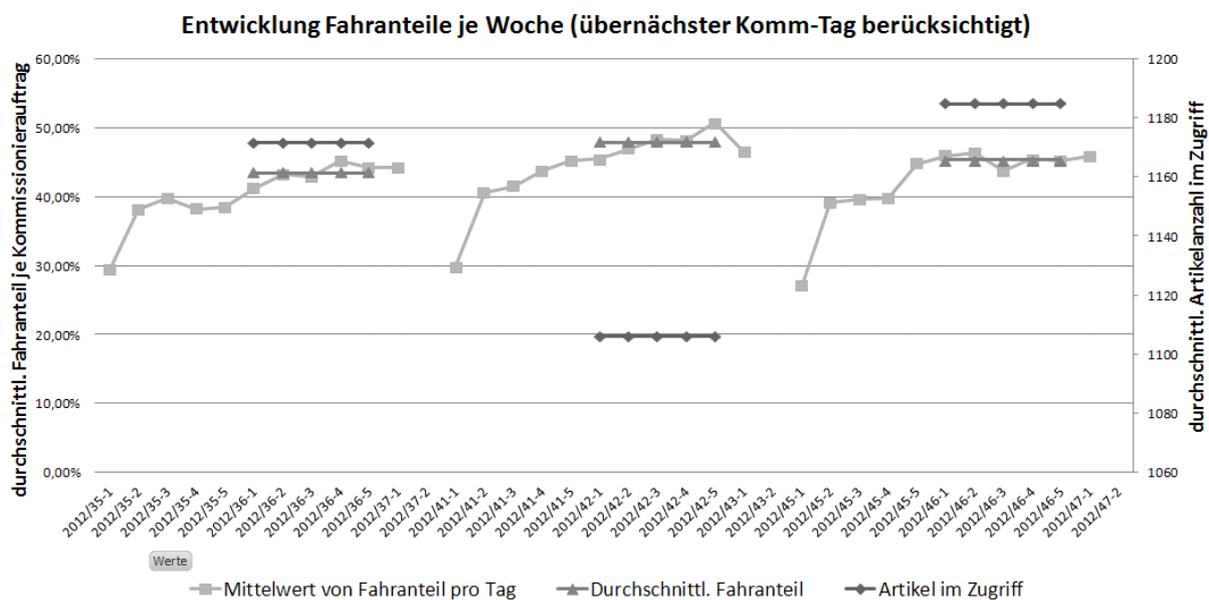


Abbildung 34: Entwicklung Fahranteile je Woche (Berücksichtigung übernächster Komm-Tag)¹¹⁹

In den kommenden Kapiteln sollen die Auswirkungen verschiedener Anordnungen der dynamischen Reservezone herausgefunden, und quantifiziert werden.

6.2.1 Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve über K-Plätzen

Um Wegverkürzungen der Umlagerungen zu erreichen werden alle dynamischen Reserveplätze im Regal direkt über den Kommissionierplätzen angeordnet. Damit ist

¹¹⁸ Eigene Darstellung

¹¹⁹ Eigene Darstellung

sichergestellt, dass die Stapler sämtliche für die dynamische Kommissionierung notwendigen Umlagerungen einstufig durchführen können. Abbildung 36 soll den generellen Aufbau dieses Kommissioniersystems darstellen, wobei die Größen der einzelnen Zonen abhängig von der gewählten Umlagerstrategie variabel sind. Dies ist auch der Grund für die bewusst „unscharf“ gekennzeichneten Zonengrenzen in der Abbildung.

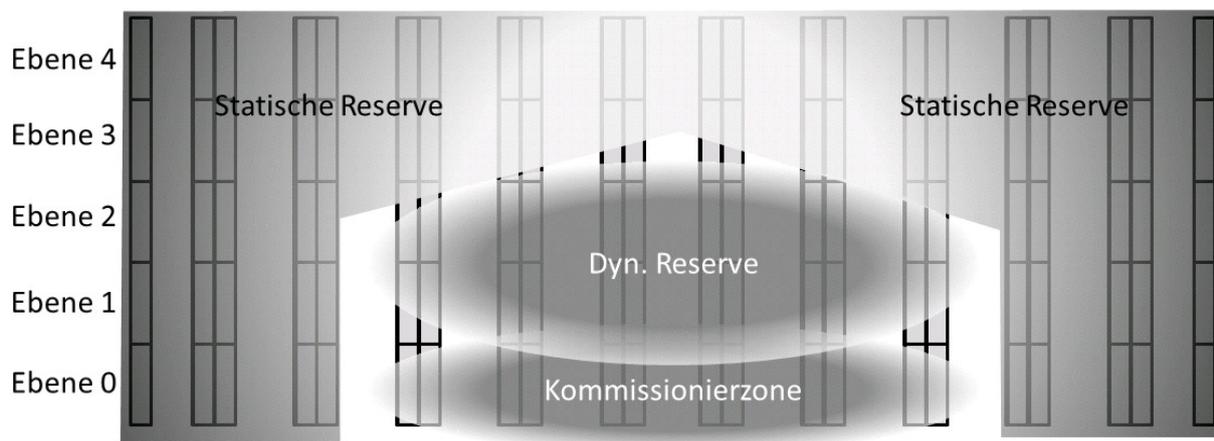


Abbildung 35: Prinzipdarstellung Zonung der Regale, Aufriss ¹²⁰

Dimensionierung der Reservezonen bei taggleicher Rücklagerung

In dieser Variante ist die Kommissionierzone 23 Gassen (=782 Fächer) groß, sodass einerseits 1264 Anbruchlagerobjekte, als aber auch 300 Nachschublagerobjekte eingelagert werden können. Da in Summe 3300 Anbruchobjekte in dem System aus dynamischer Reserve und Kommissionierzone vorhanden sein müssen, bedeutet dies dass die dynamische Reserve im Umkehrschluss 2036 Anbruchlagerobjekte aufnehmen können muss – dies entspricht 1018 Fächer, oder auch 1,3 Ebenen über der Kommissionierzone mit 23 Gassen. Für mehr benötigte Sicherheit sollte die dynamische Reserve auf 1,5 Ebenen dimensioniert werden, und damit 1173 Fächer umfassen. Die darüber liegenden 2,5 Ebenen stehen aus Gründen der Hubwegminimierung lediglich für die statische Reserve zu Verfügung.

Die statische Reserve umfasst damit 23 Gassen, zu je 2,5 Ebenen mit je 34 Fächern direkt oberhalb der Kommissionierzone, und weitere 27 Gassen (vor- und nach der

¹²⁰ Eigene Darstellung

Kommissionierzone) zu je 5 Ebenen, da auch die Bodenebene für die statische Reserve genutzt wird. Dies entspricht 6.545 Fächern, oder 13.090 Stellplätzen!

In Kapitel 5.2 wurde bereits festgehalten, dass das verwendete Regal fünf Ebenen umfasst, wovon nur die Unterste für die Kommissionierung verwendet werden kann. Abbildung 36 stellt schematisch den Seitenriss der Regale dar, wobei durch die unterschiedliche Einfärbung die verschiedenen Typen der Nutzung hervorgehoben wird:

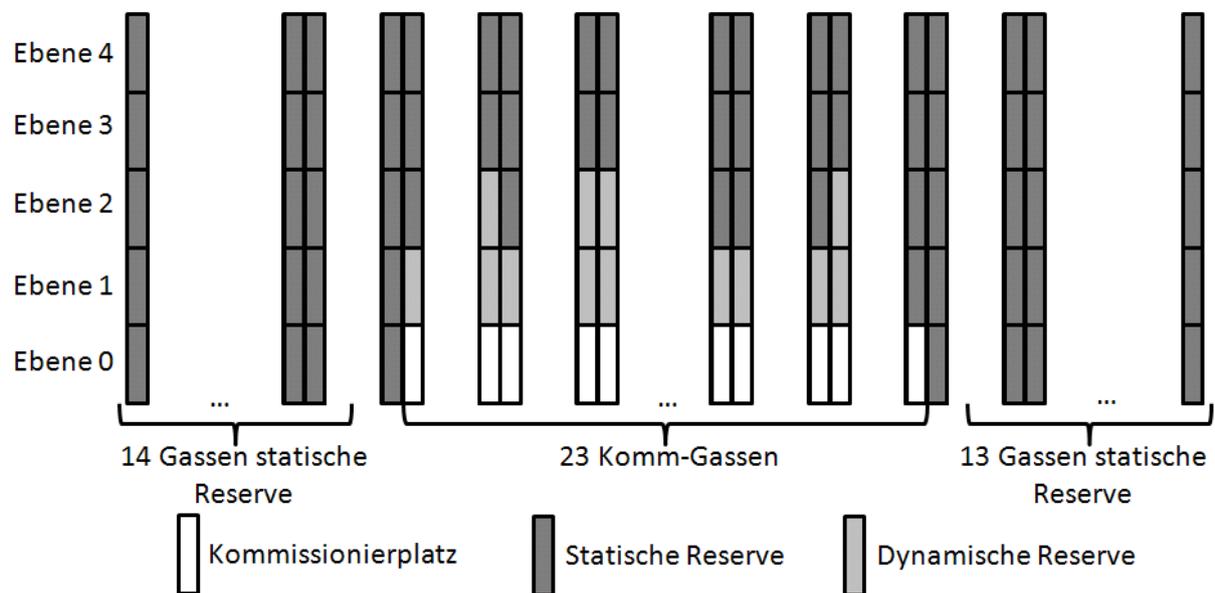


Abbildung 36: dynamische Reserve vollständig über Komm-Zone, Aufriss ¹²¹

Einen Grundriss über die Zonung zeigt Abbildung 37:

¹²¹ Eigene Darstellung

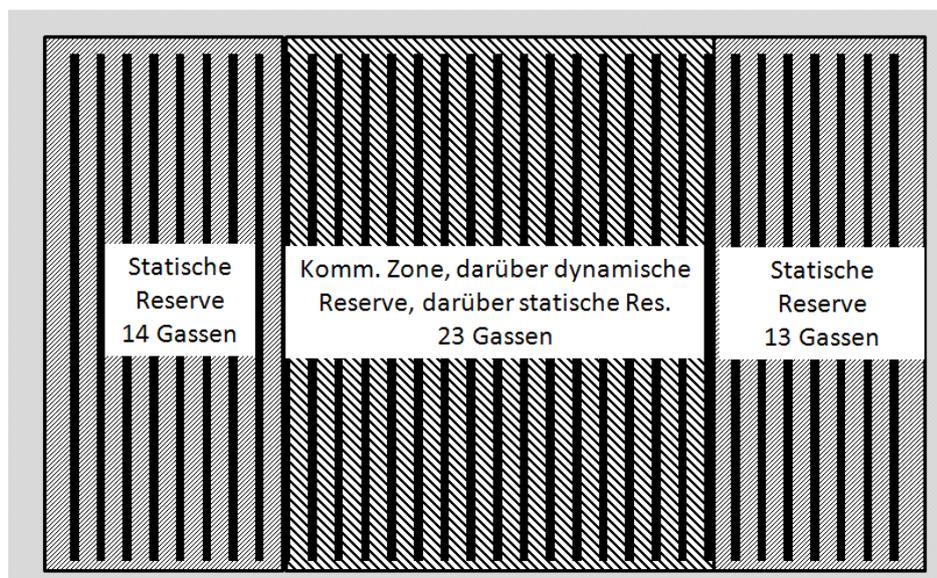


Abbildung 37: Dynamische Kommissionierzone – taggleiche Rücklagerung, Grundriss ¹²²

Bei diesem Lagerlayout ergibt sich ein mittlerer Weg für eine Umlagerung zwischen der dynamischen Reserve und der Kommissionierzone von 0m für die Schnellläufer, da die Umlagerungen vollständig durch Hochregalstapler durchgeführt werden können.

Da diese Umlagerungen mit Aufwand verbunden sind (Engpass: Stapler) soll abgewogen werden, wie sich das bewusste nicht-Zurücklagern in die Reservezone von am übernächsten Arbeitstag wieder benötigten Artikeln auswirkt.

Dimensionierung der Reservezonen bei Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Durch die Vergrößerung der Kommissionierzone auf 26 Gassen (entspricht 884 Fächern mit 1768 nutzbaren Stellplätzen), können sowohl 1468 Anbruchlagerobjekte, als auch 300 Nachschublagerobjekte eingelagert werden. Da in Summe 3300 Anbruchobjekte in dem System aus dynamischer Reserve und Kommissionierzone vorhanden sein müssen, bedeutet dies dass die dynamische Reserve im Umkehrschluss

¹²² Eigene Darstellung

1832 Anbruchlagerobjekte aufnehmen können muss – dies entspricht 916 Fächer, oder auch 1,04 Ebenen über der Kommissionierzone mit 26 Gassen. Für mehr benötigte Sicherheit sollte die dynamische Reserve auf 1,1 Ebenen dimensioniert werden, und damit 972 Fächer umfassen. Die obersten 2,9 Ebenen stehen aus Gründen der Hubwegminimierung lediglich für die statische Reserve zu Verfügung. Für die statische Reserve stehen damit 26 Gassen, zu je 2,9 Ebenen mit je 34 Fächern direkt oberhalb der Kommissionierzone, und weitere 24 Gassen (vor- und nach der Kommissionierzone) zu je 5 Ebenen, da auch die Bodenebene für die statische Reserve genutzt wird, zu Verfügung. Dies entspricht 6.644 Fächern, oder 13.288 Stellplätzen!

Einen Grundriss über die geänderte Zonung bei der geringeren Anzahl an Rücklagerungen zeigt Abbildung 38:

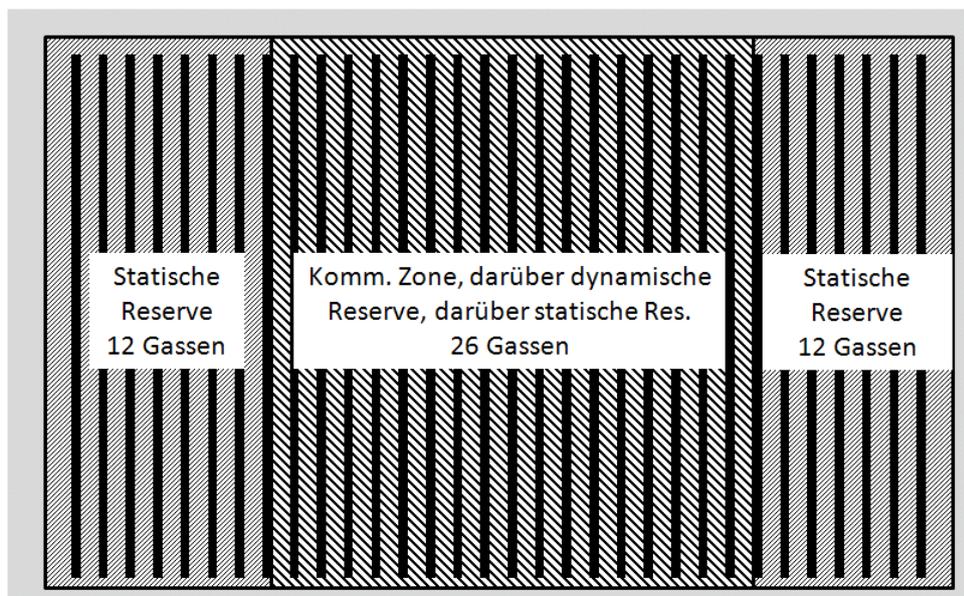


Abbildung 38: Dynamische Kommissionierzone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages, dynamische Reserve über Komm-Zone, Grundriss ¹²³

Auch bei diesem Lagerlayout ergibt sich ein mittlerer Weg für eine Umlagerung zwischen der dynamischen Reserve und der Kommissionierzone von 0m für die Schnellläufer.

Generell ist zu erwarten, dass sich die Anzahl an Umlagerungen (sowohl in, als auch aus der Reservezone) reduzieren wird. Gleichzeitig erhöht sich der Anteil an in der Kommissionierzone befindlichen Artikeln, was eine Vergrößerung des dafür vorzuse-

¹²³ Eigene Darstellung

henden Platzes bedingt. Daraus wiederum wird eine Verschlechterung des Fahranteiles der Kommissionierung erwartet, da die durchschnittliche Entfernung zwischen den Kommissionierplätzen steigt. Parallel dazu muss die benötigte Kapazität der Reservezone sinken, da mehr Artikel in der Komm-Zone gelagert werden.

6.2.2 Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve gesplittet

Durch bewusstes Teilen der zu bewegenden Lagerobjekte anhand des verwendeten Ladungsträgertyps wird der Aufwand der Staplergruppe reduziert, und teilweise auf die „Schnellläufer“ übertragen. Grundidee ist, dass die Waren auf Boxen als dynamische Reservezonen Stellplätze der Bodenebene zugewiesen bekommen. Von dort aus können sie durch die Schnellläufer aufgenommen, und einstufig ohne Einsatz von Staplern auf den Zielstellplatz verbracht werden. Paletten sollen, wegen ihrer schlechten Handhabbarkeit ohne Handhubwagen innerhalb einer Gasse, weiterhin nur durch Stapler zwischen der dynamischen Reservezone direkt über der Kommissionierzone, und der Kommissionierzone auf Bodenebene bewegt werden.

Durch die dynamische Kommissionierung vervielfacht sich die Anzahl an notwendigen Umlagerungen. Da die Kapazität des Teams „Stapler“ laut Aufgabenstellung nicht durch Investitionen erweitert werden darf, sollen Möglichkeiten gefunden werden die Anzahl an Umlagerungen durch andere Funktionen durchzuführen. Diese Umlagerungen werden durch die bereits vorhandene Gruppe der Schnellläufer durchgeführt, welche durch den Wegfall von Wartezeit wegen noch nicht vollständig entleerten Kommissionierplätzen die Nachschübe ohne Unterbrechung durchführen können. Diese sind bei der fixen Zonung der dynamischen Reserve über der Kommissionierzone nur für die Nachschübe notwendig, da sämtliche Transporte die dynamische Reserve betreffend innerhalb eines Ganges, und nur zwischen den Ebenen stattfinden. Diese Umlagerungen können nur durch die eingesetzten Hochregalstapler durchgeführt werden.

Aufnehmbar sind sowohl Boxen als auch Paletten, wobei beide Ladungsträgertypen die Einschränkung haben dass sie nur aus 2 einander entgegengesetzten Richtungen aufgenommen werden können. Während innerhalb des Schmalganges das

Hantieren mit Boxen durch das Personal ohne weitere Hilfsmittel möglich ist, müssen Paletten mit Handhubwagen aus dem Quellstellplatz, und beim Ziel wieder in den Zielstellplatz bewegt werden.

Dimensionierung der Reservezonen bei taggleicher Rücklagerung

Bei dieser Möglichkeit bleiben bis zu 1900 Artikel (= 1900 Lagerobjekte) in der dynamischen Reserve, siehe Abbildung 32. Gemäß der Statistik sind 50% davon auf Paletten, und 50% auf Boxen. Da je Fach genau zwei Lagerobjekte gelagert werden können, bedeutet dies 475 zu reservierende Fächer für die dynamische Reserve je LT-Typ.

Jede Ebene direkt über der Kommissionierzone umfasst 782 Fächer, was bedeutet dass lediglich 60% der Fächer in Ebene 1 für die dynamische Reserve von Palettenware vorzusehen ist. Für mehr Sicherheit werden in der weiteren Statistik allerdings 75% (586 Fächer) verwendet. Die dynamische Boxenreserve wird auf Bodenebene ausgeführt, und ident groß definiert.

Für die statische Reserve stehen damit 6.546 Fächer, oder 13.092 Stellplätze zur Verfügung.

Um dieses Verhältnis von Kommissionierplätzen zu den verschiedenen Reservezonen zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 39 eine beispielhafte Anordnung. Man beachte, dass in den Plätzen der dynamischen Reserve über der Kommissionierzone nur noch Palettenware gelagert wird.

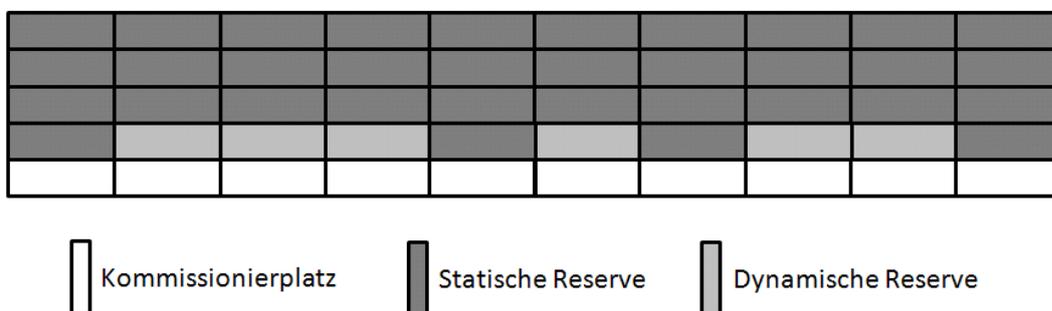


Abbildung 39: Aufriss reduzierte dyn. Reservezone taggenaue Rücklagerung, Seitenriss ¹²⁴

¹²⁴ Eigene Darstellung

Die dynamische Reserve für Boxenware wird demnach auf die Bodenebene, möglichst nahe der Kommissionierzone verlegt. Ein Beispiel für die mögliche Anordnung zeigt Abbildung 40, um eine Fahrwegoptimierung zu erreichen werden die benötigten 475 Fächer auf 4 Zonen aufgeteilt. Die Größe der benötigten dynamischen Reservezone auf Bodenebene entspricht hierbei 14 Gassen (475 Fächer auf 34 Fächer je Gasse), wobei diese zur Wegoptimierung jeweils nur zur Hälfte vor und nach der Kommissionierzone angeordnet werden.

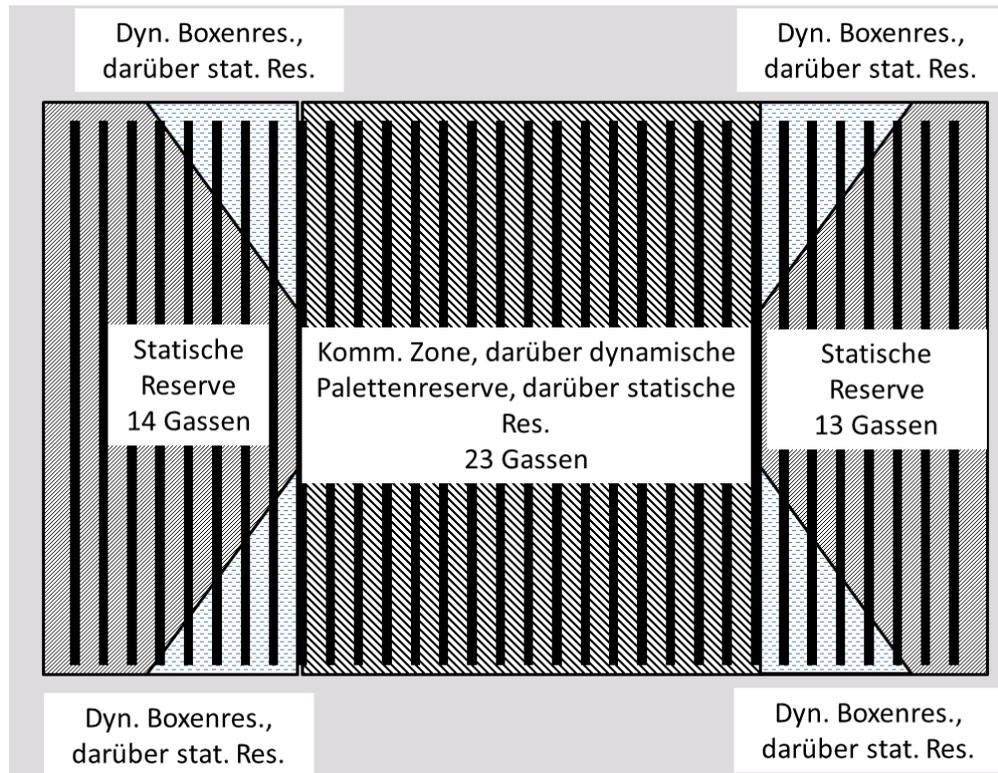


Abbildung 40: reduzierte dyn. Reservezone taggenaue Rücklagerung, Grundriss ¹²⁵

Dimensionierung der Reservezonen bei Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Bei dieser Möglichkeit bleiben bis zu 1700 Artikel (= 1700 Lagerobjekte) in der dynamischen Reserve, siehe Abbildung 32. Gemäß der Statistik sind 50% davon auf Paletten, und 50% auf Boxen. Da je Fach genau zwei Lagerobjekte gelagert werden können, bedeutet dies 425 zu reservierende Fächer für die dynamische Reserve je LT-Typ.

¹²⁵ Eigene Darstellung

Jede Ebene direkt über der Kommissionierzone umfasst 884 Fächer, was bedeutet dass lediglich 48% der Fächer in Ebene 1 für die dynamische Reserve von Palettenware vorzusehen ist. Für mehr Sicherheit werden in der weiteren Statistik allerdings 50% (442 Fächer) vorgesehen. Die dynamische Boxenreserve wird auf Bodenebene ausgeführt, und ident groß definiert. Für die statische Reserve stehen damit 6.732 Fächer, oder 13.464 Stellplätze zur Verfügung.

Um dieses Verhältnis von Kommissionierplätzen zu den verschiedenen Reservezonen zu verdeutlichen zeigt Abbildung 41 eine beispielhafte Anordnung.

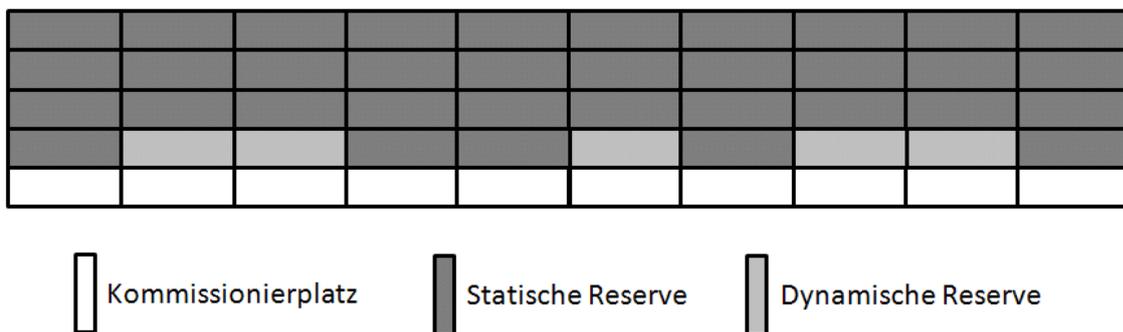


Abbildung 41: Aufriß reduzierte dyn. Reservezone Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages, Seitenriss ¹²⁶

Die dynamische Reserve für Boxenware wird demnach auf die Bodenebene, möglichst nahe der Kommissionierzone verlegt. Ein Beispiel für die mögliche Anordnung zeigt Abbildung 40, um eine Fahrwegoptimierung zu erreichen werden die benötigten 425 Fächer erneut auf 4 Zonen aufgeteilt:

¹²⁶ Eigene Darstellung

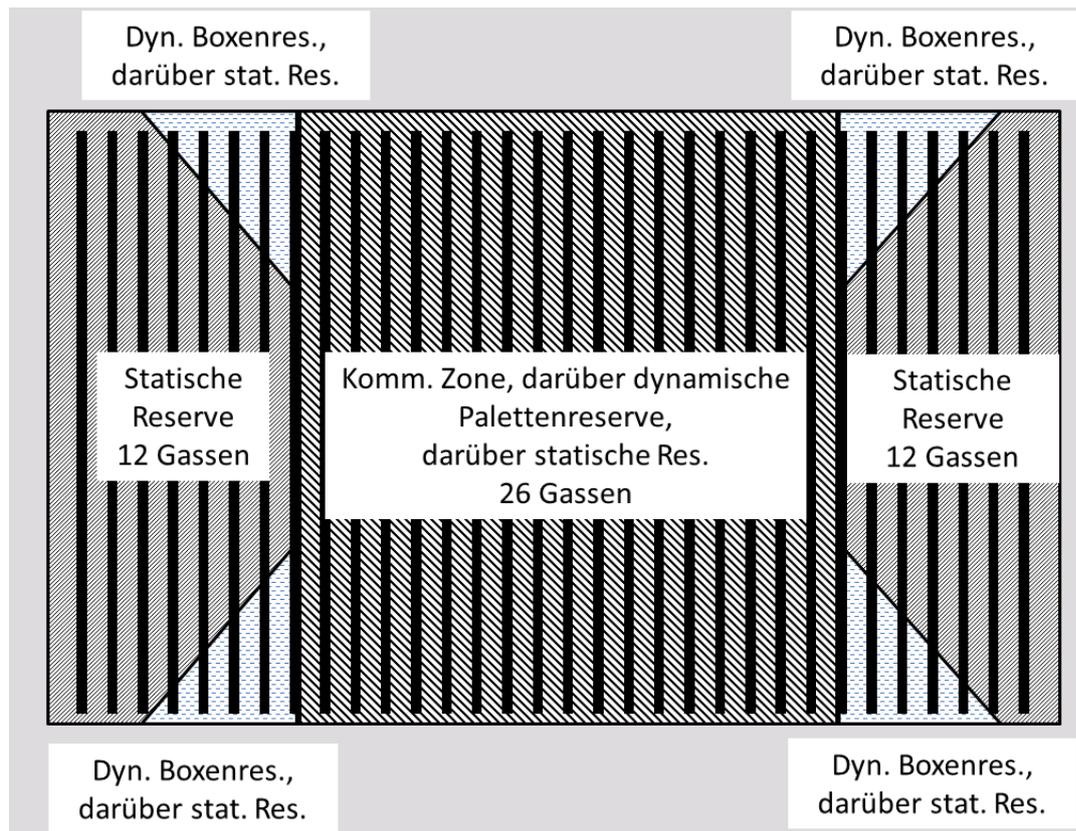


Abbildung 42: Reduzierte dyn. Reservezone unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages, Grundriss¹²⁷

6.2.3 Prozessbeschreibung dyn. K-Platzzuordnung, dyn. Reserve, nur Boxen auf Bodenebene

Eine mögliche Extremvariante der Dimensionierung der dynamischen Reservezone wäre ein völliger Umstieg von Paletten auf Boxen als Ladungsträger für die Lagerung. Damit könnte die dynamische Reservezone vollständig in der Bodenebene untergebracht werden, und die Umlagerungen losgelöst von den Staplern stattfinden – diese müssten lediglich die rund 300 Nachschübe täglich durchführen, welche allerdings in jeder Variante notwendig sind. Der große Vorteil dieser Variante besteht zusätzlich im Wegfall der Neuetikettierung von Lagerobjekten auf Paletten. Da Boxen fix ausgezeichnet sind muss kein neuer Barcode verwendet werden, und die Rücklagerung von der Kommissionierzone in die dynamische Reserve kann mit bedeutend weniger Aufwand erfolgen! Auch ist die Transportfähigkeit bei eventuell bereits entfernter Transportverpackung, wie etwa Schrumpffolie, bei Boxen besser gegeben – es muss

¹²⁷ Eigene Darstellung

die Ladung lediglich gegen das Kippen auf die offene Seite durch eine Sicherungsstange o.Ä. abgesichert werden.

Ebenfalls entfällt sehr viel Handlingsaufwand, weil keine Paletten mehr mit Handhubwägen auf den Kommissionierplatz verbracht werden müssen – auch die Beschädigungsgefahr durch unsachgemäßes Abstellen von Ware wird reduziert, da sich die Box als schützender Käfig stets um die Ware befindet!

Dimensionierung der Reservezonengrößen:

Die Dimensionierung der dynamischen Reserve auf Bodenebene muss in dieser Variante besonders genau geprüft werden, da hier jeder Artikel genau ein Anbruchobjekt in der Bodenebene gelagert haben muss. Dies entspricht jedoch dem aktuellen Prozess ohne Optimierung, siehe Kapitel 5.4.1 – der wichtigste Unterschied ist aber, dass nicht alle Fächer für die Kommissionierung genützt werden! In dem Gesamtsystem werden 3300 Artikelnummern betrachtet, demnach ist es zweckdienlich die komplette Bodenebene in Kommissionier- und dynamische Reservezone zu unterteilen. Die statische Reserve ist hierbei vollständig in den Ebenen darüber eingelagert, und umfasst 6800 Fächer.

Abbildung 43 veranschaulicht die Lagerzonung anhand eines Seitenrisses, wobei ersichtlich wird dass die dynamische Reserve die nicht als Kommissionierzone verwendete Bodenfläche umfasst.

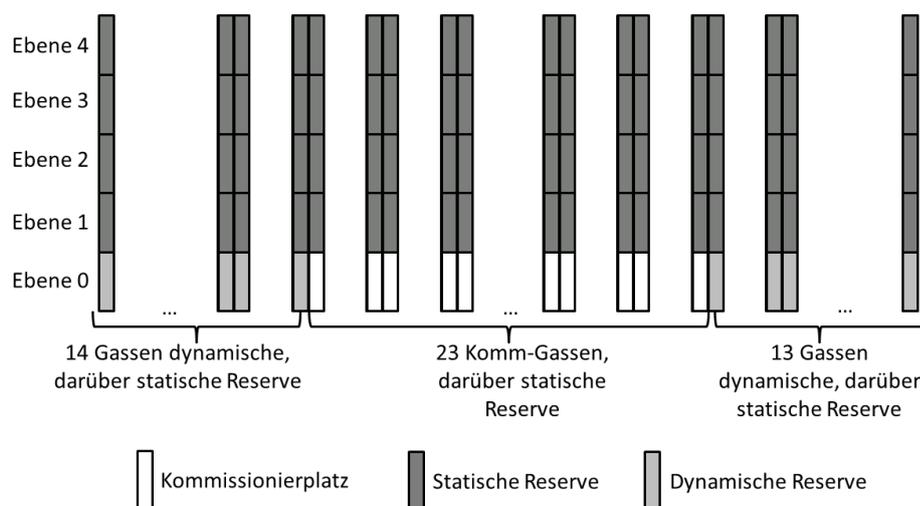


Abbildung 43: Seitenriss reine Boxenlagerung ¹²⁸

¹²⁸ Eigene Darstellung

Abbildung 44 zeigt die entsprechende Zonung des Grundrisses der taggenauen Rücklagerung.

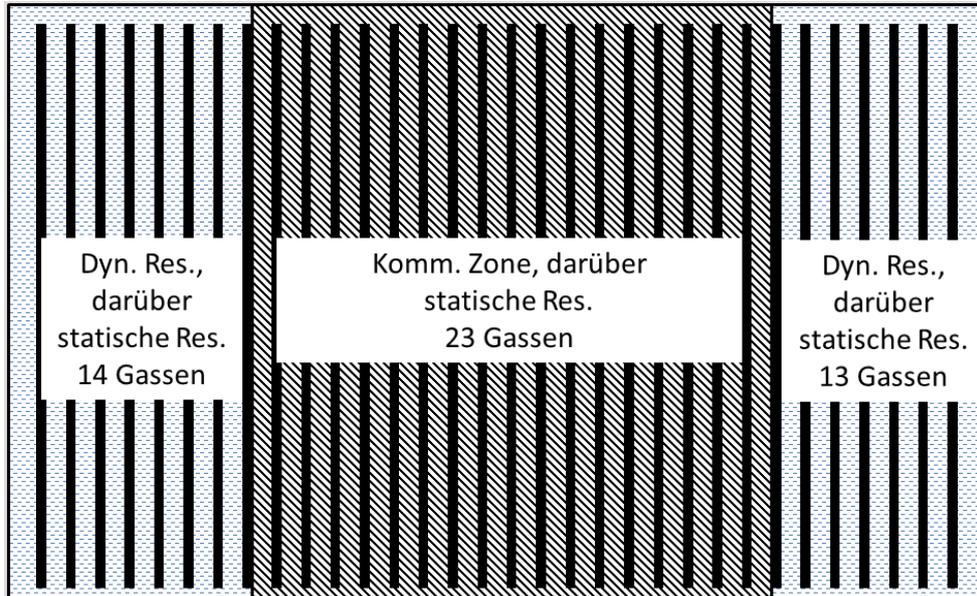


Abbildung 44: logische Zonung nur Boxen in dynamischer Reserve, taggenaue Rücklagerung, Grundriss¹²⁹

Abbildung 45 visualisiert die Zonung des Regalsystems für die Variante der Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages:

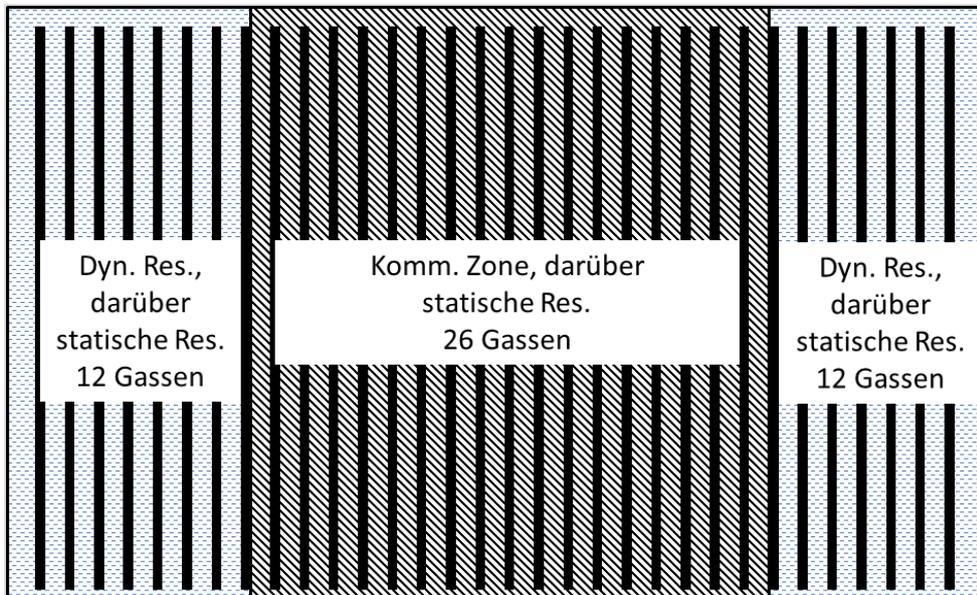


Abbildung 45: logische Zonung nur Boxen in dynamischer Reserve, 2 tagesgenaue Rücklagerung, Grundriss¹³⁰

¹²⁹ Eigene Darstellung

¹³⁰ Eigene Darstellung

7 Ergebnisse

Da bei der Datenbasis der Ist-Situation Nebeneffekte wie Pausen, oder auch sonstige die Durchlaufzeit der Kommissionierer verlängernde Effekte enthalten sind, werden für die folgende Ergebnisvalidierung die Soll-Durchlaufzeiten je Kommissionierauftrag verwendet.

7.1 Zusammenhang Zeitersparnis in der Kommissionierung / erhöhter Umlageraufwand

Die kommenden Berechnungen werden aus Datenschutzgründen lediglich beispielhaft, und mit frei gewählten Parametern durchgeführt. Das Ergebnis steht lediglich für die verwendeten Parameter, und kann durch Variation der Anfangsbedingungen für beliebige ähnliche Aufgabenstellungen angepasst werden!

Gesucht wird das Minimum der Wochensumme (S_i) aus benötigter Arbeitszeit für die Gruppe Stapler für Nachschubstätigkeiten (STN_i) multipliziert mit der Anzahl an Tagen mit Ausführung pro Woche ($nSTN_i$), für Umlagertätigkeiten (STU_i) multipliziert mit der Anzahl an Tagen mit Ausführung pro Woche ($nSTU_i$), für die Gruppe Schnellläufer für Nachschubstätigkeiten (SLN_i) multipliziert mit der Anzahl an Tagen mit Ausführung pro Woche ($nSLN_i$), für Umlagertätigkeiten (SLU_i) multipliziert mit der Anzahl an Tagen mit Ausführung pro Woche ($nSLU_i$), und für Kommissioniertätigkeit (K_i) der Gruppe Kommissionierer multipliziert mit der Anzahl an Tagen mit Ausführung pro Woche (nK_i).

$$S_i = nSTN_i * STN_i + nSTU_i * STU_i + nSLN_i * SLN_i + nSLU_i * SLU_i + nK_i * K_i \quad (1)$$

Aufgrund der unterschiedlichen Personalstärken soll explizit nicht das Minimum der Personalstundensumme ermittelt werden!

Die Berechnung der benötigten Arbeitszeit wird für die Ist-Situation ausführlich durchgeführt, für die weiteren Varianten erfolgt dies in Kapitel 7.2.

Tabelle 8: Kennzahlen Ist-Situation

Standardprozess	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	67
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	-
Fahrweg pro Umlagerung [m]	-
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	1700 / 50
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	-
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	-
Größe statische Reserve [Fächer]	6800
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	3300

Tabelle 9: Spezifische Leistung Ist-Situation

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen im Standardprozess [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	58
Schnellläufer (Umlagerung)	-

Stapler [STN₁]:

Es müssen 300 Nachschübe durchgeführt werden, bei einer Leistung von 70 Nachschüben pro Stunde ergibt dies eine benötigte Arbeitszeit von 4,3 Stunden täglich.

Kommissionierer [K₁]:

Die Arbeitszeit eines Kommissionierers besteht durchschnittlich aus 67% Fahranteil, und 33% Kommissionieren – und damit 8 Stunden.

Schnellläufer [SLN₁]:

Der Nachschub von 300 Lagerobjekten muss über definierte fixe Kommissionierplätze erfolgen, durch den hohen Anteil an Wartezeit beträgt die Leistung hier 58 Nach-

schübe pro Stunde. Dies entspricht einer benötigten Arbeitszeit von 5,2 Stunden täglich.

Mit Formel 2 wird die Berechnung für den Zeitaufwand von Kommissionierung und Nachschub auf Wochenebene exemplarisch durchgeführt, die einzelnen Varianten unterscheiden sich lediglich durch geänderte Parameter.

$$S_1 = 5x4,3 + 5x0 + 5x5,2 + 0x0 + 5x8 \quad (2)$$

Die Summe S_1 an benötigter Arbeitszeit für diese Gruppen beträgt somit 17,47 Stunden täglich, oder 87,36 Stunden wöchentlich!

Um die Ergebnisse noch weiter zu verfeinern werden in den kommenden Kapiteln verschiedene Varianten der Definition der dynamischen Reservezone und deren Beschickung vorgestellt.

7.2 Vergleich der vorgestellten Methoden

Die Tabelle 10 dient als Überblick über die benötigten Arbeitszeiten je Vorgang pro Variante. Die Berechnungsgrundlagen sind dem Anhang (Tabelle 12 bis Tabelle 25) zu entnehmen, ebenfalls wird in diesen Tabellen die daraus benötigte Dimensionierung der Kommissionier- und Reservezonen zusammengefasst. Die Leistung der Schnellläufer je Variante wird aus Abbildung 19 entnommen, da diese mit der mittleren Distanz zwischen der dynamischen Reserve auf Bodenebene und der Größe der Kommissionierzone korreliert.

Abbildung 46 stellt die unterschiedlichen Arbeitsaufwände der vorgestellten Varianten in Stunden grafisch dar. Dabei wird ersichtlich, dass nicht jede Methode die Aufwände in Summe verringert – die erweiterte Betrachtung der beteiligten Rollen „Stapler“ und „Schnellläufer“ ist damit gerechtfertigt und korrekt.

Tabelle 10: Benötigte Arbeitszeiten je Vorgang pro Variante¹³¹

Variante	Vorgang	Rolle	Variable	Tage / Woche	Anzahl / Tag	h	h / Tag	h / Woche
Ist-Situation	Nachschub	Stapler	[STN1]	5	300	70	4,30	21,5
	Umlagerungen		[STU1]	0	0	0	0,00	0,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K1]	5		67%	5,36	26,8
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN1]	5	300	58	5,20	26,0
Umlagerungen	[SLU1]		0	0	0	0	0,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S1]								
Wöchentliche Lagerzonung	Nachschub	Stapler	[STN2]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU2]	0	0	0	0	0,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K2]	5		65%	5,20	26,0
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN2]	5	300	58	5,2	26,0
Umlagerungen	[SLU2]		1	200	200	0	1,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S2]								
dynamische Kommissionierung, dynamische Reserve über der Kommissionierzone, taggenaue Rücklagerung	Nachschub	Stapler	[STN3]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU3]	5	900	125	7,2	36,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K3]	5		40%	3,20	16,0
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN3]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU3]		0	0	0	0	0,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S3]								
dynam. Kommissionierung, dynam. Reserve über der Komm-zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages	Nachschub	Stapler	[STN4]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU4]	5	500	125	4	20,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K4]	5		47%	3,76	18,8
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN4]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU4]		0	0	0	0	0,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S4]								
dynam. Kommissionierung, dynam. Boxenreserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung	Nachschub	Stapler	[STN5]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU5]	5	450	125	3,6	18,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K5]	5		40%	3,20	16,0
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN5]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU5]		5	450	215	2,1	10,5	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S5]								
dynam. Kommissionierung, dynam. Boxenreserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages	Nachschub	Stapler	[STN6]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU6]	5	250	125	2	10,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K6]	5		47%	3,76	18,8
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN6]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU6]		5	250	208	1,2	6,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S6]								
dynam. Kommissionierung, dynam. Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung	Nachschub	Stapler	[STN7]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU7]	0	0	0	0	0,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K7]	5		40%	3,20	16,0
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN7]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU7]		5	900	209	4,3	21,5	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S7]								
dynam. Kommissionierung, dynam. Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages	Nachschub	Stapler	[STN8]	5	300	70	4,3	21,5
	Umlagerungen		[STU8]	0	0	0	0	0,0
	Fahranteil Komm.	Kommissionierer	[K8]	5		47%	3,76	18,8
	Kommissionieranteil			5		33%	2,64	13,2
	Nachschub	Schnellläufer	[SLN8]	5	300	175	1,7	8,5
Umlagerungen	[SLU8]		5	500	208	2,4	12,0	
Benötigte Wochenarbeitszeit [S8]								

¹³¹ Eigene Darstellung

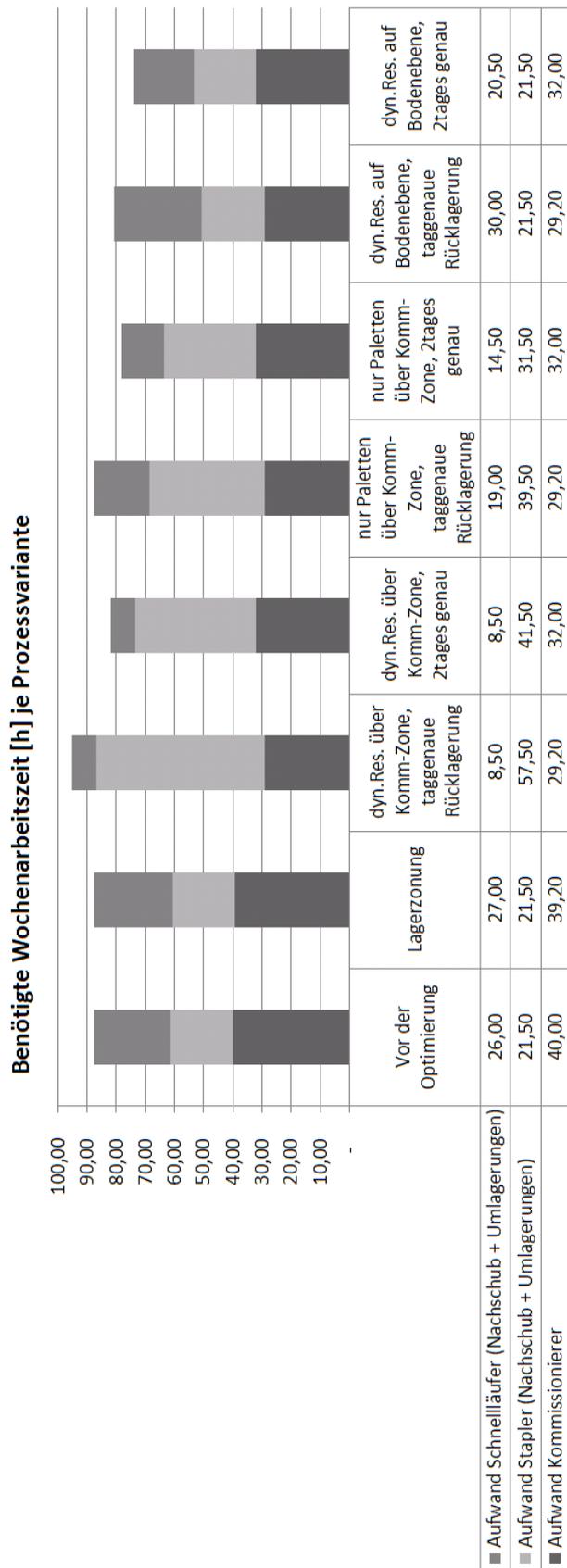


Abbildung 46: Entwicklung des Arbeitsaufwandes je Variante¹³²

¹³² Eigene Darstellung

Diese Auslastungen sind für einen definierten aktuell vorhandenen Personalstamm berechnet, durch abweichende Personalkapazität würde sich das Ergebnis entsprechend verändern.

Die Ergebnisse bei Verwendung der gegebenen Ausgangsdaten sind teilweise überraschend – eine Trennung von Schnell- und Langsamdrehern bringt in der Kommissionierung nur eine leichte Ersparnis, welche jedoch durch den zusätzlich benötigten wöchentlichen Umlageraufwand revidiert wird. Durch die weiterhin unflexible Nachschubsregelung über je einen fix pro Artikel definierten Kommissionierplatz kann nur in der Kommissionierung eine leichte Verbesserung erreicht werden. Dennoch sind die Wege für die Kommissionierer sehr weit, da die möglichen Stellplätze auf alle 50 Gassen verteilt sind – deshalb bringt eine Lagerzonung mit den Top 50% aller Artikel in Summe gesehen keine Reduktion der benötigten Arbeitszeit.

Die Variante der dynamischen Reservezone direkt über der Kommissionierzone bringt nur bei nicht taggleicher Rücklagerung eine leichte Verbesserung der benötigten Arbeitszeit. Die Schnellläufer benötigen weitaus weniger Arbeitszeit als zuvor, da die Nachschübe auf beliebige Plätze der Kommissionierzone abgestellt werden dürfen. Die Kommissionierer haben ebenfalls eine deutliche Verkürzung der Fahrzeit, und damit auch der benötigten Arbeitszeit. Allerdings ist der Mehraufwand der Gruppe „Stapler“ bei der taggleichen Rücklagerung mehr als doppelt so groß wie bisher, und durch die begrenzte Anzahl an benötigten Hochregalstaplern ein Engpass. Diese Variante ist deshalb nur bedingt zu empfehlen!

Das Splitten der dynamischen Reserve abhängig vom verwendeten LT-Typ bewirkt hingegen keine Erhöhung der benötigten Staplerstunden in diesem Ausmaß. Bei der täglichen Rücklagerung beträgt dieser bei der Rolle Stapler 4 Stunden, jedoch bei der Variante der Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages nur noch 2 Stunden. Der Arbeitsaufwand für die Schnellläufer wird trotz Mehraufwand an Arbeit geringer, da die Wartezeit für noch nicht durchführbare Nachschubaufträge entfällt. Hierbei sind bei der täglichen Rücklagerung ungefähr nur noch 4 Stunden (statt 5), und bei der nicht derart strikten Variante sogar nur noch 3 Stunden täglich notwendig.

Bei den gegebenen Daten lässt sich demnach das größte Einsparungspotential bei der Variante „komplette Bodenebene ist dynamische Reserve oder Kommissionierzone, die Umlagerungen finden unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages“ ausschöpfen. Von 87,5 Wochenstunden Arbeitszeit der gegebenen Ausgangssituation ließe sich demnach eine Reduktion auf 74 Wochenstunden erzielen, das bedeutet ein mögliches Einsparungspotential von ungefähr 15% auf die Rollen „Stapler“, „Schnellläufer“ und „Kommissionierer“ aufgeteilt!

Für die Rolle der Staplerfahrer ändert sich bei dieser Variante nichts, da die Lagerobjekte sobald einmal auf der Bodenebene nicht mehr in die statische Reserve eingelagert werden müssen. Die Kommissionierer allerdings haben alleine durch Verkürzung des Fahrweges einen um täglich ungefähr 2 Stunden Aufwand, und die Schnellläufer eine Stunde!

7.3 Nebeneffekte der vorgestellten Methoden

Die vorgestellten Methoden erzielen die Einsparungen der Bearbeitungszeit durch Reduktion der Fahrwege, und durch eine klare Taktung der Tätigkeiten. Speziell bei den Varianten der dynamischen Kommissionierung führt strikt sequentielles Abarbeiten von Kommissionierung, und anschließender Restrukturierung der Kommissionierzone zu geringen wechselseitigen Beeinflussungen der Rollen.

In der Ist-Situation werden Kommissionierer oft durch Stapler, welche entweder neu eingebuchte Lagerobjekte vom Wareneingang in die Reserve, oder den Nachschub von der Reserve auf die Bodenebene befördern, behindert. Ebenfalls stellen die Schnellläufer ein Hindernis in der Kommissionierung dar – bspw. ein zeitgerechter Nachschub nicht immer garantiert werden kann, oder weil der Schnellläufer erst noch den leeren Ladungsträger aus dem Kommissionierplatz entfernen muss um das Nachschublagerobjekt einlagern zu können.

Derartige Beeinflussungen können durch entsprechende Zonung der statischen Reserve verringert werden:

Der Zielkonflikt Hochregalstapler-Kommissionierer:

Hochregalstapler sperren eine Gasse vollständig, sobald sie darin arbeiten. Durch den fix vorgegebenen Kommissionierweg durch die Kommissionierreihenfolge muss entweder der Kommissionierer warten bis der Stapler sämtliche Umlagerungen des Ganges getätigt hat (oder der Stapler kurz den Gang verlässt um den Kommissionierer passieren zu lassen), oder der Kommissionierer setzt nach Entnahme seiner benötigten Ware entgegen der Soll-Fahrrichtung zurück in die nächste Gasse. Diese wiederum befährt er dann erneut gegen die Soll-Fahrrichtung, im schlechtesten Fall müssen deshalb fast zwei komplette Gassenlängen ohne Zugriffe in der falschen Richtung befahren werden. In Anbetracht der Gassenlänge von 73m bedeutet dies knapp eine Minute zusätzliche Fahrzeit für den Kommissionierer!

Zeitliche und räumliche Optimierung der Abläufe:

Die eingesetzten Hochregalstapler sind bedingt durch ihre Abmessungen sehr träge, und nur schwer zu manövrieren. Ein oftmaliger Gassenwechsel ist deshalb zu vermeiden! Durch die FPS, welche immer auf Basis des hinterlegten Kommissionierplatzes den optimalsten nächstgelegenen Reserveplatz berechnet, sind diese optimalen Reserveplätze im kompletten Hochregal verteilt, was wiederum eine Vielzahl an anzufahrenden Gassen bedeutet.

Bei der dynamischen Kommissionierung wird allerdings für jeden Artikel derselbe dynamische Kommissionierplatz in den Stammdaten hinterlegt. Dieser Platz dient lediglich als Referenz für die FPS, der tatsächliche Entnahmeplatz wird erst durch den Schnellläufer vergeben. Dies hat als Konsequenz, dass alle einzulagernden Lagerobjekte vom selben Kommissionierplatz aus die FPS berechnen lassen – dadurch wird die einzulagernde Ware zentriert auf die nächsten freien Plätze der statischen Reserve zugeteilt. Die laut FPS „ungünstigsten“ Reserveplätze bleiben damit aus Prinzip frei, sodass hier einige Regalfächer vollständig ohne Reserveware erwartet werden. Die Anzahl der nicht belegten Fächer kann wiederum als Lagerfüllgrad auch optisch interpretiert werden, und rechtzeitig vor Engpässen gegengesteuert werden – etwa durch gezieltes Verdichten von Lagerobjekten desselben Artikels.

Damit die FPS allerdings die Plätze der statischen Reserve direkt über der Kommissionierebene allerdings erst dann zur Einlagerung verwendet, wenn alle anderen Reserveplätze belegt sind, muss dies als „Einlagerstrategie“ angepasst werden - siehe Ab-

bildung 9. Damit wird der Platz über der Kommissionierzone längstmöglich frei gelassen, und die Stapler bewegen sich während der Kommissionierung lediglich in den Gassen der dynamischen Reserve.

In Diesen ist tendentiell ebenfalls nur wenig Verkehr, da die größte Zahl an Umlagerungen nach Beendigung der Kommissionierung erfolgen sollte – zu diesem Zeitpunkt ist die größtmögliche Anzahl an Kommissionierplätzen bereits leer, und die neuen Artikel können wegoptimiert eingelagert werden. Sollte dennoch als Ziel der FPS ein Reserveplatz über der Kommissionierzone ermittelt werden, so wird dieser Transport bis nach der Kommissionierung geparkt und erst dann beendet. Ebenso werden etwaige für den kommenden Tag benötigte Nachschübe erst nach Beendigung der Kommissionierung durchgeführt – hier ergibt sich die Möglichkeit von effizienten Doppelspielen des Staplers, was erneut Zeit spart!

Noch effizienter wäre das Einsetzen der Schnellläufer in Form von Vierfach-Spielen. Innerhalb der Gassen ist es aus Platzgründen nur möglich ein Lagerobjekt zu transportieren. Da die Flurfördergeräte aber bis zu zwei Lagerobjekte gleichzeitig aufnehmen können wäre es sinnvoll, die umzulagernden Objekte zuerst einzeln auf einer Übergabzone zu sammeln, um danach (bzw. parallel dazu) diese in Form von Sammeltransporten zur Kommissionierzone gebracht. Dort werden die Lagerobjekte dann wieder einzeln zum nächsten freien Lagerplatz umgelagert, und dort gebucht. Umgekehrt wäre dies ebenfalls möglich, hier müssten die aus der Kommissionierzone zu entfernenden Lagerobjekte zuerst außerhalb der Gasse gesammelt, und danach in Form von Sammeltransporten in die dynamische Reserve verbracht werden!

Durch Verzicht auf Paletten als Ladungsträger wäre es sogar möglich, die Anzahl an benötigten Paletten im Lager drastisch zu reduzieren. Dies würde eine Verringerung des gebundenen Kapitals darstellen! Der eventuell beim Wareneingang anfallende Mehraufwand, sollte die Ware bereits ordnungsgemäß sortenrein palettiert angeliefert werden, müsste hierfür allerdings gegengerechnet werden – ebenso der einmalige Investitionsbedarf in zusätzliche Rollboxen.

Durch die Tatsache, dass Kommissionierer und Schnellläufer dieselben Betriebsmittel verwenden, ist es sogar möglich dass Kommissionierer nach Abarbeitung der Komm-Aufträge ebenfalls Aufgaben der Schnellläufer übernehmen, und so ebenfalls auch mithelfen die anfallenden Umlagerungen möglichst rasch durchzuführen!

Damit ergibt sich das in Tabelle 11 dargestellte Zeitraster. Sollte dieser Zeitplan eingehalten werden gibt es prozessual keine Behinderungen mehr zwischen den verschiedenen Rollen, und die Verfügbarkeit der für die Kommissionierung benötigten Mengen ist sichergestellt.

Tabelle 11: Zeitraster Tätigkeiten

Rolle \ Arbeits- zeit	6:00 – 8:00	8:00 – 10:00	10:00 – 12:00	13:00 – 14:00	14:00 - 15:00
Stapler	Einlagerung in statische Reserve (über dynamische Res.)	Wie davor	Wie davor	Einlagerung in stat. Res über 2. Hälfte Komm-Zone	Einlagerung in stat. Res über 1. Hälfte Komm-Zone
			Nachschub (aus stat. Res. über dyn. Res.)	NS (aus stat. Res. über 2. Hälfte Komm-Zone)	NS (aus stat. Res. über 1. Hälfte Komm-Zone)
Schnell- läufer	Zugeordnet zu Wareneingang	Wie davor	Wie davor	Umlagerungen in die 1. Hälfte der Komm-Zone	Umlagerungen in die 2. Hälfte der Komm-Zone
				Leergut aus 1. Hälfte Komm-Zone entfernen	Leergut aus 2. Hälfte Komm-Zone entfernen
Kommis- sionierer	Abarbeiten Komm- Aufträge	Wie davor	Wie davor	Einsatz als Schnellläufer	Wie davor

8 Conclusio

Diese Diplomarbeit mit dem Titel „Formen der Kommissionierbereitstellung in Handelslagern“ hat das Ziel, die in der Praxis angewandten Methoden der Lagerstrukturierung und der Prozessmodellierung darzustellen. Dabei wurde eine Branchenfokussierung auf ein Möbellager vorgenommen, und im Rahmen einer Fallstudie verschiedene Möglichkeiten der Reorganisation vorgestellt und Kennzahlen zur jeweiligen Leistung errechnet.

Im Zuge der Literaturrecherche wurden unterschiedliche Definitionen von statischer und dynamischer Bereitstellung, sowie von den Prinzipien „Mann zur Ware / Ware zum Mann“ identifiziert. Zusätzlich wurde festgestellt dass Mischformen, wie etwa der Zugriff auf bewegte Ware, mit den bisher vorgenommenen Klassifizierungen nicht ausreichend benannt werden können. Dies zeigt Handlungsfelder für weitere Untersuchungen bzw. Definitionen.

Bei der Durchführung der Fallstudie wurden Schwächen der Nachschubsteuerung identifiziert – durch eine ungenügend genaue Taktung sind Kommissionierer teilweise gezwungen innerhalb eines Kommissionierauftrages denselben Stellplatz mehrfach anzufahren, während der Nachschub ebenfalls durch Wartezeiten unnötig verlängert wird. In diesen Fällen entspricht die Ist-Durchlaufzeit nicht der rechnerisch notwendigen Durchlaufzeit, deshalb wurden der Nachschub und die Kommissionierung als zu optimierende Prozessgruppe zusammengefasst.

Durch intelligente Zonung des Lagers in Kommissionierbereich, dynamische Reserve und statische Reserve, sowie einer dynamischen Kommissionierplatzzuordnung ist es bei der vorliegenden Fallstudie auch ohne Investitionsaufwand möglich über 15% der benötigten Arbeitszeit im Bereich Nachschub und Kommissionierung einzusparen. Dies bedeutet höhere spezifische Leistung je Mitarbeiter, bei gleichzeitiger zeitlicher Trennung von Tätigkeiten je Bereich, und stellt damit eine klare Handlungsempfehlung zur Reorganisation der Lagerprozesse dar.

9 Literaturverzeichnis

Ackerman, Kenneth B. (1997), Practical Handbook of warehousing (4th edition), Springer-Verlag, Berlin

Bartholdi, J.J., Hankman, S.T. (2007), Warehouse and distribution science, http://www.covesys.com/docs/appnotes/warehouse_and_distribution_science.pdf, 02.09.2013, 00:08 MEZ

Berg, J.P. (1998), forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments, European Journal of Operational Research 111, Elsevier, S. 98-113

Bogaschewsky, R., Rollberg, R. (1998), Prozeßorientiertes Management, Springer-Verlag

Bozer, Y.A. (1985), Optimizing through performance in designing order picking systems, Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, USA

Bynzer, H., Johansson, M.I. (1996), Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times, International Journal of Production Economics, S. 595-604

Caron, F., Marchet, G., Perego, A. (1998), Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-parts systems, international Journal of production economics 36, S. 713-732

Coyle, JJ, Bardi, EJ, Langley, DJ (1996), The management of business logistics, St. Paul, MN: West

Daniels, R.L., Rummel, J.L., Schantz, R. (1998), A model for warehouse order picking, European Journal of Operational Research 105, Elsevier, S. 1-17

Dekker, R., De Koster, M.B.M., Roodbergen, K.J., Van Kalveveen, H. (2004), Improving order-picking response time at Ankor's warehouse, Interfaces 34, S. 303-313

DIN EN 15635 (2009), Deutsche Industrie Norm, Beuth-Verlag, Berlin

Drury, J. (1988), Towards more efficient order picking, IMM Monograph No. 1, The Institute of Materials Management, Cranfield, UK

Ehrmann, H. (1997), Logistik, Kiehl

Frazelle, E.H., Hackman, S.T., Passy, U., Platzman, L.K. (1994), The forward-reserve problem, Optimization in Industry 2, S. 4361 ff.

Frazelle, E.H., Sharp, G.P. (1989), Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation, Industrial Engineering 21, S. 33-37

Gademann, A.J.R.M., Van Den Berg, J.P., Van Der Hoff, H.H. (2001), An order batching algorithm for wave picking in a parallel aisle warehouse, *IIE Transactions* 33, S. 385-398

Gademann, N., Van De Velde, S. (2005), Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse, *IIE Transactions* 37, S. 63-75

Gagliardi, J.P., Ruiz, A., Renaud, J. (2008), Space allocation and stock replenishment synchronization in a distribution center, *International Journal of Production Economics* 115, S. 19-27

Gibson, D.R., Sharp, G.P. (1992), Order batching procedures, *European Journal of Operational Research* 58, S. 57-67

Goetschalckx, M., Ratliff, H.D. (1988), Order picking in an aisle, *IIE Transactions* 20, S. 53-62

Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F. (2007), Research on warehouse operation: A comprehensive review, *European Journal of Operational Research* 177, S. 1-21

Gudehus, T. (1973), *Grundlagen der Kommissioniertechnik*, W. Girardet, Essen

Gudehus, T. (2012a), *Logistik 1, Grundlagen, Verfahren und Strategien*, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Gudehus, T. (2012b), *Logistik 2, Netzwerke, Systeme und Lieferketten*, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Gue, K.R., Meller, R., Skufca, J.D. (2006), The effects of pick density on order picking areas with narrow aisles, *IIE Transactions* 38, S. 859-868

Hackmann, S.T., Rosenblatt, M.J. (1990), Allocating items to an automated storage and retrieval system, *IIE Transactions* 22

Hausman, W.H., Schwarz, L.B., Graves, S.C. (1976), Optimal storage assignment in automatic warehousing systems, *Management Science* 6, S. 629-638

Heskett, J.L. (1963), Cube-Per-Order Index – A key to warehouse stock location, *Transportation and distribution Management* 3, S. 27-31

Ho, Y.C., Chien, S.P. (2006), A comparison of two zone-visitation sequencing strategies in a distribution center, *Computers and Industrial Engineering* 50, S. 426-439

Ho, Y.C., Liu, C.F. (2005), A design methodology for converting a regular warehouse into a zone-picking warehouse, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers* 22, S. 332-345

Jane, C.C., Lai, Y.W. (2005), A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system, *European Journal of Operational Research* 166, S. 489-496

- Jarvis, J.M., McDowell, E.D. (1992), Optimal product layout in an order picking warehouse, *IIE Transactions* 23, 93-102
- Jewkes, E., Lee, Ch., Vickson, R. (2004), *Computers & Operations Research* 31, Elsevier, S. 623-635
- Jodin, D., ten Hompel, M. (2005), *Sortier- und Verteilsysteme*, Springer-Verlag, Berlin
- Jünemann, R. (1989), *Materiafluß und Logistik – Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen*, Springer-Verlag
- Jünemann, R., Schmidt, T. (1999), *Materialflußsysteme – Systemtechnische Grundlagen*, 2. Auflage, Berlin, Springer-Verlag
- Koster, de Rene, Tho, Le-Duc, Kees, Jan (2007), Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research* 182, Elsevier, S. 481-501
- Muppani, V.R., Adil, G.K. (2008), A branch and bound algorithm for class based storage location assignment, *European Journal of Operational Research* 189, S. 492-507
- Muralidharan, B., Linn, R., Pandit, R. (1995), Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS, *International Journal of Production Research* 33, S. 1161-1172
- Napolitano, M. (2008), Sitting tight – 2008 warehouse/DC operations survey results, *Logistics Management* 47, S. 47-50
- Pan, J.C.-H., Shih, P.-H., Wu, M.-H. (2012), *Computers & Industrial Engineering* 62, S. 527-535
- Petersen, C.G., Gerald, A. (2004), A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking, *International Journal of Production Economics* 92, S. 11-19
- Ratliff, H.D., Rosenthal, A.S. (1983), Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem, *Operations Research* 31, S. 507-521
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000), Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research* 122, Elsevier, S. 515–533
- Schulte, C. (1999), *Logistik – Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses*, Vahlen, S. 181 ff.
- Schulte, G. (1996), *Material- und Logistikmanagement*, Oldenbourg
- Ten Hompel, M. (2008), *Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Thaler, K. (2000), Supply Chain Management, Prozessoptimierung in der logistischen Kette, Fortis

Thonemann, U.W., Brandeau, M. (1998), Note: optimal storage assignment policies for automated storage and retrieval systems with stochastic demands, Management Science 44, S.142 – 148

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., Trevino, J. (1996), Facilities planning, John Wiley, New York

VDI 3590 Blatt 1 – Kommissioniersysteme – Grundlagen (1994), Verein Deutscher Ingenieure, Beuth-Verlag, Berlin

VDI 3591 – Transportleitsysteme (1998), Verein Deutscher Ingenieure, Beuth-Verlag, Berlin

Vickson, R., Lu, X. (1998), Optimal product and server locations in one-dimensional storage racks, European Journal of Operational Research 105, S. 18-28

Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D. (1990), The Machine Changed the World, Rawson Associates, New York, NY.

http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_5502_de-DE___pdf___link/1417_ECE_220_225_D.PDF, 15.8.2013, 21:00 MEZ

http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_5802_de-DE___pdf___link/1952_ETX_513_515_D.PDF, 15.8.2013, 21:03 MEZ

<http://www.premierbelgium.com/#/WELKOM-01-00/>, 23.8.2013, 16:48 MEZ

<http://www.ssi-schaefer.de/foerder-und-kommissioniersysteme/automatische-kommissionierung/a-frame.html>, 3.9.2013, 22:03 MEZ

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7702/kostenremanenz-v6.html>, 29.8.2013, 22:20 MEZ

Anhang

Variante wöchentliche Lagerzonung:

Tabelle 12: Kennzahlen Lagerzonung

Variante „wöchentliche Lagerzonung“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	65
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	200 (pro Woche)
Fahrweg pro Umlagerung [m]	148
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	237/7 + 1462/53
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	-
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	-
Größe statische Reserve [Fächer]	6800
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	450 + 2850

Tabelle 13: Spezifische Leistung Lagerzonung

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „Lagerzonung“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	-
Schnellläufer (Nachschub)	58
Schnellläufer (Umlagerung)	200

Variante dynamische Reserve über der Kommissionierzone, taggenaue Rücklagerung:

Tabelle 14: Kennzahlen dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung

Variante „dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	40
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	900
Fahrweg pro Umlagerung [m]	-
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	782 / 23
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	1173
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	-

Größe statische Reserve [Fächer]	6545
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1264

Tabelle 15: Spezifische Leistung dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	-

Variante dynamische Reserve über der Kommissionierzone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages:

Tabelle 16: Kennzahlen dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung übernächster Kommissioniertag

Variante „dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	47
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	500
Fahrweg pro Umlagerung [m]	-
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	884 / 26
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	972
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	-
Größe statische Reserve [Fächer]	6644
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1468

Tabelle 17: Spezifische Leistung dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung übernächster Kommissioniertag

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Reserve über Komm-Zone, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	-

Variante dynamische Palettenreserve über Komm-Zone, dynamische Boxenreserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung:

Tabelle 18: Kennzahlen dynamische Reserve gesplittet, taggenaue Rücklagerung

Variante „dynamische Palettenreserve über Komm-Zone, dynamische Boxenreserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	40
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	900
Fahrweg pro Umlagerung [m]	119
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	782 / 23
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	586
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	586
Größe statische Reserve [Fächer]	6546
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1264

Tabelle 19: Spezifische Leistung dynamische Reserve gesplittet, taggenaue Rücklagerung

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Reserve über Komm-Zone, taggenaue Rücklagerung“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	215

Variante dynamische Palettenreserve über Komm-Zone, dynamische Boxenreserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages:

Tabelle 20: Kennzahlen dynamische Reserve gesplittet, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Variante „dynamische Palettenreserve über Komm-Zone, dynamische Boxenreserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	47
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	500
Fahrweg pro Umlagerung [m]	127

Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	884 / 26
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	442
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	442
Größe statische Reserve [Fächer]	6732
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1468

Tabelle 21: Spezifische Leistung dynamische Reserve gesplittet, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Palettenreserve über Komm-Zone, dynamische Boxenreserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	208

Variante dynamische Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung:

Tabelle 22: Kennzahlen dynamische Reserve auf Bodenebenen, taggenaue Rücklagerung

Variante „dynamische Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	40
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	900
Fahrweg pro Umlagerung [m]	135
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	782 / 23
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	-
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	918
Größe statische Reserve [Fächer]	6800
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1264

Tabelle 23: Spezifische Leistung dynamische Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Reserve auf Bodenebene, taggenaue Rücklagerung“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125

Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	209

Variante dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages:

Tabelle 24: Kennzahlen dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Variante „dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages“	
Nachschub [Transporte]	300
Fahranteil Kommissionierer [%]	47
Umlagerungen durch Optimierung [Anzahl]	500
Fahrweg pro Umlagerung [m]	135
Größe Komm-Zone [Fächer / Gassen]	884 / 26
Größe dynamische Reserve über Komm-zone [Fächer]	-
Größe dynamische Reserve auf Bodenebene [Fächer]	816
Größe statische Reserve [Fächer]	6800
Artikel in der Komm-Zone [Anzahl]	1468

Tabelle 25: Spezifische Leistung dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Kommissioniertages

Spezifische Leistung der Arbeitsgruppen bei Variante „dynamische Reserve auf Bodenebene, Rücklagerung unter Berücksichtigung des übernächsten Komm-Tages“ [h ⁻¹]	
Stapler (Nachschub)	70
Stapler (Umlagerung – Doppelspiel)	125
Schnellläufer (Nachschub)	175
Schnellläufer (Umlagerung)	208