



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## DISSERTATION

# Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Doktors der technischen Wissenschaften

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn**

(Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften)

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Georg Kartnig**

(Technische Universität Wien, Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung)

**Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge**

(Universität Rostock, Lehrstuhl für Fertigungstechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Dipl.-Ing. Philip Ramprecht**

Matr.Nr. 00926123

Studienkennzahl: 786740

Wien, im September 2020

---

Dipl.-Ing. Philip Ramprecht



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## Dissertation

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Dissertation nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Dissertationsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im September 2020

---

Dipl.-Ing. Philip Ramprecht

## Danksagung

Diese wissenschaftliche Arbeit wurde im Rahmen meiner Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projektleiter und Gruppenleiter bei der Fraunhofer Austria Research GmbH verfasst.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c., Leiter des Bereichs Betriebstechnik und Systemplanung am Institut für Managementwissenschaften und Geschäftsführer von Fraunhofer Austria. Des Weiteren danke ich den beiden Gutachtern Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Georg Kartnig und Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge.

Insbesondere gilt mein Dank Dr. Rainer Pascher für die hervorragende Zusammenarbeit und die operative Unterstützung dieser Arbeit. Des Weiteren danke ich meinem Vorgesetzten Martin Riester, MBE für die tatkräftige Unterstützung in der Themenfeldentwicklung.

Meinen Eltern Caroline und Michael sowie meinen Geschwistern Julia und Andreas widme ich diese Arbeit. Eure Unterstützung hat diese Arbeit ermöglicht.

## Kurzfassung

Lager- und Kommissioniersysteme sind in ihrer Rolle als Knotenpunkte maßgebend für die Leistungsfähigkeit und die Kostenstruktur moderner Logistiknetzwerke. Insbesondere für große Handelsunternehmen entscheiden die Effizienz und Effektivität dieser Systeme häufig über den wirtschaftlichen Erfolg bzw. Misserfolg. Als einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige Europas stellt der Handel mit Lebensmitteln aufgrund spezifischer Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung dieser verderblichen Produkte die Lagerlogistik vor zusätzliche Herausforderungen. Wegen der hohen Komplexität und des Zeitdrucks, vor allem während der konzeptionellen Planungsphase, sind zahlreiche Lager- und Kommissioniersysteme in der Praxis nicht adäquat ausgelegt. Dies äußert sich unter anderem in unzureichender Erfüllung der Kundenanforderungen, Verschwendung von Raum und Ressourcen sowie erhöhten Betriebskosten.

Aufgrund der hohen praktischen Relevanz sind zahlreiche wissenschaftliche Beiträge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen gewidmet. Es besteht allerdings eine große Diskrepanz zwischen Realität und Forschung: In der Praxis werden Entscheidungen meist vollkommen unabhängig vom aktuellen wissenschaftlichen Stand rein auf Basis von individuellen Erfahrungswerten getroffen. Ein Grund hierfür ist die starke Tendenz der Forschung zur isolierten Betrachtung einzelner Sub-Planungsprobleme. Es existiert kein Planungsmodell, das diese stark interdependenten Probleme iterativ behandelt. Des Weiteren fehlt es an praxistauglichen Werkzeugen, die in ein ganzheitliches Vorgehensmodell integriert sind. Speziell für den Lebensmittelgroßhandel werden Modelle benötigt, die die lebensmittelspezifischen Anforderungen hinsichtlich Lagerung und Kommissionierung im Zuge der konzeptionellen Planung berücksichtigen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells, um die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel sicherzustellen. Dies erfolgt durch die iterative Betrachtung aller fünf Sub-Planungsprobleme im Zuge der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Zusätzlich werden lebensmittelspezifische Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung berücksichtigt und praxistaugliche Werkzeuge in die einzelnen Planungsschritte integriert. Gemäß des Design-Science-Ansatzes wird ein Artefakt in Form eines sechstufigen Vorgehensmodells entwickelt. Zur Demonstration und Evaluierung des Modells wird dieses in Form eines Fallbeispiels bei einem österreichischen Lebensmittelgroßhändler angewandt.

Schlagnworte: Lagersysteme, Kommissioniersysteme, Lebensmittelgroßhandel, Logistikkonzeptplanung, Automatisierung, Datenintegration

## Abstract

In their role as nodes warehousing and order-picking systems are decisive for the performance and cost structure of modern logistic networks. Especially for large retail companies, the efficiency and effectiveness of these systems often determine the economic success or failure. As one of the most important economic sectors in Europe, the food trade results in additional challenges for warehouse logistics due to specific requirements regarding the storage and picking of these perishable products. Due to the high complexity and time pressure, especially during the conceptual planning phase, many warehousing and order-picking systems in practice are not designed adequately. This manifests itself, among other things, in inadequate fulfilment of customer requirements, waste of space and resources and increased operating costs.

Due to the high practical relevance, numerous scientific contributions are dedicated to the planning of warehousing and order-picking systems. However, there is a high discrepancy between reality and research: In practice, decisions are usually made independently of the current scientific status, purely based on the planner's individual experience. One reason for this is the strong tendency of research to address individual isolated sub-planning problems. There is no planning model that considers these highly interdependent problems in an iterative way. Furthermore, there is a lack of practical tools that would have to be integrated into a holistic planning model. Especially for the food wholesale trade, models are needed that regard the food-specific requirements regarding storage and picking during the conceptual planning phase.

The aim of this thesis is to ensure the performance and economic efficiency of warehousing and order-picking systems in the food wholesale sector. This is achieved by the integrated consideration of all five sub-planning problems in the course of the conceptual planning of warehousing and order-picking systems. In addition, food-specific requirements regarding storage and picking are considered and practical tools are integrated into the individual planning steps. According to the design-science-approach, this objective is addressed by the development of an artefact in the form of a process model in six steps. For demonstration and evaluation of the model is applied to a case study in the form of an Austrian food wholesaler.

Keywords: storage systems, picking systems, food wholesale, logistics concept planning, automation, data integration

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Allgemeine Problemstellung .....	4
1.3	Allgemeine Zielsetzung.....	4
1.4	Aufbau der Arbeit.....	5
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs .....</b>	<b>7</b>
2.1	Bedeutung und Trends in der Lagerlogistik .....	7
2.2	Lagersysteme – Definition und Grundlagen.....	9
2.2.1	Einleitung und Begriffsdefinitionen.....	9
2.2.2	Einteilung von Lagersystemen.....	11
2.2.3	Lagertechnik .....	13
2.2.4	Betriebsstrategien für Lagersysteme .....	18
2.2.5	Regionale Unterschiede.....	20
2.3	Kommissioniersysteme – Definition und Grundlagen .....	21
2.3.1	Einleitung und Begriffsdefinitionen.....	21
2.3.2	Kommissionierverfahren .....	23
2.3.3	Kommissioniertechnik .....	26
2.3.4	Betriebsstrategien für Kommissioniersysteme .....	26
2.4	Logistikplanung – Definition und Grundlagen .....	27
2.4.1	Einleitung und Begriffsdefinitionen.....	27
2.4.2	Planung von Lager- und Kommissioniersystemen.....	28
2.5	Eingrenzung des Untersuchungsbereichs .....	29
2.5.1	Festlegung der Systemgrenzen .....	29
2.5.2	Eingrenzung nach Lagerart.....	29
2.5.3	Eingrenzung von Lager- und Kommissioniertechnik.....	30
2.5.4	Eingrenzung der Kommissionierverfahren .....	31
2.5.5	Planungsbezogene Eingrenzung .....	31
2.6	Zusammenfassung des Kapitels.....	32
<b>3</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik.....</b>	<b>33</b>
3.1	Planungsart nach Untersuchungszeitraum .....	34
3.2	Lösungsmethoden .....	36
3.3	Sub-Planungsprobleme .....	36
3.4	Kommissionierverfahren .....	38
3.5	Praxistaugliche Werkzeuge .....	39
3.6	Lebensmittelspezifische Anforderungen .....	41
3.7	Planungsmodelle für Lager- und Kommissioniersysteme .....	43

3.8	Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Praxis.....	47
3.9	Zusammenfassung des Kapitels.....	49
<b>4</b>	<b>Spezifische Problemstellung, Zielsetzung und Anforderungen an das Vorgehensmodell.....</b>	<b>50</b>
4.1	Spezifische Problemstellung.....	50
4.2	Spezifische Zielsetzung.....	52
4.3	Anforderungen an das Vorgehensmodell.....	53
4.4	Forschungsstrategie und -methoden.....	54
4.5	Zusammenfassung des Kapitels.....	57
<b>5</b>	<b>Entwicklung des Vorgehensmodells.....</b>	<b>58</b>
5.1	Schritt 1   Definition der Planungsgrundlagen und einer multiattributiven Zielwertefunktion.....	64
5.1.1	Definition der Planungsrestriktionen.....	64
5.1.2	Definition der Wachstumskennzahlen.....	64
5.1.3	Definition einer multiattributiven Zielwertefunktion.....	65
5.1.4	Ergebnisse aus Schritt 1.....	68
5.2	Schritt 2   Analyse der Ist-Prozesse und Bildung von Lebensmittelprozesssträngen.....	68
5.2.1	Analyse der Ist-Prozesse.....	69
5.2.2	Definition von Prozesssträngen hinsichtlich der lebensmittelspezifischen Anforderungen.....	70
5.2.3	Ergebnisse aus Schritt 2.....	74
5.3	Schritt 3   Datenintegration und Ableitung von Durchsatz- und Bestandsanforderungen.....	75
5.3.1	Abstimmung von Datenanforderungen und -verfügbarkeit.....	75
5.3.2	Datenintegration.....	75
5.3.3	Bestimmung von Durchsatz- und Bestandsanforderungen.....	82
5.3.4	Ergebnisse aus Schritt 3.....	92
5.4	Schritt 4   Vorauswahl von Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik.....	92
5.4.1	Vorauswahl der Kommissionierverfahren.....	92
5.4.2	Vorauswahl von Lager- und Kommissioniertechnik.....	93
5.4.3	Ergebnisse aus Schritt 4.....	100
5.5	Schritt 5   Generierung und Auslegung der Lösungsalternativen.....	100
5.5.1	Kombination von Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik zu Lösungsalternativen.....	100
5.5.2	Dimensionierung der Funktionsbereiche.....	101
5.5.3	Anordnung der Funktionsbereiche zu einem Gesamtlayout je Lösungsalternative.....	114

5.5.4	Dimensionierung zusätzlicher Flächen für Verkehrswege, Förder- und Sortiertechnik .....	118
5.5.5	Ergebnisse aus Schritt 5 .....	119
5.6	Schritt 6   Kalkulation der Zielwerte je Alternative zur Lösung des Entscheidungsproblems .....	119
5.6.1	Bewertung diskreter Ausprägungen der Zielplanungsattribute.....	119
5.6.2	Kalkulation kontinuierlicher Ausprägungen der Zielplanungsattribute.....	120
5.6.3	Bewertung der Lösungsalternativen und Bestimmung einer Vorzugsvariante .....	131
5.6.4	Ergebnisse aus Schritt 6 .....	133
5.7	Zusammenfassung des Kapitels.....	134
<b>6</b>	<b>Demonstration und Evaluierung des Modells anhand eines Fallbeispiels .....</b>	<b>135</b>
6.1	Schritt 1 des Vorgehensmodells .....	135
6.2	Schritt 2 des Vorgehensmodells .....	136
6.3	Schritt 3 des Vorgehensmodells .....	137
6.4	Schritt 4 des Vorgehensmodells .....	140
6.5	Schritt 5 des Vorgehensmodells .....	145
6.6	Schritt 6 des Vorgehensmodells .....	153
6.7	Zusammenfassung des Kapitels.....	161
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>162</b>
7.1	Diskussion der allgemeinen Zielsetzung .....	162
7.2	Diskussion der forschungsleitenden Fragen.....	163
7.3	Diskussion der Forschungshypothese.....	169
7.4	Diskussion der Anforderungen an das Vorgehensmodell.....	170
7.5	Zusammenfassung des Kapitels.....	172
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>174</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>177</b>
9.1	A.1: Lagerung von Lebensmitteln .....	177
9.2	A.2: Datenanforderung und Datenintegration .....	180
9.3	A.3: Generierung von Lösungsalternativen.....	184
9.4	A.4: Lösung des Entscheidungsproblems.....	186
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>187</b>
<b>11</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>196</b>
<b>12</b>	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>203</b>
<b>13</b>	<b>Formelzeichen.....</b>	<b>205</b>

---

<b>14</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>208</b>
<b>15</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>210</b>
<b>16</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>213</b>

# 1 Einleitung

„*Design of warehousing and distribution systems is more an art than a science.*“  
(Govindaraj et al. 2000a, S. 1099)

Die vorliegende Arbeit ist der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen am Beispiel des Lebensmittelgroßhandels gewidmet. Im Fokus steht die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur iterativen Betrachtung der einzelnen Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung von Lebensmitteln (siehe Kapitel 5). Die Konzeptplanung kann gemäß Gu et al. (2010) in folgende fünf Sub-Planungsprobleme unterteilt werden (siehe auch Kapitel 2):

<b>1. Gesamtstruktur</b>	Anordnung der Funktionsbereiche zu einer Gesamtstruktur
<b>2. Dimensionierung</b>	Dimensionierung des Lagers und der Funktionsbereiche
<b>3. Layoutierung</b>	Layoutierung der Funktionsbereiche
<b>4. Technikauswahl</b>	Auswahl von Lager- und Kommissioniertechnik
<b>5. Betriebsstrategieauswahl</b>	Auswahl von Lager- und Kommissionierstrategien

**Abbildung 1: Die fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (eigene Darstellung nach Gu et al. 2010, S. 540)**

Nach der Entwicklung des Vorgehensmodells wird dieses im Kapitel 6 anhand eines Fallbeispiels bei einem österreichischen Lebensmittelgroßhändler demonstriert und evaluiert. In diesem Kapitel wird die aktuelle Ausgangssituation in Hinblick auf die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sowie den Lebensmittelgroßhandel umrissen. Die anschließende Ableitung der allgemeinen Problemstellung dient als Grundlage für die Explikation des Problems gemäß der in Kapitel 4 gewählten Forschungsmethode. Auf die Beschreibung der allgemeinen Zielsetzung folgt eine grobe Übersicht über den Gesamtaufbau der vorliegenden Arbeit.

## 1.1 Ausgangssituation

Im Zuge des starken Wachstums der globalisierten Märkte des 21. Jahrhunderts nimmt die Bedeutung der Logistik in ihrer Rolle als Grundsäule der weltweiten Wirtschaft stetig zu. Die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Supply Chain ist zumeist maßgebend für den Erfolg bzw. Misserfolg des zugehörigen Unternehmens. Die Effektivität und Effizienz logistischer Aktivitäten innerhalb dieser Netzwerke sind wiederum wesentlich von dem Leistungsvermögen der einzelnen Knotenpunkte des Netzes abhängig. Diese

Netzknoten stellen in Form von Lager- und Kommissioniersystemen die Engpässe der gesamten Supply Chain dar und bestimmen daher in hohem Maße über die Performanz des gesamten Logistiknetzwerkes (vgl. Gue et al. 2012, S. 795; Sooksaksun et al. 2012, S. 3; Bartholdi und Hackmann 2019, S. 271; Mourtzis et al. 2019, S. 574ff.).

Neben der Leistungsfähigkeit moderner Distributionsnetze beeinflussen die zugehörigen Lager- und Kommissioniersysteme auch deren Wirtschaftlichkeit in hohem Maße. Operative Lager- und Kommissionierprozesse verursachen ca. 25 % der Gesamtlogistikkosten in europäischen Unternehmen. Werden neben den rein operativen Prozesskosten auch die Lagerhaltungskosten berücksichtigt, sind ca. 40 % der Gesamtlogistikkosten auf Lager- und Kommissioniersysteme zurückzuführen. Zusätzlich zu den laufenden Betriebskosten bedeuten große Distributionszentren im Normalfall auch die Bindung von hohen Kapitalsummen in Form von Anlagevermögen. Diese meist mehrere Millionen hohen Investitionssummen können sich erst über mittel- bis langfristige Zeitspannen rentieren. Lagerhallen werden beispielsweise im Normalfall über einen Zeithorizont von ca. 25 Jahren und die zugehörige Lagertechnik über zumindest zehn Jahre abgeschrieben (vgl. Baker 2008, S. 28; Kostrzewski 2014, S. 258; Roodbergen et al. 2014, S. 3306f.; vgl. Azadeh et al. 2018, S. 1f.; Mourtzis et al. 2019, S. 575).

Aufgrund der hohen in Form von gebundenem Kapital anfallenden Kosten wurden Lagersysteme in der Vergangenheit meist als reine wirtschaftliche Belastung angesehen. In den 1990er-Jahren fungierten Lagersysteme ausschließlich als Warenspeicher. Diese Rolle hat sich heute fundamental geändert. Durch den Fortschritt in der Telekommunikations- und Computertechnik wurden aus statischen Lagerhallen moderne Distributionszentren. Diese übernehmen zusätzliche Funktionen wie die Konsolidierung von Gütern zur Reduktion von Transportkosten, die Kommissionierung zur Erfüllung von individuellen Kundenaufträgen sowie Value-Added-Services und Spezial-Verpackungen zur Erhöhung des Servicegrades für die Kundinnen und Kunden. Leistungsfähige Lager- und Kommissioniersysteme gelten daher als essenzieller Wettbewerbsvorteil und somit als besonders wichtiges, strategisches Supply-Chain-Element (vgl. Faber et al. 2002, S. 381f.; Kembro et al. 2018, S. 891; Bartholdi und Hackmann 2019, S. 271f.).

Neben neuen Technologien beeinflusst auch die zunehmende Kundenorientierung moderner Unternehmen die Struktur heutiger Lager- und Kommissioniersysteme. Distributionszentren werden zusehends zu dem Schlüsselement für den Kundenservice im logistischen Dienstleistungssektor. Als wichtiges Bindeglied zu den Endverbraucherinnen und Endverbrauchern erwachsen neue Herausforderungen für heutige Lager- und Kommissioniersysteme. Moderne Entwicklungen wie E-Commerce resultieren in verschärften Anforderungen hinsichtlich Sortimentsgröße, Verfügbarkeit,

Bestellhäufigkeit, Auslieferzeit, Mindestbestellgröße, Verpackungsqualität und Fehlerquoten. Hinsichtlich der operativen Lager- und Kommissionierprozesse bedeutet dies unter anderem verkürzte Vorlauf- und Durchlaufzeiten sowie erhöhten Arbeitsaufwand (vgl. Cakmak et al. 2012, S. 1426; Manzini et al. 2015, S. 711; de Koster et al. 2017, S. 6327f.; Karim et al. 2018, S. 152).

Für Handelsunternehmen sind Lager- und Kommissioniersysteme als Puffer zwischen der Nachfrage der Kundinnen und Kunden und dem Angebot der Lieferanten besonders relevant. Der Handel mit Lebensmitteln stellt einen der bedeutendsten Wirtschaftszweige Europas dar. Aufgrund des großen Wettbewerbs ist die Branche von hohem Kostendruck und geringen Margen geprägt. Der Logistik kommt in diesem Umfeld eine besonders hohe Bedeutung als entscheidender Faktor im Konkurrenzkampf um Marktanteile zu. Hochdynamisches Nachfrageverhalten, zunehmende Lieferfrequenzen, steigende Sortimentsbreite sowie die Verderblichkeit der Waren stellen besonders hohe Anforderungen an Lager- und Kommissioniersysteme im Lebensmittelgroßhandel (vgl. Nitsche und Figiel 2016, S. II; Soto-Silva et al. 2016; S. 42).

Der größte Einfluss auf die Effektivität und Rentabilität eines Lager- und Kommissioniersystems kann in der Planungsphase genommen werden. In dieser wird neben der initialen Investitionssumme bereits der Großteil der operativen Kosten festgelegt. Da Umbau- und Erweiterungsvorhaben mit enormen Zeit- und Kostenaufwänden verbunden sind, haben strategische Entscheidungen im Zuge der Konzeptplanung großen Einfluss auf den Zeitraum von zumindest 10–15 Jahren. Die Leistungsfähigkeit eines Lager- und Kommissioniersystems wird ebenfalls vorwiegend bereits in der Planungsphase definiert. Da eine Minderleistung dieser Systeme zur Nichterfüllung der Kundenanforderungen und in weiterer Folge zum Verlust von Kundinnen und Kunden sowie Profiten führen kann, ist die adäquate Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen maßgebend für den Erfolg eines Unternehmens (vgl. Abdoli und Kara 2017, S. 1266; Caridade et al. 2017, S. 1097; vgl. Kucharavy et al. 2018, S. 396; van den Gils et al. 2018, S. 1).

Die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen gilt allgemein als hochkomplex und kann mit der Konstruktion eines Passagierflugzeugs oder eines Personenkraftwagens verglichen werden. Die Planungsphase ist geprägt durch eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden, kaum festgesetzte Restriktionen, interne und externe Einflussfaktoren und stark interdependente Planungsprobleme. Datenmengen, Datenqualität und häufige Änderungen der zu Grunde liegenden Planungsdaten verkomplizieren die Auslegung zusätzlich. Die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen ist daher nicht nur mit hohem Risiko, sondern auch mit hohem Zeit- und Ressourcenaufwand verbunden (vgl. Baker und Canessa 2009, S.

427; Staab 2016, S. 18; Murrenhoff et al. 2015, S. 3179; McGinnis und Sprock 2016, S. 1ff.; Schieweck et al. 2017, S. 1ff.).

## 1.2 Allgemeine Problemstellung

Im industriellen Umfeld besteht keine Zeit für ausreichend lange Planungsphasen. Der Zeitraum vom Projektstart bis zur Zeichnung eines rechtlich verbindlichen Vertrags beträgt wenige Wochen. Aufgrund des hohen Zeit- und Kostendrucks ist keine umfassende Suche nach einem globalen Optimum für das auszulegende Zielsystem möglich. Die Planungsgrundlagen werden grob abgeschätzt und komplexe Planungsentscheidungen basierend auf Faustregeln, Erfahrungen, Intuition und Urteilsvermögen der individuellen Planerin bzw. des individuellen Planers getroffen (vgl. Goetschalckx et al. 2001, S. 1f; Baker und Canessa 2009, S. 426; Staab 2016, S. 18ff.). Die Folge ist, dass Lager- und Kommissioniersysteme nicht entsprechend der individuellen und oft widersprüchlichen Zielerfordernungen (Leistung, Wirtschaftlichkeit, Qualität, Flexibilität etc.) ausgelegt sind. Dies äußert sich durch (vgl. Gudehus 2012, S. 565f.):

- Minderleistung des Lager- und Kommissioniersystems und daraus resultierende unzureichende Zufriedenstellung der Kundenanforderungen aufgrund nicht termingerechter und fehlerhafter Auftragserfüllung
- Verschwendung von Platz, Raum und Ressourcen aufgrund suboptimaler Flächen- und Raumnutzungsgrade
- Erhöhte Lager- und Kommissionierkosten, die die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen gefährden
- Hohe Summen an gebundenem Anlagevermögen durch zu hohe Investitionen und nicht ausreichend abgesicherte Investitionsentscheidungen

Neben potenziellen Risiken für den Auftraggeber des jeweiligen Lager- und Kommissioniersystems ist die Planungsphase für das Planungsunternehmen mit hohen Kosten- und Zeitaufwänden verbunden (vgl. Schieweck et al. 2017, S. 4).

## 1.3 Allgemeine Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unter Berücksichtigung aller individuellen Zielerfordernungen und in stark reduzierter Durchlaufzeit. Hiermit wird ein praxisrelevanter Beitrag zu der Erfüllung folgender Sub-Ziele geleistet:

- Sicherstellung der Leistungsfähigkeit von Lager- und Kommissioniersystemen im schnelllebigen Umfeld des Lebensmittelgroßhandels und Reduktion nicht zeitgerecht abgeschlossener Kundenaufträge auf unter 2 %

- Senkung operativer Lager- und Kommissionierkosten um bis zu 20 % gegenüber bestehenden Systemen
- Verbesserung von Flächen- und Raumnutzungsgraden innerhalb der Lagersysteme um bis zu 10 % gegenüber bestehenden Systemen
- Absicherung von Investitionsentscheidungen über den Abschreibungszeitraum von mindestens zehn Jahren (Lager- und Kommissioniertechnik) und bis zu 25 Jahren (Gebäude)

Aufbauend auf dem Stand von Wissenschaft und Technik (siehe Kapitel 3) wird die Zielsetzung hinsichtlich der spezifischen Problemstellung in Kapitel 4 konkretisiert.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in acht Hauptabschnitte gegliedert:

*Kapitel 1* dient der Darstellung der Ausgangssituation und der Ableitung einer praxisrelevanten allgemeinen Problemstellung. Darauf aufbauend wird die allgemeine Zielsetzung der Arbeit formuliert.

In *Kapitel 2* werden grundlegende Trends identifiziert und Begriffe im Themenbereich von Lager- und Kommissioniersystemen sowie der Planung von Logistiksystemen definiert. Darauf aufbauend erfolgt eine detaillierte Abgrenzung des Untersuchungsbereichs.

In *Kapitel 3* wird der Stand von Wissenschaft und Technik in Bezug auf die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen untersucht. Dies dient der Identifikation der Forschungslücke hinsichtlich der Behandlung der adressierten allgemeinen Problemstellung.

Die aus der allgemeinen Problemstellung und der Forschungslücke erwachsende spezifische Problemstellung sowie die zugehörige spezifische Zielsetzung der Arbeit werden in *Kapitel 4* beschrieben. Zudem werden die drei forschungsleitenden Fragen und eine Forschungshypothese formuliert sowie Anforderungen an das entwickelte Vorgehensmodell festgelegt. Abschließend erfolgt die Einordnung gewählter Forschungsstrategien in ein methodisches Rahmenwerk.

*Kapitel 5* ist der Entwicklung des Vorgehensmodells gewidmet. Alle fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen werden im Zuge von sechs Planungsschritten unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen bei der Lagerung- und Kommissionierung von Lebensmitteln iterativ adressiert.

In *Kapitel 6* wird das Vorgehensmodell auf ein konkretes Fallbeispiel bei einem österreichischen Lebensmittelgroßhändler angewandt. Dies dient der Demonstration und Evaluierung des entwickelten Modells.

In *Kapitel 7* werden die zuvor definierten forschungsleitenden Fragen beantwortet und die Erfüllung der Anforderungen an das Vorgehensmodell kritisch betrachtet.

Auf eine kurze Zusammenfassung der Arbeit folgt in *Kapitel 8* ein Ausblick über den weiteren Forschungsbedarf.

In Abbildung 2 ist der Aufbau der vorliegenden Arbeit schematisch dargestellt:

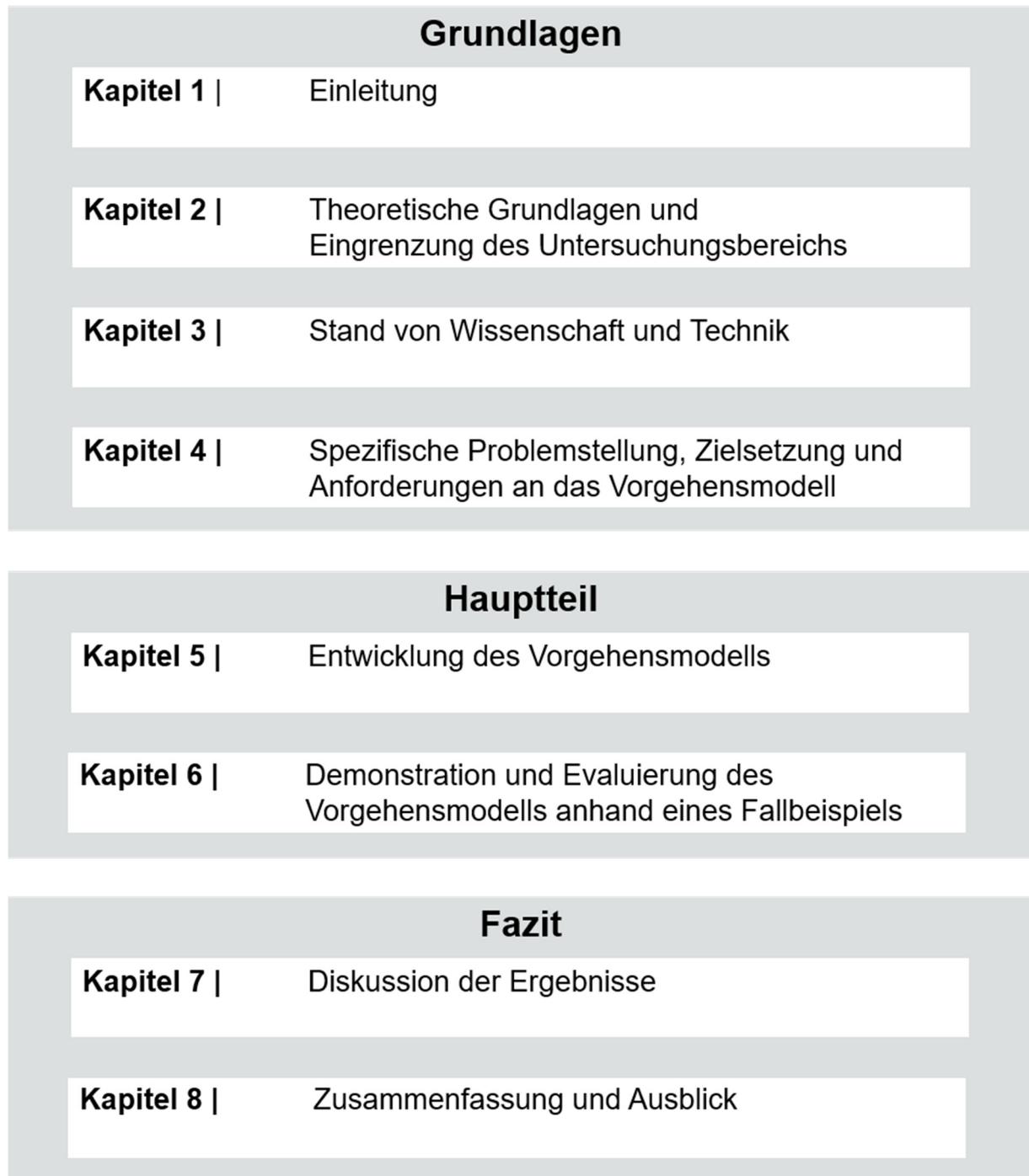


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit in sieben Kapiteln

## 2 Theoretische Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

In diesem Kapitel werden neben der Darstellung von aktuellen Trends die relevanten Grundlagen und Begriffe im Fachbereich von Lager- und Kommissioniersystemen beschrieben und definiert. Dies dient als Grundlage zur Eingrenzung des Untersuchungsbereichs und liefert den Bezugsrahmen für die nachfolgenden Kapitel.

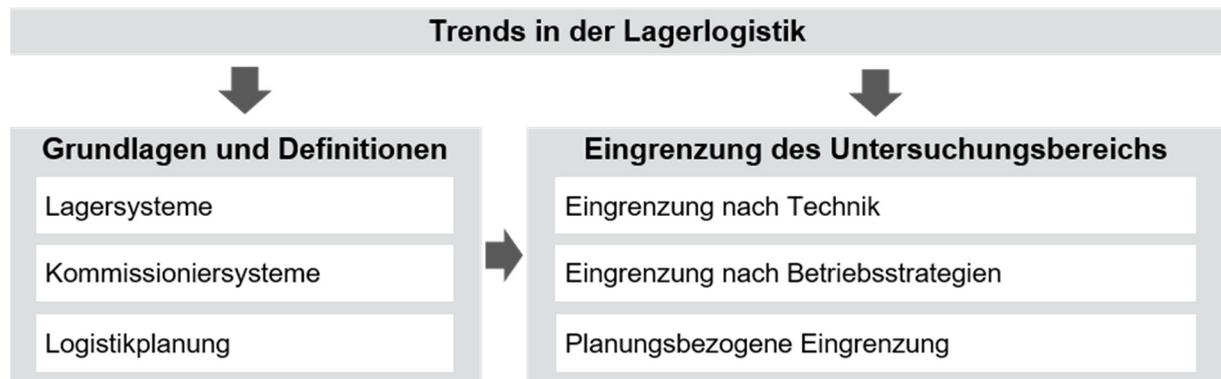


Abbildung 3: Übersicht über den Aufbau des Kapitels Theoretische Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

### 2.1 Bedeutung und Trends in der Lagerlogistik

Die zunehmende Globalisierung baut auf dem effizienten Warenfluss, beginnend beim Rohmaterial bis zur Lieferung der Endprodukte zu den Kundinnen und Kunden, auf. Der Materialfluss durch ein Netzwerk von Produktions-, Lager- und Transportsystemen wird allgemein als Supply Chain bezeichnet. Der Erfolg bzw. Misserfolg moderner Unternehmen ist stark von der Effektivität und Effizienz dieser Netzwerke abhängig. Güter bewegen sich heute um das zehnfache schneller entlang moderner Supply Chains als noch vor 20 bis 30 Jahren. Die Distribution der Waren an den Netzknoten wird zusehends zum Engpass für die Leistung dieser Materialflusssysteme. Lager- und Kommissioniersysteme sind somit ein wesentlicher Stellhebel für die Leistungsfähigkeit moderner Supply Chains und haben einen entscheidenden Einfluss auf die Überlebensfähigkeit moderner Unternehmen (vgl. Baker und Canessa 2009, S. 425; Sooksaksun et al. 2012, S. 3; Bartholdi und Hackmann 2017, S. 271; Kłodawski et al. 2017, S. 452).

Diese Globalisierung und der dadurch stärker werdende Wettbewerb führen zu immer kürzeren Produktlebenszyklen. Diese Entwicklung zeichnet sich in dem starken Zuwachs der Logistikkosten, insbesondere den Betriebskosten der Logistiksysteme, ab. Diese Kosten machen in produzierenden Unternehmen bis zu 15 % des Gesamtumsatzes aus. Im Handel beträgt dieser Kostenanteil bis zu 25 % des Umsatzes (vgl. Gudehus, 2012, S. 141; Caridade et al. 2017, S. 1097).

Viele Unternehmen strukturierten ihre Supply Chains in den letzten Jahren durchgehend neu und richteten diese sehr stark auf die Kundenanforderungen aus. Die Bedeutung von Lagerhäusern als reine Kostentreiber veränderte sich dadurch in den letzten 30 Jahren stark: Statische Hallen zur reinen Lagerhaltung entwickelten sich zu modernen Distributionszentren mit starkem Fokus auf Zusatzleistungen, insbesondere der Kommissionierung. Lagersysteme sind somit äußerst wichtige strategische Komponenten innerhalb der Supply Chain. Der Fokus liegt auf der reibungslosen Versorgung der Kundinnen und Kunden. Lager- und Kommissioniersysteme sind somit auch eines der wichtigsten Elemente im logistischen Service-Sektor (vgl. Manzini et al. 2015, S. 711 Karim et al. 2018, S. 152; Kembro et al. 2018, S. 891).

Stetig steigende Erwartungen auf Seite der Kundinnen und Kunden erhöhen jedoch die Komplexität der Lager- und Kommissioniersysteme signifikant, da sie unabhängig von der Bestellmenge und -häufigkeit sowie ohne zeitliche Restriktionen die gewünschte Ware bestellen können. Zusätzlich sollen Aufträge möglichst lange nach der Bestellung kostenfrei stornierbar sein. Die Erwartungen gehen in Richtung individuell anpassbarer Serviceleistungen. Demnach sollen Produkte und Verpackungen nach Möglichkeit persönlich adaptierbar sein. Diese Entwicklungen bedeuten für moderne Lager- und Kommissioniersysteme kürzere Vorlauf- und Durchlaufzeiten und schlechtere operative Planbarkeit (vgl. Accorsi et al. 2014, S. 175; ten Hompel et al. 2018, S. 51f.).

Zusätzliche Herausforderungen resultieren bei direkter Belieferung der Endkundinnen und Endkunden im sogenannten Business to Consumer (B2C) Segment. In Europa nahm der Umsatz im Onlinehandel (E-Commerce) zwischen den Jahren 2015 und 2016 von 440 auf 500 Milliarden Euro zu. Dies entspricht einem Wachstum von knapp 14 %. Die starke Zunahme des E-Commerce bedeutet kleinere Bestellmengen aus größeren Artikelsortimenten innerhalb verkürzter Lieferzeiten (bis hin zu Same Day Delivery) unter stark schwankenden Auftragslasten. Mit dem Onlinehandel geht die Entstehung sogenannter Omni-Channel-Logistiksysteme einher. Kundinnen und Kunden können Aufträge in einem Kanal platzieren (z. B. per Mobiltelefon), die Ware über einen zweiten Kanal erhalten (z. B. Lieferung frei Haus) und das Produkt über einen dritten Kanal retournieren (z. B. in einer Geschäftsstelle). Die hohe Dynamik dieser Systeme erschwert den Betrieb moderner Logistikzentren zusätzlich. Traditionelle Lager- und Kommissioniersysteme sind diesen Herausforderungen nicht gewachsen (vgl. Boysen et al. 2018, S. 1; Kembro et al. 2018; S. 890f.; Öztürkoğlu und Hoser 2018; S: 2).

Ein weiterer Trend geht in Richtung zunehmender Automatisierung von Lager- und Kommissioniersystemen. Der Prozess des Kommissionierens ist besonders arbeitsintensiv, in Hochlohnländern ist dieser daher mit hohen Personalkosten

verbunden. Abgesehen davon ist es zunehmend schwieriger, qualifiziertes Personal für die meist repetitive und ergonomisch ungünstige Schichtarbeit zu finden. Eine wachsende Anzahl heutiger Lager- und Kommissioniersysteme ist 24 Stunden, 7 Tage die Woche und 365 Tage im Jahr in Betrieb. Ein weiteres Problem stellen die erhöhten Grundstückspreise dar. Vor allem Lagergrundstücke, die zur Warenverteilung verkehrstechnisch günstig positioniert sein sollten, sind besonders wertvoll und teuer. Es werden daher vermehrt neue, teilweise hochautomatisierte Techniklösungen (wie z. B. vollautomatische Kommissionierroboter) entwickelt. Diese gehen aufgrund hoher Investitionssummen allerdings auch mit hohen finanziellen Risiken für die Betreiber einher. Trotz dieser Entwicklungen werden ca. 80 % aller Lager- und Kommissioniersysteme in Westeuropa nach dem klassischen, manuellen Person-zu-Ware-Prinzip (siehe Kapitel 2.3.2) betrieben (vgl. Azadeh et al. 2018, S. 1f.; Kucharavy et al. 2018, S. 396; van den Gils et al. 2018, S. 1).

Speziell der Lebensmittelgroßhandel wird von diesen Trends wesentlich beeinflusst. Steigende Kundenanforderungen an die Produktvielfalt führen zu Lagerbeständen mit teilweise bis zu 50 000 unterschiedlichen Artikeln. Gepaart mit einer hohen Volatilität der Kundennachfrage erschwert dies die Prognostizierbarkeit der Absatzmengen insbesondere auf Artikelebene. Auch E-Commerce gewinnt in der Lebensmittelbranche zunehmend an Bedeutung. Auf logistischer Seite führt diese Entwicklung zu erhöhtem Flächenbedarf (bis um den Faktor 3) und steigenden Logistikkosten (vgl. Nitsche et al. 2016, S. 6ff.).

## 2.2 Lagersysteme – Definition und Grundlagen

### 2.2.1 Einleitung und Begriffsdefinitionen

*„System: Von ihrer Umwelt abgegrenzte Menge von Elementen, die miteinander in Beziehung stehen.“ (VDI 3633 2018-05, S. 33)*

Ein System beschreibt eine gegenüber der Umgebung abgegrenzte Menge von Elementen, welche durch Relationen miteinander in Beziehung stehen. In Abbildung 4 ist der allgemeine Aufbau eines Systems schematisch dargestellt. Die wesentlichen Merkmale eines Systems sind:

- die Systemgrenzen,
- die Systemkomponenten,
- die Systemstruktur,
- der Systeminput und -output,
- das Systemverhalten und der Systemzweck.

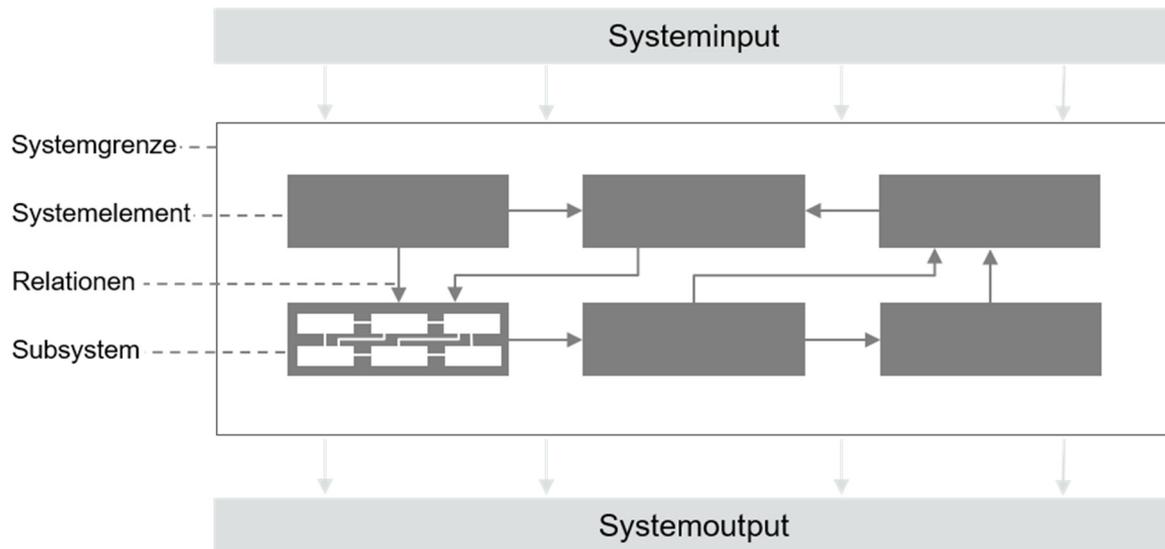


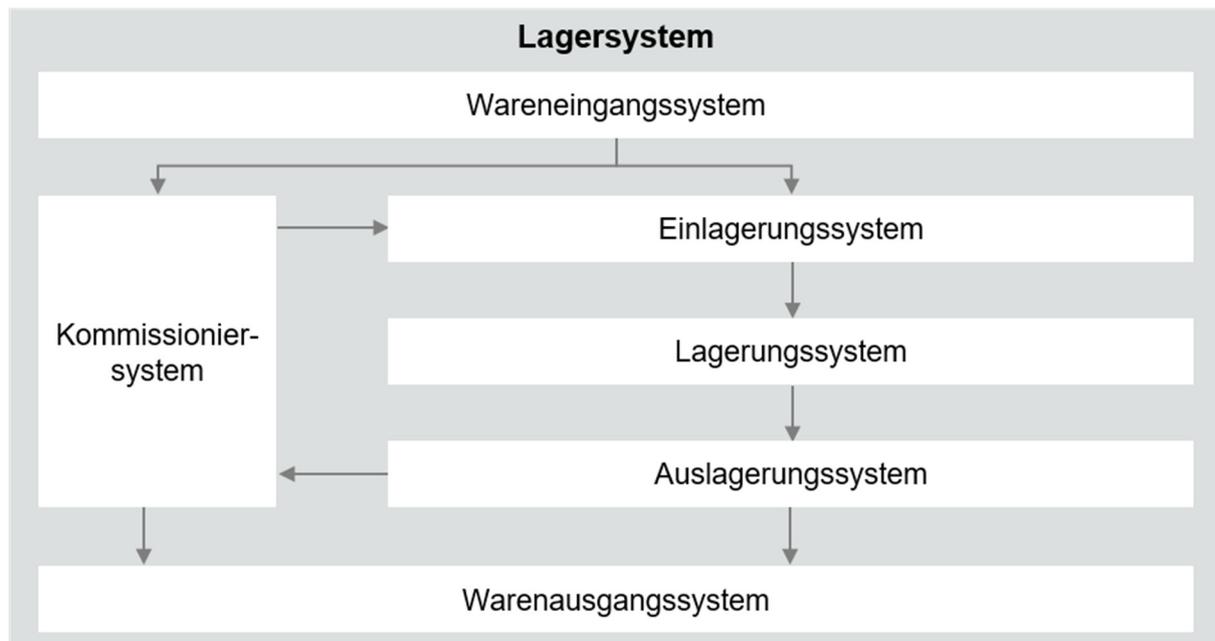
Abbildung 4: Aufbau und Merkmale eines Systems (eigene Darstellung nach ten Hompel 2011a, S. 5)

Lagern ist das geplante Liegen eines Arbeitsgegenstandes im Materialfluss. Das Lager ist ein Raum bzw. eine Fläche zum Aufbewahren von Rohstoffen, Zwischenprodukten oder Fertigwaren. Die Lagerung dient der Überbrückung von zeitlichen Differenzen und entsteht überall, wo ankommende und abgehende Güterströme nicht exakt synchronisiert sind. Lagersysteme bilden somit oft die Voraussetzung für die Versorgung nachgeschalteter Systeme und stehen in enger Wechselwirkung mit Transport-, Produktions- und Distributionssystemen (vgl. Arnold et al. 2008, S. 373; ten Hompel et al. 2018, S. 51).

Der Kernprozess des Lagerns setzt sich aus drei Teilprozessen zusammen:

1. Einlagern
2. Aufbewahren und Bereithalten
3. Auslagern

Heutige Lagersysteme erfüllen darüber hinaus noch zahlreiche zusätzliche Funktionen. Ein Zusatzprozess vieler Lagersysteme ist beispielsweise das Kommissionieren (vgl. Gudehus 2012, S. 557); auf dieses wird in Kapitel 2.3 im Detail eingegangen. Basierend auf den Lagerprozessen kann die Struktur eines Lagersystems durch seine Subsysteme entlang des Materialflusses gemäß Abbildung 5 dargestellt werden:



**Abbildung 5: Lagerstruktur entlang des Materialflusses (eigene Darstellung nach Martin 2009, S. 349; ten Hompel 2018, S. 57)**

Diese Subsysteme werden im physischen Layout als sogenannte Funktionsbereiche angeordnet:

- Wareneingang
- Kommissionierbereich
- Lagerbereich
- Warenausgang

Die Funktionsbereiche können sich gegenseitig überlagern. So können neben gemeinsam genutzter Warenein- und Warenausgangsfläche auch Lager- und Kommissionierbereich zusammenfallen (vgl. Gudehus 2008, S. 616).

## 2.2.2 Einteilung von Lagersystemen

Stark unterschiedliche Anforderungen an Lagersysteme führen zu verschiedenen Ausprägungen der Lager, den sogenannten Lagerarten. Diese können nach diversen Aspekten gegliedert sein. Einige Beispiele zur Unterteilung der Lagerarten sind in Abbildung 6 dargestellt.

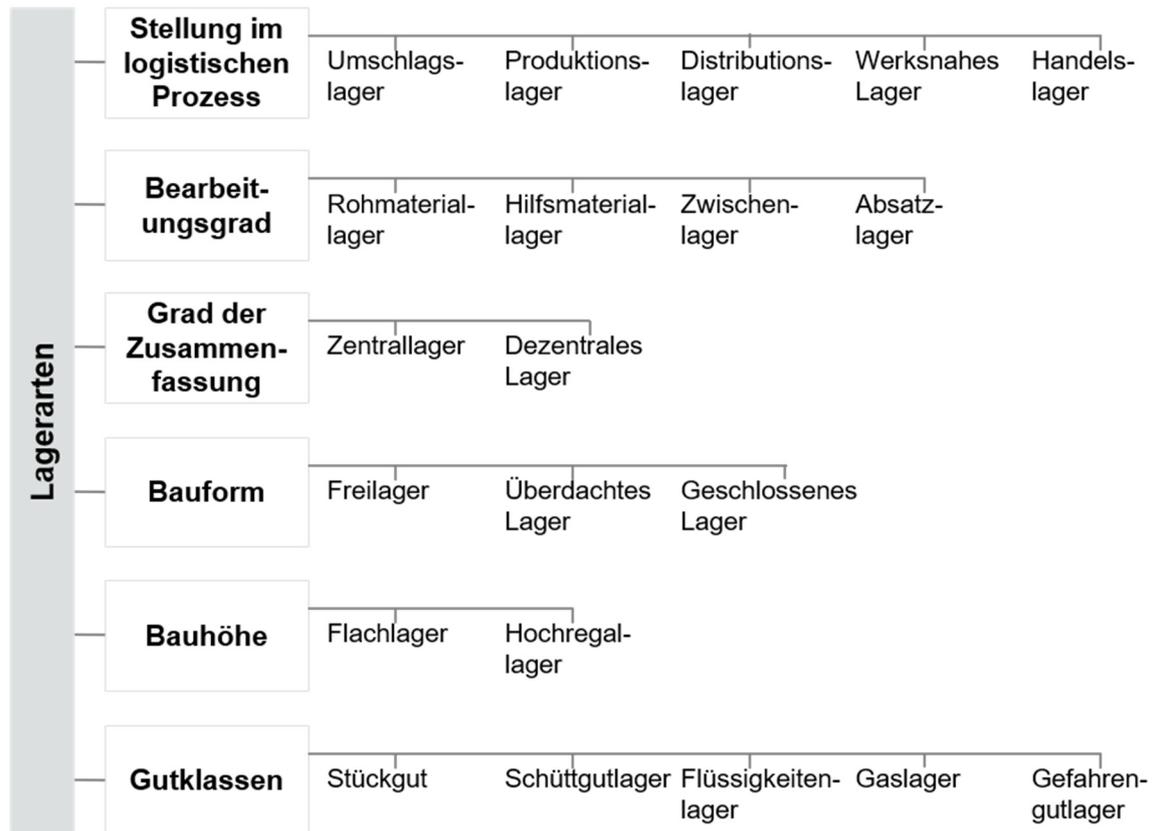


Abbildung 6: Systematik der Lagerarten (eigene Darstellung nach Arnold 2008, S. 375f.)

Zusätzlich zu den in Abbildung 6 dargestellten Unterscheidungen der Lagerart können Lagersysteme hinsichtlich der Lagerdauer der Lagereinheiten unterteilt werden in (vgl. Gudehus 2012, S. 563f.):

- Kurzzeitlager oder Pufferlager: Der Bestand wird nur für wenige Stunden bzw. Tage abgestellt und bereitgehalten.
- Vorratslager oder Dispositionslager: Bestände haben eine Lagerdauer von einigen Tagen bis Wochen.
- Langzeitlager bzw. Speicher: Bestände lagern mehrere Wochen bis Monate.

Im Lebensmittelgroßhandel handelt es sich bei der gelagerten und kommissionierten Ware vorwiegend um Stückgut. Teilweise werden auch als Gefahrgut klassifizierte Güter im Sortiment geführt. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich daher in weiterer Folge insbesondere bei der Betrachtung von Lager- und Kommissioniertechnik auf die Lagerung sogenannter Colli. Dieser Ausdruck bezeichnet die kleinste Kommissioniereinheit und entspricht im Lebensmittelgroßhandel meistens einer Großverpackungseinheit (GVE) bzw. einer Einzelverpackungseinheit (EVE). Die Lagerdauer kann für unterschiedliche Sortimentsbereiche zwischen wenigen Stunden (z. B. Frischesortiment) und mehreren Tagen bzw. Wochen (z. B. Trockensortiment) variieren (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

### 2.2.3 Lagertechnik

Jedes Lagersystem besteht aus mehreren Lagergewerken, die zur Durchführung der Lagerprozesse notwendig sind. Funktionsspezifische Gewerke sind:

1. Lagereinheiten und Ladungsträger
2. Lagerplätze und Regale
3. Lagergeräte und Lastaufnahmemittel
4. Zu- und Abfördersysteme
5. Lagersteuerung und -verwaltung
6. Warenein- und -ausgang
7. Lagerbau

Unter Lagertechnik wird in weiterer Folge die technische Realisierung der funktionsspezifischen Gewerke verstanden. Gewerke ohne lagerspezifische Funktion sind beispielsweise Sprinkler- und Rauchabzugsanlagen, Klima- und Heizungsanlagen sowie haustechnische Anlagen und Sozialräume. Diese fallen nicht in den unmittelbaren Aufgabenbereich der logistischen Lagerkonzeptplanung. Im Folgenden wird daher insbesondere auf die funktionsspezifischen Gewerke eingegangen (vgl. Gudehus 2012, S. 586).

Lagereinheiten sind im Lagersystem aufbewahrte Elemente und bestehen meist aus sogenannten Ladungsträgern bzw. Ladehilfsmitteln und den einzelnen Artikeleinheiten, die diese enthalten. Die wichtigsten Ladehilfsmittel sind Paletten und Behälter in den verschiedensten Ausführungsformen. Gewisse Artikel können auch ohne Ladungsträger gelagert werden. Die Ausführung der Lagereinheiten bzw. Ladungsträger hat einen wesentlichen Einfluss auf die Art der Lagerung und die Ausführung der Regal- und Fördertechnik (vgl. Gudehus 2012, S. 578).

Lagerplätze und Regale bestimmen die Art der Lagerung. Abbildung 7 zeigt eine Übersicht über die spezifischen Ausprägungen zur Lagerung von Stückgut:

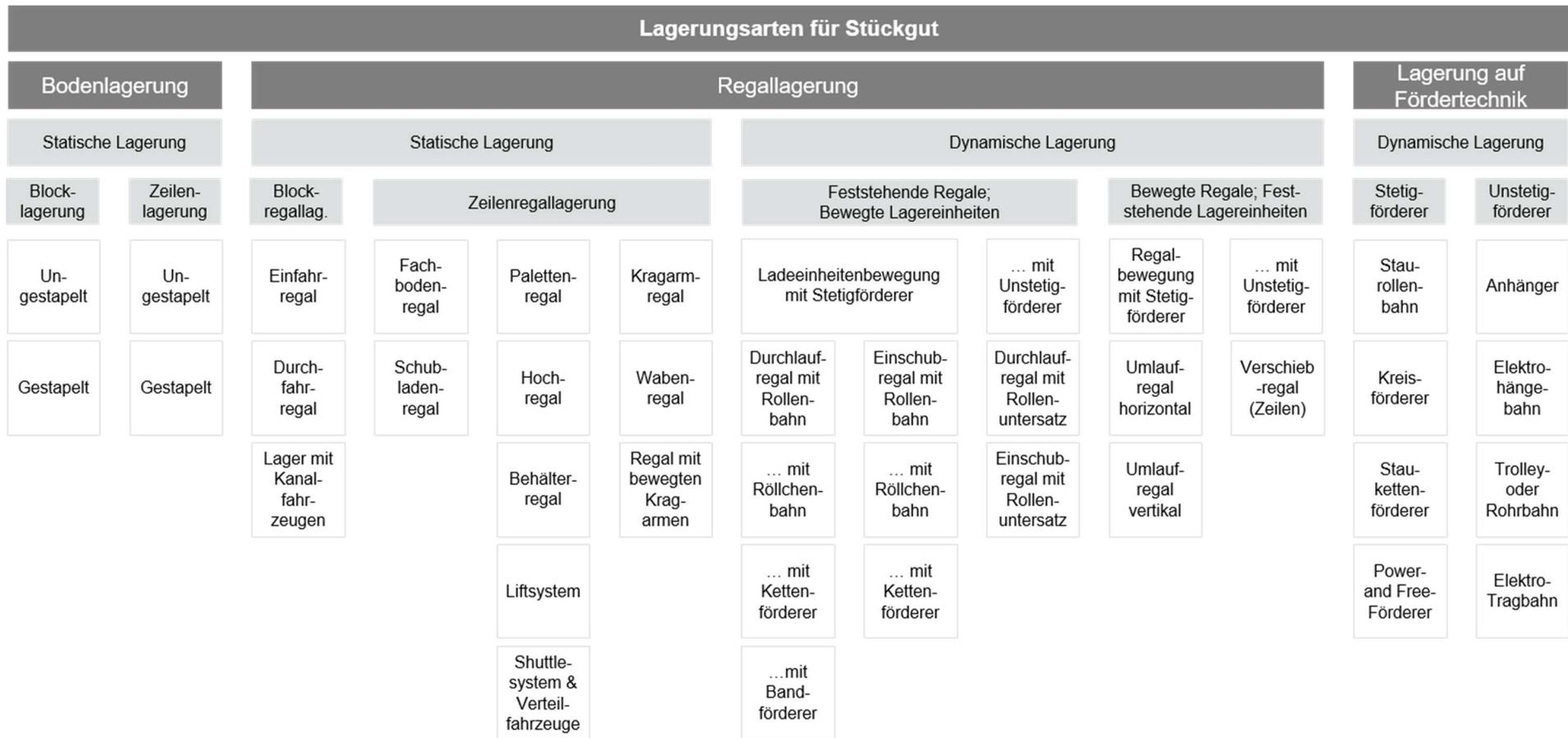


Abbildung 7: Technische Gestaltungsmöglichkeiten der Lagerplätze und Regale für Stückgut (eigene Darstellung nach ten Hompel 2018, S. 58)

Traditionellerweise lassen sich zwei Arten der Lagerung für Stückgut unterscheiden:

- **Bodenlagerung:** Die Güter werden auf dem Boden in Linien- oder Blöcken abgestellt. Dabei kann die Lagerung gestapelt oder nicht gestapelt sowie mit und ohne Verwendung von Hilfsmitteln (z. B. Balken, Rungen, Gestellen, Paletten etc.) erfolgen. Dies ermöglicht hohe Flexibilität zu geringen Investitionskosten. Demgegenüber stehen die begrenzte Stapelhöhe, schlechte Zugriffsfähigkeit und erschwerte Automatisierbarkeit. Bodenlager werden insbesondere bei der Lagerung von sperrigen Gütern und großen Mengen eines Artikels eingesetzt (vgl. Martin 2009, S. 370f.).
- **Regallagerung:** Die Ladeeinheiten werden in – meist aus Normprofilen aufgebauten – Regalen gelagert, die ebenfalls in Zeilen (bzw. Linien) oder in Blöcken angeordnet werden. Auf diese Weise können vor allem nicht stapelfähige Güter effizient gelagert werden. Bei Regallagern stehen die Vorteile einer besseren Raumnutzung und einer Erhöhung der Anzahl der direkten Zugriffsplätze den Investitionskosten für die Regaltechnik gegenüber (vgl. Römisch 2011, S. 280).

Sind alle Lagerplätze hinsichtlich Abmessungen, Tragfähigkeit und Sicherheitstechnik gleichartig gestaltet, wird von einem homogenen Lager gesprochen. Müssen die Lagerplätze beispielsweise hinsichtlich der Beladehöhe der Ladehilfsmittel unterteilt werden, wird dies als heterogenes Lager bezeichnet. Ein heterogenes Lagersystem besteht meistens wiederum aus einer Vielzahl homogener Subsysteme (vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 177).

Neben der auf den Lagerplatz bezogenen Lagerungsart wird zwischen der statischen (unbewegten) und der dynamischen Lagerung unterschieden. Eine Sonderform stellt die Lagerung der Ware direkt auf der jeweiligen Fördertechnik dar (vgl. ten Hompel, 2018, S. 58).

Die Funktionen der Gewerke Lagergeräte und Lastaufnahmemittel werden häufig mit derselben technischen Lösung realisiert, die auch zur Zu- und Abförderung der Ladeeinheiten eingesetzt wird. So kann ein Gabelstapler beispielsweise in der Funktion als Lastaufnahmemittel an den Lagerplätzen auch den Zu- bzw. Abtransport des Ladungsträgers übernehmen. Diese Systeme werden daher in diesem Kapitel gesammelt unter dem Begriff Fördertechnik bzw. Fördermittel behandelt (vgl. Martin 2009, S. 350).

Fördermittel sind im Allgemeinen technische Systeme des Materialflusses, die eine innerbetriebliche Ortsveränderung (vertikal und/oder horizontal) von Gütern bewirken. Außerhalb des Lagersystems wird hingegen von Verkehrsmitteln gesprochen (vgl. ten Hompel, 2018, S. 129). Die unterschiedlichen Fördermittel für Stückgut sind in Abbildung 8 dargestellt.

Fördermittel für Stückgut										
Stetigförderer					Unstetigförderer					
Flurgebunden	Aufgeständert			Flurfrei	Flurgebunden		Aufgeständert		Flurfrei	
Ortsfest	Ortsfest			Ortsfest	Geführt verfahr.	Frei verfahr.	Ortsfest	Geführt verfahr.	Geführt verfahr.	
Zugmittel	Abwälzung	Schwerkraft	Zugmittel	Zugmittel	Einzelantrieb	Einzelantrieb	Einzelantrieb	Einzelantrieb	Muskelkraft	Einzelantrieb
Unterflurschleppkettenförderer	Rollenbahn, angetrieben	Rollenbahn	Tragkettenförderer	Kreisförderer	Umsetzer	Schlepper	Aufzug/Senkrechtförderer	Kanalfahrzeug	Trolleybahn	Brückenkran
		Röllchenbahn	Bandförderer	Power-and-Free-Förderer	Verschiebewagen	Wagen		Verteilfahrzeug	Rohrbahn	Portal-kran
		Kugelbahn	Wandertisch		Elektrotragbahn	Hubwagen				Kabelkran
		Rutsche	Gliederbandförderer		Regalbediengerät	Stapler				Auslager-/Drehkran
			S-/C-Förderer		Automat. Flurförderzeug	Automat. Flurförderzeug				Elektrohängebahn
			Kettenfördersystem			Kommissionierfahrzeug				

Abbildung 8: Technische Gestaltungsmöglichkeiten der Lagergeräte und Lastaufnahmemittel sowie Zu- und Abfördersysteme in Form von Fördertechnik (eigene Abbildung nach ten Hompel 2018, S. 129)

Im Wesentlichen können Fördermittel anhand der Arbeitscharakteristik in zwei Gruppen unterteilt werden (vgl. ten Hompel und Schmidt 2010, S. 90f.):

- Stetigförderer: Diese Systeme haben eine kontinuierliche Arbeitsweise und sind zumeist ortsfest installiert. Sie verfügen über eine hohe Förderleistung und eignen sich besonders gut zur Automatisierung von innerbetrieblichen Warenströmen.
- Unstetigförderer: Bei diesen handelt es sich um Einzelgewerke, die einzelne bzw. wenige Ladeeinheiten von Quelle zu Senke bewegen und mit dem transportierten Gut verfahren. Die Möglichkeit, flächendeckend viele Auf- und Abgabepunkte bedienen zu können, verleiht diesen Systemen meist eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Einsetzbarkeit.

Ein weiteres Lagergewerk ist die sogenannte Lagersteuerung und -verwaltung. Aufgabe der Lagersteuerung ist u. a. die Steuerung der Fördermittel. Diese erhält die Anweisungen aus der Lagerverwaltung, die als Standardsoftware von zahlreichen Anbietern am Markt verfügbar ist. Die technische Auslegung bzw. Auswahl dieser IT-Systeme ist kein unmittelbarer Bestandteil der logistischen Lagerkonzeptplanung (vgl. Gudehus 2018; S. 594f.). Auf dieses Gewerk wird daher nicht im Detail eingegangen.

Warenein- und -ausgang können auch, wie bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben, als Subsysteme bzw. Funktionsbereiche eines Lagersystems gesehen werden. Folgende Lagertechnik kann in diesen funktionspezifischen Gewerken zum Einsatz kommen:

- Wareneingang: Der Wareneingang ist meist eine große Fläche, auf der die ankommenden Güter in Bodenlagerung zwischengelagert werden. Anschließend werden Fördermittel für den Weitertransport eingesetzt. Weitere Technik im Wareneingang umfasst beispielsweise die Ladestationen von Flurförderzeugen, Hilfsmittel zur Qualitätskontrolle (z. B. Infrarot-Temperaturmesser) und Einrichtungen zur Datenerfassung (z. B. mobile Buchungsterminals).
- Warenausgang: Im Warenausgang ist ausreichend Fläche erforderlich, um die Güter nach Erfordernis zwischenspuffern, konsolidieren, kontrollieren, verpacken und adressieren bzw. beschriften zu können. Technisch werden hierzu beispielsweise automatisierte Umschnürungs-, Umreifungs- und Verklebemaschinen bzw. automatisierte Verpackungsanlagen eingesetzt (vgl. Martin 2009, S. 350).

Im Zuge der Konzeptplanung wird auf diese zusätzlichen technischen Mittel des Warenein- und Warenausgangs, abgesehen von Regal-, Förder- und Verpackungstechnik, nicht eingegangen. Diese Betrachtung ist Teil der Detailplanung (siehe Kapitel 2.4.1).

Den Lagerbau bestimmen im Idealfall, auch wenn in der Praxis häufig die bereits bestehende Gebäudehülle die Technik vorgibt, Lagerart und Lagertechnik (vgl. Gudehus 2012, S. 597). Die Bauweise wird in der vorliegenden Arbeit insofern berücksichtigt, dass gewisse Lagertechniken eine spezifische Bauart bedingen (z. B. ein Hochregallager in Silo-Bauweise). Auf detaillierte Gestaltungsmöglichkeiten des Lagerhallenbaus wird nicht eingegangen.

## 2.2.4 Betriebsstrategien für Lagersysteme

Neben der Lagertechnik haben die Strategien, mit denen ein Lager betrieben wird, den größten Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten dieser Systeme. Generell wird zwischen Belegungsstrategien und Bewegungsstrategien unterschieden. Es ist zu beachten, dass nicht alle Strategien sinnvoll miteinander vereinbar sind. Vor der Realisierung sind daher potenziell geeignete Strategien hinsichtlich Kompatibilität untereinander zu prüfen (vgl. Gudehus 2008, S. 590ff.).

Die Belegungsstrategie gibt die Zuweisung eines Artikels zu einem bestimmten Lagerplatz vor. Dies erfolgt anhand einer Vielzahl von Kriterien. Neben Restriktionen wie den physischen Anforderungen der Ladeeinheiten sowie sicherheitstechnischen und rechtlichen Vorgaben sind auch betriebstechnische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Dabei stehen die effiziente Flächen- und Raumnutzung sowie eine Optimierung von Ein- und Auslagerungswegen im Vordergrund (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 111). Die relevantesten Belegungsstrategien sind:

- Artikelreine und artikelgemischte Platzbelegung: Bei der artikelreinen Zuordnung wird jeder Lagerplatz nur mit Ladeeinheiten eines einzelnen Artikels belegt. Bei der gemischten Platzzuordnung hingegen kann ein Lagerplatz mit einer Vielzahl unterschiedlicher Artikel belegt werden. Diese Form der Lagerung ist häufig mit zusätzlichem Handhabungsaufwand, Unübersichtlichkeit, Problemen bei der Lagerplatzverwaltung und Inventurdifferenzen verbunden. Häufig wird diese Form der Lagerung daher im Notfall aus Gründen des Platzmangels eingesetzt. Besonders im B2C-Segment moderner Onlinehändler wie Amazon und Zalando findet diese Strategie in Kombination mit der Gleichverteilung jedoch neue Anwendung (vgl. Boysen et al. 2018, S. 4).
- Freie und feste Lagerplatzzuordnung: Bei der freien Lagerplatzvergabe (auch häufig als chaotische Lagerlegung bezeichnet) kann ein Artikel auf einen beliebigen Lagerplatz disponiert werden. Für die Platzverwaltung dieser Strategie sind heute leistungsfähige Lagerverwaltungssysteme verfügbar. Bei der Festplatzlagerung erhält hingegen jeder Artikel eine fixe Zuordnung zu einem Lagerplatz. Da diese Zuordnung einen wesentlich höheren Platzbedarf als die freie Lagerplatzzuordnung hat, ist sie nur auf Kommissionier- nicht aber auf Reserve- bzw. Nachschubplätzen üblich (vgl. Hompel et al. 2018, S. 111).

- Gleichverteilungsstrategie: Diese Strategie wird auch häufig als Querverteilung bezeichnet, da der Lagerbestand eines Artikels auf mehrere Regalgassen aufgeteilt wird. Dies stellt die Artikelverfügbarkeit sicher und/oder erhöht die Lagerleistung (siehe Kapitel 2.4.1) durch paralleles Abarbeiten der Aufträge. Restriktionen wie First-in-First-out (FIFO) können hierbei jedoch nicht garantiert werden (vgl. Martin 2009, S. 359).
- Zonierung: Zur Reduktion des Auslageraufwandes wird der Lagerbereich häufig in einzelne Bereiche unterteilt. Die Zonenbildung kann kunden- oder baugruppenorientiert, länder- oder unternehmensspezifisch, nach Umschlaghäufigkeit, Abmessungen, Wertigkeit oder zweistufiger Kommissionierung erfolgen. Innerhalb der Zonen können Artikel einem festen Platz zugeordnet oder chaotisch gelagert werden (vgl. Gudehus, 2012 S. 599).
- Schnellläuferkonzentration: Erfolgt die Zonierung anhand der Umschlags- bzw. Zugriffshäufigkeit wird dies als Schnellläuferkonzentration bezeichnet. Eine Möglichkeit zur Klassifizierung der Schnellläufer ist neben der klassischen ABC-Analyse (siehe Kapitel 2.4.1) beispielsweise der Cube-per-Order-Index (COI). Zusätzlich zur Umschlagshäufigkeit wird bei dieser Methode auch der Platz-/Raumbedarf eines Artikels berücksichtigt (vgl. Thomas und Meller 2014, S. 931).
- Clustering: Diese Strategie bezeichnet die Lagerung von häufig zusammen bestellten Artikeln nahe beieinander. Diese Strategie kann helfen, Anschlusswege zu minimieren (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 111).

Die Bewegungsstrategien geben vor, in welcher Art und Weise Ein-, Um- und Auslageraufträge von den Fördermitteln bzw. Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern abgearbeitet werden. Ziel ist die Erhöhung der Lagerleistung (siehe Kapitel 2.4.1) unter Einhaltung ggf. vorgegebener Restriktionen (vgl. Gudehus 2012, S. 600). Die wichtigsten Bewegungsstrategien sind:

- FIFO und LIFO: Diese Prinzipien dienen der Festlegung der Reihenfolge bei der Entnahme eines Lagerartikels. FIFO (First-in-First-out) bedeutet, dass die älteste Ladeinheit zuerst ausgelagert wird. Dies dient beispielsweise der Vermeidung des Verfalls des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD). Bei LIFO (Last-in-First-out) wird jeweils die jüngste Ladeinheit zuerst ausgelagert. Dieses Prinzip kann prozessbedingt durch gewisse Regaltechniken (z. B. Kanalläger) erforderlich sein (vgl. Martin 2009, S. 359).
- Einzelspiel und Doppelspiel: Bei der Einzelspielstrategie werden Einlagerung und Auslagerung in getrennten Arbeitsspielen durchgeführt. Ist beispielsweise der Warenausgang vorrangig, werden zu Lasten der Durchsatzleistung (siehe Kapitel 2.4.1) längere Leerfahrten in Kauf genommen. Werden Ein- und Auslagerung kombiniert, wird dies als Doppelspiel bezeichnet. Der Leerfahrtenanteil der Fördermittel kann auf diese Art reduziert werden. Die

einzelnen Arbeitsspiele (Doppelspiele) haben jedoch höhere Zeitanteile als bei der Einzelspielstrategie (Einzelspiele) (vgl. Gudehus 2012, S. 600ff.).

- Fahrwegstrategien: Ziel der Fahrwegstrategien ist die Reduktion des Fahrwegs durch die Optimierung der zurückgelegten Route. Beispiele hierfür sind die Stichgangstrategie und die Streifenstrategie (vgl. Martin 2009, S. 359). Diese Überlegungen zählen zu den operativen Planungsproblemen (siehe Kapitel 2.5) und werden im Zuge der Konzeptplanung nicht adressiert.

## 2.2.5 Regionale Unterschiede

Tabelle 1 gibt einen Überblick über internationale Unterschiede hinsichtlich der Ausprägungen von Lagersystemen:

Tabelle 1: Internationale Unterschiede bei Lagersystemen (eigene Tabelle nach Bartholdi und Hackmann 2017, S. 277ff.)<sup>1</sup>

Region	Rahmenbedingungen	Lagertechnik	Bauform
<b>Nord-amerika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Massenkonsument</li> <li>- Telekommunikation</li> <li>- Homogene Märkte</li> <li>- Gute Infrastruktur</li> <li>- Günstige Baufläche</li> <li>- Mittlere Personalkosten durch Immigration</li> <li>- Gute Datengrundlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderbänder</li> <li>- Sortieranlagen</li> <li>- Sonst wenig Automatisierung</li> <li>- Einsatz von Ladehilfsmitteln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Große, zentrale Distributionszentren</li> <li>- Einstöckig</li> </ul>
<b>China</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Großer Exportmarkt</li> <li>- Günstige Baufläche</li> <li>- Sehr günstige Arbeitskräfte</li> <li>- Hohe Kosten für Technik</li> <li>- Schlechte Datenverfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Automatisierung</li> <li>- Häufig nur ein einziger Stapler im gesamten Lager</li> <li>- Häufig keine Ladehilfsmittel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Große Lagerhallen</li> <li>- Niedrige Bauhöhe</li> </ul>
<b>Zentral- und Südamerika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleine Märkte</li> <li>- Wenig Baufläche</li> <li>- Schlechte Infrastruktur</li> <li>- Relativ günstige Arbeitskräfte</li> <li>- Keine Datenverfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Automatisierung</li> <li>- Häufig Einsatz von Leitern statt Staplern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleine regionale Lagerhäuser</li> <li>- Mittlere Bauhöhe</li> </ul>
<b>Europa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Große Märkte</li> <li>- Relativ teure Bauflächen</li> <li>- Hohe Personalkosten</li> <li>- Geringe Personal-Flexibilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höherer Automatisierungsanteil</li> <li>- Häufig Hochregal-Silos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Große Lagerhallen</li> <li>- Große Bauhöhe</li> </ul>

Die Kosten für Lagersysteme hängen stark von regionalen Einflussparametern ab. Während gewisse Regionen sehr hohe Grundstückspreise bei geringen

<sup>1</sup> Anmerkung: Es werden ausschließlich Tabellen, die in MS Word erstellt wurden als Tabellen gekennzeichnet. Tabellen aus anderen Programmen werden als Abbildung gekennzeichnet.

Personalkosten aufweisen, kann auf andere das genaue Gegenteil zutreffen. Ein wirtschaftliches Lagersystem kann somit an verschiedenen Orten stark unterschiedlich ausgeprägt sein (vgl. Cardona et al. 2015, S. 826).

## 2.3 Kommissioniersysteme – Definition und Grundlagen

### 2.3.1 Einleitung und Begriffsdefinitionen

*„Kommissionieren hat das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen (Artikel) aufgrund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen.“*  
(VDI 3590 1994-04, S. 2)

Die Kommissionierung ist ein Kernelement der Intralogistik und hat einen wesentlichen Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg eines logistischen Unternehmens. Sie stellt die anforderungsgerechte Verbindung zwischen Lagerfunktion und Verbrauchsfunktion (z. B. Produktion, Montage, Versand) her. Der klassische Anwendungsfall ist die Distribution im Versandhandel. Positionen werden gemäß den Kundenaufträgen aus dem Sortiment für den Versand zusammengestellt (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 269f.).

Die hohe Bedeutung der Kommissionierung innerhalb eines Lagersystems lässt sich im Wesentlichen auf zwei Ursachen zurückführen (vgl. ten Hompel et al. 2011b, S. 3):

1. Die Kommissionierung ist meist der personalintensivste Bereich in einem Distributionszentrum bzw. Verursacher des Großteils der Kosten (auch bei automatisierten Systemen). Studien führen bis zu 55 % der Kosten eines Distributionslagers auf die Kommissionierung zurück (vgl. Giannikas et al. 2017, S. 63).
2. Die Kommissionierung hat direkten Einfluss auf den Servicegrad für die Kundinnen und Kunden und somit auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Nur durch hohe Effizienz und Fehlerfreiheit kann den hohen Marktanforderungen entsprochen werden (vgl. Dallari et al. 2009, S. 1).

Darüber hinaus ist die Kommissionierung die komplexeste Tätigkeit in einem Distributionszentrum. Die Komplexität resultiert aus der Vielzahl an kombinierbaren Verfahren, Techniken und Strategien. Zusätzlich haben zahlreiche Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf die richtige Auswahl, Dimensionierung und Kosten eines Systems (vgl. Gudehus 2012, S. 650).

Entlang des Materialflusses werden folgende Einheiten in Kommissioniersystemen unterschieden (vgl. Hompel et al. 2011, S. 7):

- Lagereinheit: Alle im Lagersystem bevorrateten Güter werden als Lagereinheit bezeichnet (siehe Kapitel 2.2.3).

- **Transporteinheit:** Die vom Lager- zum Bereitstellungs-/Kommissionierbereich transportierten Güter sind eine Transporteinheit (z. B. Euro-Palette).
- **Bereitstelleinheit:** Die im Zuge der Kommissionierung zur Entnahme angebotenen Einheiten werden Bereitstelleinheit genannt (z. B. Groß-Verpackungseinheit).
- **Kommissioniereinheit:** Die Menge eines Artikels, die im Zuge der Kommissionierung entnommen werden kann, ist eine Kommissioniereinheit (z. B. Einzelverpackungseinheit).
- **Versandeinheit:** Besteht ein Kundenauftrag aus mehreren Kommissioniereinheiten, werden diese ggf. zu einer Versandeinheit zusammengefasst.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Einordnung der Kommissionierprozesse entlang des Materialflusses inklusive vor- und nachgelagerter Prozesse:

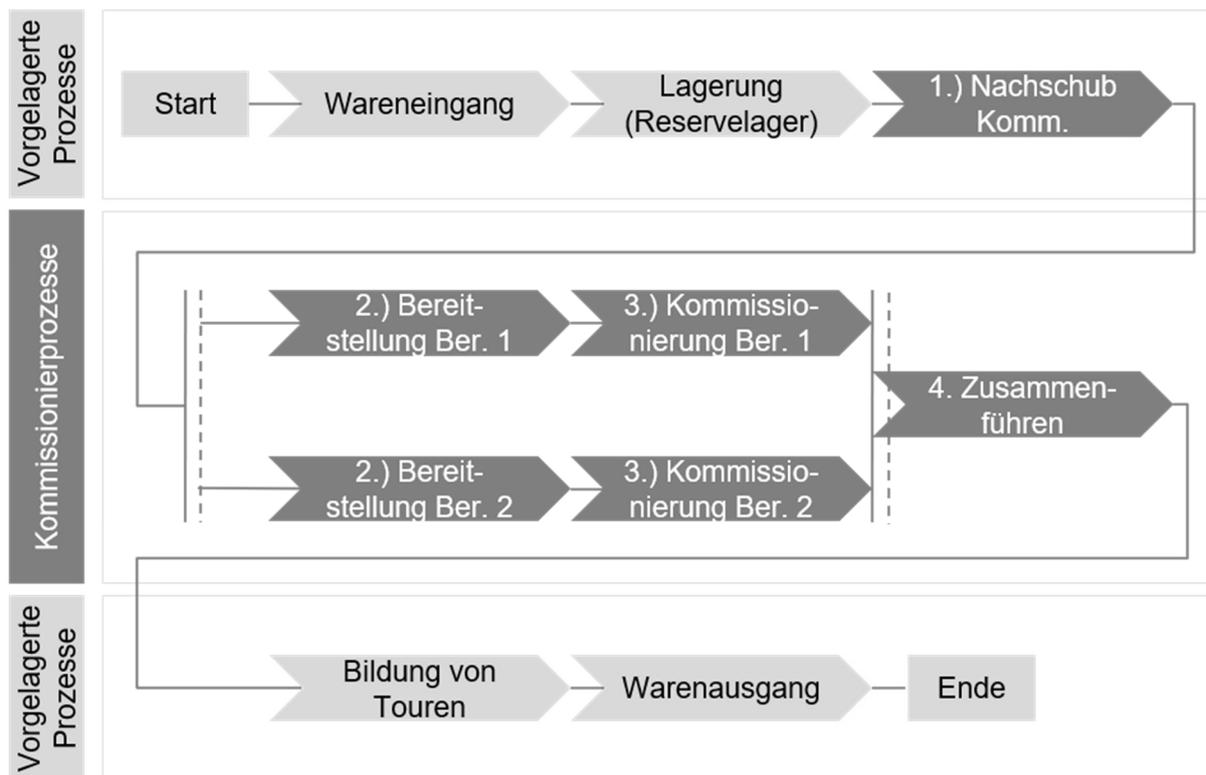


Abbildung 9: Kommissionierprozesse entlang des Materialflusses (eigene Darstellung nach ten Hompel 2010, S. 10)

Der Kommissionierprozess setzt sich wiederum aus folgenden Teilprozessen zusammen (vgl. Gudehus 2012, S. 650):

1. Fortbewegung der Bereitstelleinheiten auf die Bereitstellplätze (Nachschub)
2. Bereitstellung der Bereitstelleinheiten
3. Eigentliche Kommissionierung
  - a. Fortbewegung der Kommissionierenden zur Bereitstellung

- b. Entnahme der geforderten Menge aus der Bereitstelleinheit
  - c. Fortbewegung der Kommissioniereinheit zur Abgabe
  - d. Abgabe der Kommissioniereinheit
4. Zusammenführen der Kommissioniereinheiten

Um den Prozess der Kommissionierung zu beschleunigen, ist der Kommissionierbereich oft örtlich vom eigentlichen Lagerbereich (Reserve- bzw. Nachschublager) getrennt. Dies ermöglicht eine kompaktere Anordnung schnell-drehender Artikel, was zur Reduktion der Wegzeiten für die Kommissionierenden führt. Da sich der Kommissionierbereich aus dem Reservelager bedient, wird dieser auch als Nachschubbereich bezeichnet. In vielen Person-zu-Ware-Systemen (siehe Kapitel 2.3.2) sind Kommissionier- und Nachschubbereiche nicht horizontal, sondern vertikal getrennt. In vielen manuell bedienten Systemen wird ausschließlich von den unteren Regalebenen (bis ca. zwei Meter Oberkante Gut) kommissioniert. Dieser sogenannte direkte Zugriffsbereich wird mit Gütern von höher gelegenen Regalebenen (Nachschubbereich) nachbestückt (vgl. Thomas und Meller 2015, S. 743).

### 2.3.2 Kommissionierverfahren

Aus den unterschiedlichen Gestaltungsparametern der Teilprozesse ergibt sich eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Realisierung eines Kommissioniersystems. Diese Teilprozesse dienen insbesondere dem Zusammenkommen der drei zentralen Elemente des Kommissioniersystems:

- Bereitstelleinheiten
- Kommissionierer (Mensch oder Roboter)
- Aufträge

Unter der Annahme, dass stets zwei dieser Elemente zu dem dritten statischen Element kommen, ergeben sich insgesamt sechs Möglichkeiten zur Zusammenführung. Gemäß diesen Möglichkeiten werden sechs grundlegende Kommissionierverfahren unterschieden. Diese sind in Tabelle 2, gepaart mit der jeweiligen Gestaltung der Zusammenführung, aufgelistet (vgl. Gudehus 2012, S. 668ff.).

Tabelle 2: Die sechs grundlegenden Kommissionierverfahren und die Gestaltung der Zusammenführung der drei zentralen Elemente der Kommissionierung

Kommissionierverfahren	Gestaltung der Zusammenführung
Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (KKSAB)	Kommissionierende kommen mit den Aufträgen zu den Bereitstellereinheiten
Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (DKSAB)	Aufträge kommen zu den Kommissionierenden bei den Bereitstellereinheiten
Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung (SKDAB)	Bereitstellereinheiten kommen zu Kommissionierenden und Aufträgen
Inverses Kommissionieren mit statischer Auftragsbereitstellung (IKSAB)	Kommissionierende kommen mit Bereitstellereinheiten zu den Aufträgen
Mobiles Kommissionieren mit statischer Artikel- und Auftragsbereitstellung (MKSAAB)	Kommissionierende kommen zu den Aufträgen bei den Bereitstellereinheiten
Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikel- und Auftragsbereitstellung (SKDAAB)	Bereitstellereinheiten kommen mit Aufträgen zu den Kommissionierenden

Während Lagersysteme ohne Kommissionierprozesse heute voll mechanisierbar sind, ist der Mensch in den meisten Fällen in Kommissioniersystemen nicht vollständig durch Maschinen ersetzbar. Kognitive Fähigkeiten sowie das Tast- und Greifvermögen können meist noch nicht zu betriebswirtschaftlich vertretbaren Kosten auf Maschinen übertragen werden. Kommissionierende werden in dieser klassischen Einteilung der Kommissionierverfahren daher meistens als Menschen oder Personen bezeichnet, auch wenn diese Aufgabe teilweise bereits durch Roboter übernommen wird (vgl. Arnold und Furmans 2009).

Das konventionelle Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (KKSAB) ist auch als Person-zu-Ware-System (PzW) bekannt. Die Mehrheit heutiger Kommissioniersysteme ist nach diesem Prinzip aufgebaut, in dem sich der bzw. die Kommissionierende zu den statisch bereitgestellten Artikeln bewegt. Die Fortbewegung kann manuell (zu Fuß), mechanisiert (z. B. mittels Flurförderzeug) oder automatisiert (z. B. mittels verfahrbaren Kommissionierroboters) erfolgen. Bei zweidimensionalen Bewegungsabläufen kann nur von den Bodenplätzen (direkten Zugriffsplätzen) kommissioniert werden. Eine dreidimensionale Bewegung ermöglicht auch die Entnahme von Ware aus darüber liegenden Regalebene. Prozesse mit manueller Bewegung und manueller Entnahme nach dem Person-zu-Ware-Prinzip werden häufig auch als klassisches Kommissionieren bezeichnet (vgl. Dallari et al. 2009, S. 3f.).

Beim dezentralen Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (DKSAB) werden die Artikel ebenfalls statisch bereitgestellt. Die Kommissionierenden sind

jedoch bestimmten Zonen zugeteilt, in denen sie auf eine gewisse Anzahl an Artikeln zugreifen können. Die Aufträge bewegen sich beispielsweise in Form von Behältern auf Fördertechnik zwischen diesen Kommissionierzonen. Beim Einsatz eines Förderbandes für den Transport der Ware ist dieses Verfahren auch als Pick-to-Belt bekannt. Die auf das Fördergerät kommissionierten Artikel werden häufig in Form eines zweistufigen Kommissionierprozesses mithilfe eines Sorters zu den spezifischen Aufträgen zusammengeführt (vgl. ten Hompel 2010a, S. 86f.; Gudehus 2012, S. 673).

Das stationäre Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung (SKDAB) wird häufig als Ware-zu-Person-System (WzP) bezeichnet. Die Bereitstellereinheiten werden aus dem Lagerbereich an sogenannte Kommissionierstationen transportiert. An diesen findet der meist manuelle Greifvorgang statt. Die Abgabe der kommissionierten Einheiten kann wiederum statisch (z. B. in einen Sammelbehälter) oder dynamisch (z. B. auf ein Förderband) erfolgen. Nicht entnommene Restmengen werden anschließend zurück in den Lagebereich gebracht. Der Zu- und der Abtransport erfolgen über entsprechende Fördertechnik (vgl. Dallari et al. 2009, S. 4).

Beim inversen Kommissionieren mit statischer Auftragsbereitstellung (IKSAB) werden die Kundenaufträge in Form von Sammelbehältern statisch in einem Regal bereitgestellt. Die zu kommissionierenden Artikel werden analog zum SKDAB-Verfahren mittels Fördertechnik dynamisch bereitgestellt. Der bzw. die Kommissionierende entnimmt die entsprechenden Mengen aus den Bereitstellereinheiten und teilt diese auf die Kundenaufträge auf (vgl. ten Hompel 2010a, S. 89f.).

Das mobile Kommissionieren mit statischer Artikel- und Auftragsbereitstellung (MKSAB) ordnet die Bereitstellereinheiten und die Auftragsbehälter stationär, häufig gegenüber voneinander, an. Dazwischen verfährt die bzw. der Kommissionierende (in diesem Fall häufig ein Roboter) und teilt die Artikel den zugehörigen Aufträgen zu. Fertige Sammelbehälter werden meist automatisiert mittels Fördertechnik abtransportiert und durch einen neuen Auftrag ersetzt. Dieses Verfahren ist in der Praxis aufgrund sehr spezifischer Anforderungen eher selten zu finden.

Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikel- und Auftragsbereitstellung (SKDAAB) wird in der Praxis ebenfalls sehr selten angewandt. Die Zusammenführung von Bereitstellereinheiten und Auftragsbehältern zu einer bzw. einem stationären Kommissionierenden erfordert sehr hohen steuerungstechnischen Aufwand. Zusätzlich ist die sehr aufwendige Fördertechnik mit hohen Investitionssummen verbunden (vgl. Gudehus 2012, S. 678ff.).

### 2.3.3 Kommissioniertechnik

Die zur Realisierung der Teilprozesse der Kommissionierung (siehe Abbildung 9) eingesetzte Technik wird als Kommissioniertechnik bezeichnet. Hierzu werden in erster Linie Regal- und Fördertechnik (siehe Kapitel 2.2.3) sowie teilweise Sortiertechnik eingesetzt. Letztere wird beispielsweise bei der mehrstufigen Kommissionierung (z. B. Pick-to-Belt) eingesetzt. Abhängig von der benötigten Sortierleistung können Sortiergeräte wie Schuhschieb-, Kippschalen- oder Schwenkarmsorter eingesetzt werden. Da das Sortieren nicht zur eigentlichen Kommissionierung zählt, wird an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen. Technische Ausprägungen von Kommissioniersystemen, klassifiziert nach den Kommissionierverfahren (WzP und PzW) und Automatisierungsgrad, sind Abbildung 10 zu entnehmen (vgl. ten Hompel 2018, S. 247):

	Person-zur-Ware (PzW)	Ware-zur-Person (WzP)	Kombination aus PzW und WzP
manuell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konventionelles Kommissionieren</li> <li>• Kommissioniernest</li> <li>• Kommissioniertunnel</li> </ul>		
teilautomatisiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelles Kommissionieren mit FTS</li> <li>• Kommissionieren im HRL</li> <li>• Manuelles Kommissionieren mit Bahnhof</li> <li>• Manuelles Kommissionieren – Kombination aus DLR und FBR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommissionierstation mit Behälterregalanbindung</li> <li>• Kommissioniersystem mit Shuttlesystemanbindung</li> <li>• Kommissionierstation mit Horizontal-Umlaufregalanbindung</li> <li>• Vertikal-Umlaufregal</li> <li>• Lifsystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweistufige Kommissionierung mit Pick-to-Belt</li> <li>• Kommissionierung entlang einer Regalfront am AKL</li> <li>• Inverses Kommissionieren</li> </ul>
vollautomatisiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahrbarer Kommissionierroboter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stationärer Kommissionierroboter mit Palettenregalanbindung</li> <li>• Schachtkommissionierer</li> <li>• Automatisches Kollpicken</li> </ul>	

Abbildung 10: Technische Ausführung von Kommissioniersystemen gegliedert nach Automatisierungsgrad und Kommissionierverfahren (vgl. ten Hompel 2010, S. 66)

### 2.3.4 Betriebsstrategien für Kommissioniersysteme

Zusätzlich zu den Belegungs- und Bewegungsstrategien analog zu den Lagersystemen (siehe Kapitel 2.2.4) wird in Kommissioniersystemen u. a. auch zwischen Entnahme- und Nachschubstrategien unterschieden (vgl. Gudehus 2012, S. 703). Da es sich hierbei um operative Problemstellungen handelt, werden diese in der konzeptionellen Planungsphase nicht adressiert. Im Zuge der vorliegenden Arbeit wird nicht detailliert auf diese Strategien eingegangen.

## 2.4 Logistikplanung – Definition und Grundlagen

### 2.4.1 Einleitung und Begriffsdefinitionen

*„Planung ist die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns durch Abwägen verschiedener Handlungsalternativen und Entscheidung für den günstigsten Weg (...)“ (Martin 2009, S. 450)*

Die Aufgabe in der Planung von Logistiksystemen besteht darin, aus einer Vielzahl von Möglichkeiten die geeignete Technik auszuwählen, zu Leistungsketten zu verknüpfen, zu organisieren und zu dimensionieren, sodass die Anforderungen unter Berücksichtigung von Restriktionen kostenoptimal erfüllt werden. Um dies zu erreichen, muss die Planung systematisch, methodisch, dynamisch, iterativ, flexibel, anpassungsfähig, genau, vollständig, eindeutig, kontinuierlich und wirtschaftlich sein (vgl. Martin 2009, S. 450; Gudehus 2012, S. 66).

Die planerische Tätigkeit kann nach verschiedenen Kriterien unterteilt werden, sodass zwischen einer Vielzahl an Planungsarten unterschieden werden kann. Eine sachliche und aufgabenspezifische Einteilung der Planungsarten kann in Neubau-, Erweiterungs-, Sanierungs- und Rationalisierungsplanung erfolgen. Bei einer Neugestaltung auf der grünen Wiese ist beispielsweise die Anzahl an Beschränkungen wesentlich geringer als bei Umplanungsprojekten vorhandener Strukturen (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 344).

Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung der Planungsarten ist gemäß der Abhängigkeit vom Wirkungszeitraum der planerischen Entscheidung (vgl. Waters 2003, S: 59f.):

- **Strategische Planung:** Diese Planungsart befasst sich mit Entscheidungen, die den langfristigen Erfolg eines Unternehmens bestimmen. Die Strategie für bestimmte Geschäftsbereiche wird festgelegt. Der Wirkungszeitraum beträgt über 5 Jahre.
- **Taktische Planung:** Planungsentscheidungen dieser Planungsart befassen sich mit der mittelfristigen Implementierung der Strategien. Der Wirkungszeitraum liegt zwischen zwei und fünf Jahren.
- **Operative Planung:** Die operative Planung versucht Vorgaben der taktischen Planung zu realisieren. Der Zeithorizont beträgt ca. ein bis zwei Jahre.

Die Planung von logistischen Systemen durchläuft meist mehrere Planungsphasen in einem iterativen Prozess (vgl. Gudehus 2012, S. 88ff.):

- **Systemplanung bzw. Konzeptplanung** (Teilweise wird eine vorhergehende Zielplanungsphase bzw. Vorplanung, in der die Planungsgrundlagen geschaffen werden, unterschieden. In der vorliegenden Arbeit wird diese Grundlagenplanung als Teil der Konzeptplanung verstanden.)

- Ausführungsplanung oder Detailplanung (Teilweise erfolgt eine nachfolgende Ausschreibungsphase. In der vorliegenden Arbeit wird diese Ausschreibung als Teil der Detailplanung verstanden.)
- Systemaufbau bzw. Realisierung

In Abbildung 11 sind die Planungsschritte inklusive der jeweiligen Inhalte schematisch dargestellt:

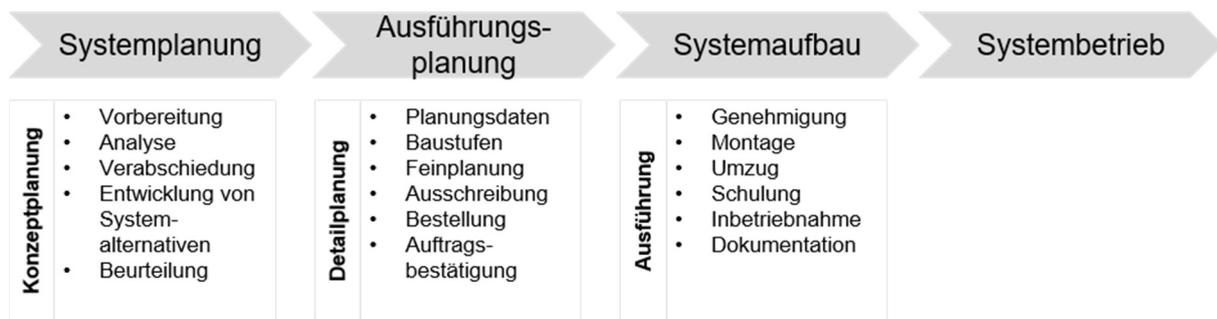


Abbildung 11: Phasen eines logistischen Planungsprojektes (eigene Abbildung nach Vorlage von Martin 2009, S. 443)

## 2.4.2 Planung von Lager- und Kommissioniersystemen

Im Zuge der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen müssen zahlreiche Entscheidungen getroffen werden. Diese werden als zu lösende Planungsprobleme bezeichnet und betreffen den strategischen und taktischen Planungshorizont. Bei der Planung von Lagersystemen kann zwischen fünf spezifischen Sub-Planungsproblemen unterschieden werden:

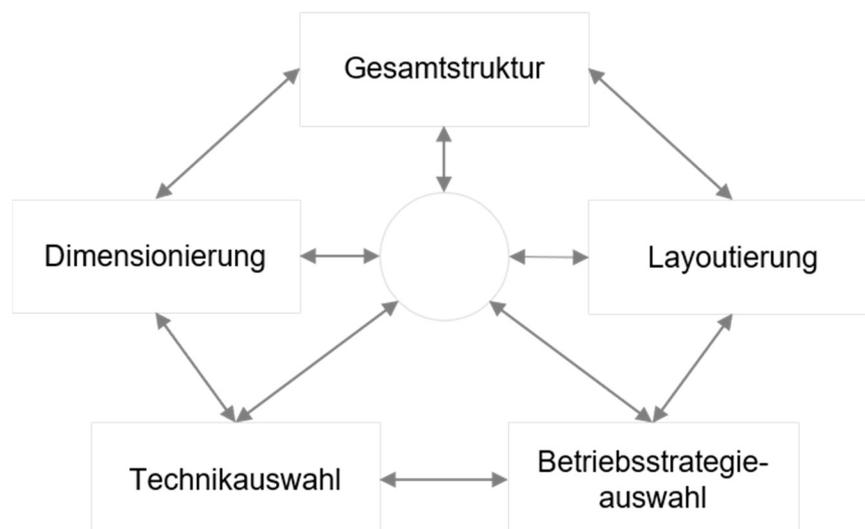


Abbildung 12: Planungsprobleme in der Konzeptplanungsphase von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Gu et al. 2010, S. 540)

Zur Lösung dieser Planungsprobleme werden verschiedene Methoden eingesetzt, wobei zwischen folgenden drei Lösungsmethoden unterschieden wird (vgl. Rouenhorst et al. 1999, S. 518f.):

- Heuristische Methoden
- Analytische Methoden
- Simulationsmethoden

Auf die einzelnen Lösungsmethoden, sowie deren Unterschiede, Anwendungsbereiche und Grenzen wird im Zuge von Kapitel 3 im Detail eingegangen (siehe Kapitel 3.2).

## 2.5 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Basierend auf den in den Kapiteln 2.1, 2.2, 2.3 und 2.4 erörterten Grundlagen erfolgt die Eingrenzung des in dieser Arbeit betrachteten Untersuchungsbereichs.

### 2.5.1 Festlegung der Systemgrenzen

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Gemäß dem in Abbildung 4 dargestellten Aufbau eines Systems wird im Zuge dieser Arbeit die Systemgrenze vom Wareneingangstor bis zum Warenausgangstor des zugehörigen Lager- und Kommissioniersystems festgelegt. Den Systeminput bilden die von den Lieferanten ankommende Ware sowie die von den Kundinnen und Kunden (bzw. Filialen) eingehenden Aufträge und ggf. Retouren. Der Systemoutput umfasst die an die Kundinnen und Kunden (bzw. Filialen) über den Warenausgang gelieferte Ware. Sämtliche Prozesse außerhalb dieser Systemgrenze, wie beispielsweise die warenein- und -ausgangsseitige Transportlogistik, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

### 2.5.2 Eingrenzung nach Lagerart

Wie in Kapitel 1 beschrieben legt die vorliegende Arbeit den Fokus auf die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel. Wie in Kapitel 2.2.2 bereits teilweise vorweggenommen, bedingt dies die Betrachtung der folgenden Lagerarten:

- Stellung im logistischen Prozess: Distributionslager bzw. Handelslager
- Bearbeitungsgrad: Absatzlager
- Bauform: geschlossenes Lager
- Gutklasse: Stückgut

- Lagerdauer: Kurzzeitlager mit Lagerung von wenigen Stunden bis Tagen (für Frischdienst) und Vorratslager mit Lagerung von einigen Tagen bis Wochen (für Trockensortiment)

### 2.5.3 Eingrenzung von Lager- und Kommissioniertechnik

Basierend auf der Eingrenzung des Lagerguts wird nachfolgend nur die Lager- und Kommissioniertechnik für Stückgut berücksichtigt. Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Expertengespräch mit einem erfahrenen Planer zahlreicher Lager- und Kommissioniersysteme im Bereich des Lebensmittelgroßhandels geführt. Die in der Praxis geeignete Lager- und Kommissioniertechnik für Lebensmittel wird nachfolgend basierend auf den Aussagen dieses Planers eingegrenzt (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

Im Lebensmittelgroßhandel wird die Ware vorwiegend auf Rollbehältern (RB) und Paletten (PAL) an- bzw. ausgeliefert. In Europa sind häufig Europaletten (E-PAL) und halbe Euro-Paletten bzw. Düsseldorferpaletten (DD-PAL) im Einsatz. Insbesondere für Frischware wie beispielsweise Fleisch, Obst und Gemüse werden auf den Paletten und Rollbehältern standardisierte Plastikbehälter (z. B. IFCO-Kisten) verwendet. Zur Lagerung der Lebensmittel sind neben diesen bereits genannten Ladungsträgern tlw. auch Tablettregale im Einsatz, um beispielsweise eine WzP-Kommissionierung zu ermöglichen. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung dieser für den Lebensmittelbereich geeigneten Ladungsträger.

Zur Lagerung dieser Ladeeinheiten und Ladungsträger kommen insbesondere bei Lebensmittelgroßhändlern mit verhältnismäßig kleinen Sortimentsbreiten und hohem Durchsatz (z. B. Discounter) häufig reine Bodenlager zum Einsatz. Anders als in anderen Branchen erfolgt die Bodenlagerung von Lebensmitteln fast ausschließlich ungestapelt. Die aufgrund des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD) meistens sehr strenge Vorgabe des First-in-First-out-Prinzips schränkt den Einsatz geeigneter Regaltechnik ein (z. B. bei einem Einschubregal ist das FIFO-Prinzip nur mit sehr hohem Zusatzaufwand umsetzbar). In der Praxis sind vor allem Palettenregale, Hochregallager in Silo-Bauweise (HRL), Behälterregale (z. B. Fachböden) sowie automatische Kleinteilelager (AKL) zur Lagerung der Ware in Verwendung. Für schnelldrehende Artikel werden diese Systeme auf Kommissionierebene häufig als Durchlaufregale ausgeführt. Zur Realisierung von WzP-Systemen werden häufig Shuttle-Systeme sowie Regalbediengeräte in Kombination mit den entsprechenden Stetigfördergeräten eingesetzt.

Die technische Umsetzung der Gewerke Lagergeräte und Lastaufnahmemittel sowie Zu- und Abfördersysteme wird analog zu den Ausführungen in Kapitel 2.2.3 unter dem Begriff Fördertechnik adressiert. Bezugnehmend auf Abbildung 8 werden zunächst die betrachteten Stetigförderer eingegrenzt. Diese sind stark von den im Lager

eingesetzten Ladungsträgern abhängig. Im Lebensmittelgroßhandel werden daher hauptsächlich Palettenfördertechnik und Tablarfördertechnik (in Form von angetriebenen Rollenbahnen, Tragkettenförderern und/oder Bandförderern sowie S-/C-Förderern) eingesetzt. Insbesondere Bandförderer werden beispielsweise für Pick-to-Belt-Systeme auch unabhängig vom Ladungsträger zur direkten Förderung der einzelnen Artikel verwendet. Diese Stetigförderer werden durch die zugehörige Unstetigfördertechnik in Form von Verschiebewagen, Umsetzern und Liften ergänzt. Zur automatisierten Regalbedienung kommen vor allem Regalbediengeräte sowie Kanalfahrzeuge (Shuttle) gepaart mit Liften zum Einsatz. Zu den ungeführten flurgebundenen Unstetigförderern zählen Flurförderzeuge und Stapler. Hier sind besonders Kommissionierfahrzeuge, Hubwagen und Stapler (insbesondere Schubmaststapler und Schmalgangstapler) relevant. Diese können ggf. auch in Form von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) ausgeführt sein.

#### **2.5.4 Eingrenzung der Kommissionierverfahren**

Ebenfalls basierend auf dem Expertengespräch wurden die in dieser Arbeit zu berücksichtigenden Kommissionierverfahren eingegrenzt. Analog zu der untersuchten Technik wird in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf in der Praxis relevante Systeme gelegt. Die beiden Kommissionierverfahren mobiles Kommissionieren mit statischer Artikel- und Auftragsbereitstellung und stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikel- und Auftragsbereitstellung finden, wie in Kapitel 2.3.2 bereits vorweggenommen, in der Praxis relativ selten Anwendung. Für den Lebensmittelgroßhandel sind diese beiden Verfahren nicht geeignet. Das mit Abstand am häufigsten vertretene Kommissionierverfahren im Lebensmittelgroßhandel ist, wie in anderen Branchen auch, das konventionelle Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung. Auch das dezentrale Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung in Form von Pick-to-Belt-Lösungen ist in der Praxis nicht selten vorzufinden. In höher automatisierten Systemen finden sich WzP-Lösungen in Form des stationären Kommissionierens mit dynamischer Artikelbereitstellung. In weiterer Folge beschränkt sich die vorliegende Arbeit daher auf die Betrachtung dieser drei für den Lebensmittelgroßhandel geeigneten Kommissionierverfahren (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

#### **2.5.5 Planungsbezogene Eingrenzung**

In Bezug auf die Planungsphasen (siehe Abbildung 11) liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Konzeptplanungsphase. Die nach der Lösung der Sub-Planungsprobleme folgende Detailplanungsphase inklusive Ausschreibung und Implementierung liegt nicht im Betrachtungsbereich dieser Arbeit. Sämtliche im Zuge der Konzeptplanungsphase relevanten und interdependenten Planungsprobleme sind hingegen Teil dieser Arbeit (siehe Abbildung 12). Hierzu werden insbesondere

heuristische und analytische Methoden eingesetzt. Die Simulation dient meist der Validierung und Verfeinerung der Ergebnisse, nachdem die Entscheidung für ein Konzept bereits gefallen ist, und fällt in die Detailplanungsphase.

## 2.6 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 2 wird zunächst auf Trends und deren Einfluss auf moderne Lagersysteme eingegangen. Anschließend werden die Begrifflichkeiten zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses definiert und Grundlagen der folgenden Themengebiete ausgearbeitet:

- Lagersysteme
- Kommissioniersysteme
- Logistikplanung

Auf Basis dieses theoretischen Bezugsrahmens wird der Betrachtungsbereich der vorliegenden Arbeit eingegrenzt. Eine Zusammenfassung über die einzelnen Eingrenzungsbereiche ist in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Übersicht über die im Kapitel 2 getroffenen Eingrenzungen des Untersuchungsbereiches

Untersuchungs- bereich	Eingrenzung
<b>Systemgrenze</b>	Wareneingangstor bis Warenausgangstor
<b>Lagerart</b>	Geschlossene Distributions- bzw. Handelswarenlager zur Lagerung von Stückgut von wenigen Stunden bis zu mehreren Tagen
<b>Ladeeinheiten und Ladungsträger</b>	Europaletten, Düsseldorferpaletten, Rollbehälter, IFCO-Kisten, Tablare
<b>Regaltechnik</b>	Palettenregale, Hochregallager (HRL), Behälterregale, Durchlaufregale, Automatische Kleinteilelager (AKL)
<b>Fördertechnik</b>	Palettenfördertechnik, Tablarfördertechnik, Verschiebewagen, Bandförderer, Regalbediengeräte, Lifte und Shuttle, Kommissionierfahrzeuge, Hubwagen, Schubmaststapler, Schmalgangstapler
<b>Kommissionierverfahren</b>	Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung, dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung, stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung
<b>Sub-Planungsprobleme</b>	Gesamtstruktur, Layoutierung, Betriebsstrategieauswahl, Technikauswahl, Dimensionierung
<b>Planungsphase</b>	Konzeptplanungsphase

### 3 Stand von Wissenschaft und Technik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Im Zuge einer detaillierten Literaturrecherche wurden zunächst relevante Metastudien zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen untersucht. In diesen Studien wurden fünf Themenschwerpunkte, in denen weiterer Forschungsbedarf besteht, identifiziert (vgl. Ashayeri und Gelders 1985; van den Berg 1999; Rouwenhorst et al. 1999; de Koster et al. 2007; Gu et al. 2007; Baker und Canessa 2009; Gu et al. 2010; Davarzani und Norman 2015; Manzini 2015; de Koster et al. 2017; Boysen et al. 2018; Kembro et al. 2018; van den Gils et al. 2018; Yener und Yazgan 2019). Darauf aufbauend ist dieses Kapitel gemäß folgender Themenschwerpunkte strukturiert:

1. Planungsart nach Wirkungszeitraum
2. Lösungsmethoden
3. Sub-Planungsprobleme
4. Kommissionierverfahren
5. Praxistaugliche Werkzeuge und Methoden

Um den spezifischen Ansprüchen des Lebensmittelgroßhandels gerecht zu werden, wurde in dieser Arbeit ein weiterer Themenschwerpunkt ergänzt:

6. Lebensmittelspezifische Anforderungen

Aus dem Quellenverzeichnis der Metastudien wurden anschließend sämtliche wissenschaftliche Beiträge identifiziert, die zumindest zwei der fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (siehe Abbildung 12) adressieren. Diese Quellen wurden im Zuge der Literaturrecherche um weitere wissenschaftliche Arbeiten ergänzt. Aufgrund der hohen Anzahl an Beiträgen, sowie ähnlicher Inhalte, wurde auf die detaillierte Beschreibung der einzelnen Modelle im Zuge dieser Arbeit verzichtet. Stattdessen werden diese in den Abbildung 15, Abbildung 16 und Abbildung 17 chronologisch aufgelistet und hinsichtlich des Erfüllungsgrades der sechs Themenschwerpunkte bewertet. Aufgrund der hohen praktischen Relevanz des Themenfeldes wurde diese Bewertung der wissenschaftlichen Beiträge durch die Untersuchung der Vorgehensweise bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Praxis ergänzt. Dies ermöglicht die in Kapitel 3.9 erfolgende Identifikation der Forschungslücke im Bereich der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel.

Der beschriebene Aufbau dieses Kapitels ist in Abbildung 13 schematisch dargestellt:

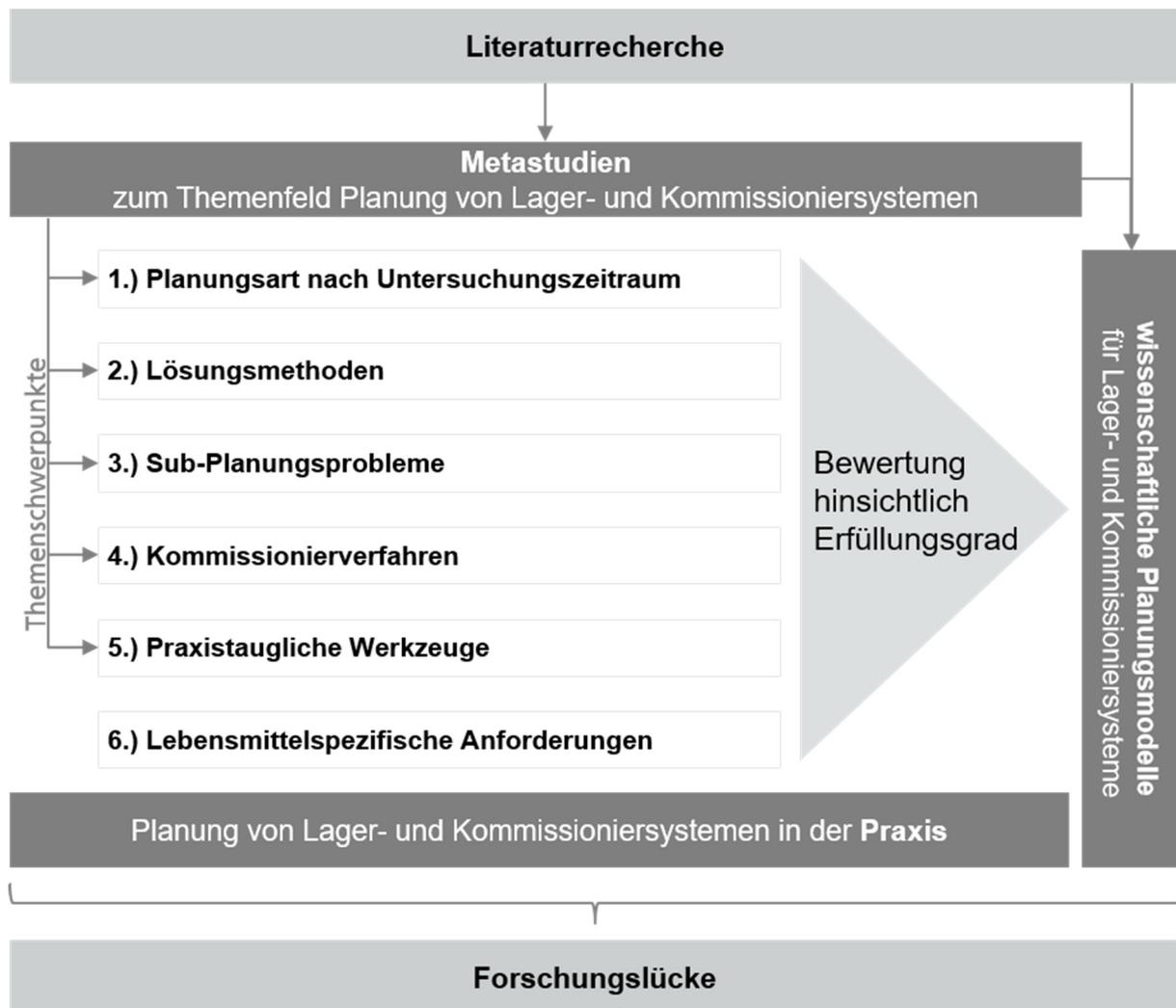


Abbildung 13: Übersicht über den Aufbau des Kapitels Stand von Wissenschaft und Technik

### 3.1 Planungsart nach Untersuchungszeitraum

Die gesamtheitliche Planung von Lager- und Kommissioniersystemen besteht aus strategischen, taktischen und operativen Entscheidungen. Die konzeptionelle Planung (auch Grobplanung genannt) ist den strategischen und taktischen Planungsproblemen gewidmet (siehe Kapitel 2.4.1). Strategische Planungsentscheidungen haben einen Wirkungszeitraum von ca. 10–15 Jahren und bestimmen beispielsweise den Automatisierungsgrad eines Lager- und Kommissioniersystems. Taktische Planungsentscheidungen adressieren einen Zeitraum von ca. fünf Jahren, wie beispielsweise die Dimensionierung der Lager- (Regal- und Fördertechnik) und Kommissioniertechnik (vgl. Dmitry Kucharavy et al. 2018, S. 396; van den Gils et al. 2018, S. 1).

In Abbildung 14 sind einzelne Planungsprobleme der Lagerplanung dem jeweiligen zeitlichen Wirkungszeitraum zugeteilt:



**Abbildung 14: Zuordnung von Planungsaufgaben der Lagerplanung zu dem entsprechenden Wirkungszeitraum**

Ein Großteil der wissenschaftlichen Beiträge zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen konzentriert sich auf taktische und operative Problemstellungen, wobei ein starker Fokus auf die Untersuchung rein operativer Planungsprobleme erkennbar ist. Wissenschaftliche Beiträge zur Untersuchung strategischer Problemstellungen bzw. der Kombination von taktischen und strategischen Problemstellungen sind die Ausnahme (vgl. Davarzani und Norrman 2015 S. 78f., Gu et al. 2010, S. 543; van den Gils et al. 2018, S. 1).

Da ein Großteil der Kosten eines Lagers bereits in der konzeptionellen Planungsphase, die sich mit strategischen und taktischen Problemstellungen auseinandersetzt (siehe Kapitel 2.4.2), festgelegt wird, ist die Untersuchung dieser Problemstellungen fundamental. Neben dem großen Effekt auf die Kosten- und Leistungsstruktur beeinflussen strategische Planungsentscheidungen in weiterer Folge auch sämtliche taktische und operative Planungsprobleme. Die Lösung dieser ist allerdings bei Weitem nicht trivial. Trotzdem werden diese häufig rein basierend auf der persönlichen Erfahrung der Planerinnen und Planer getroffen (vgl. Gu et al. 2010, S. 543; Kucharavy et al. 2018, S. 396).

Der Bedarf in der Praxis nach strategischen und taktischen Entscheidungsunterstützungen (z. B. Technologieauswahl) ist daher hoch. Gu et al. (2010) identifizieren daher den Forschungsbedarf im Bereich einfacher und schnell durchlaufbarer Modelle zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Auch Davarzani und Norrman (2015) sehen den Forschungsbedarf bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Untersuchung strategischer Planungsprobleme.

## 3.2 Lösungsmethoden

Wie in Kapitel 2.4.2 dargestellt, werden drei unterschiedliche Methoden zur Lösung der einzelnen Problemstellungen bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unterschieden:

- Heuristische Methoden
- Analytische Methoden
- Simulationsmethoden

Es existieren zahlreiche wissenschaftliche Beiträge, die Planungsprobleme von Lager- und Kommissioniersystemen mithilfe von Simulationsmethoden adressieren. Die Simulation eignet sich jedoch vorwiegend zur Plausibilisierung bzw. zur Detaillierung einer bereits ausgewählten Lösungsvariante. Für die gesamte Planungsphase eines Lager- und Kommissioniersystems würde ein simulativer Planungsansatz jedoch nicht zu praktisch anwendbaren Lösungsmodellen führen. In der konzeptionellen Planungsphase wäre die Simulation zahlreicher Grobkonzeptvarianten bei Weitem zu zeit- und kostenintensiv. So dauert es meist mehrere Wochen, um ein detailliertes Simulationsmodell für eine einzige Lösungsvariante zu erstellen. Häufig basiert die gesamte Planungsphase von Lager- und Kommissioniersystemen jedoch entweder auf erfahrungsbasierten Abschätzungen der Planerin bzw. des Planers und/oder detaillierten Simulationsmodellen. Es besteht daher akuter Forschungsbedarf für die rasche Entwicklung einer Methode zur Findung einer favorisierten Grobkonzept-Variante, die weniger auf Expertenwissen beruht und weniger detaillierter Datengrundlagen bedarf. Hierzu wird die Kombination von analytischen Methoden zur Generierung logistischer Kennzahlen und heuristischen Diagrammen (z. B. Entscheidungsbäume) als Entscheidungsunterstützung vorgeschlagen (vgl. Rouwenhorst et al. 1999, S. 523f.; Goetschalckx et al. 2001, S. 2f; Jacyna et al. 2015, S. 52; Manzini et al. 2015, S. 713).

## 3.3 Sub-Planungsprobleme

Die in Kapitel 1 erläuterte Komplexität bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen entspringt zum erheblichen Teil aus der großen Anzahl und der starken Interdependenz unterschiedlicher Sub-Planungsprobleme, die im Zuge dessen adressiert werden müssen. Diese können unterschiedlichen Planungsphasen (z. B. Zielplanungsphase, Konzeptplanungsphase und Detailplanungsphase) zugeordnet werden (vgl. Kapitel 2.4.1). Beispiele für Sub-Planungsprobleme aus sämtlichen Planungsphasen sind beispielsweise (vgl. Jacyna et al. 2015, S. 50):

- Datenanalyse inklusive Datengenerierung und Datenintegration (Zielplanung)
- Bestandsplanung und Bestellstrategien (Detailplanung)
- Auswahl des Automatisierungsgrades bzw. Technikauswahl (Konzeptplanung)

- Zuteilung von Ressourcen (Detailplanung)
- Prozessgestaltung (Detailplanung)

Die Konzeptplanungsphase von Lager- und Kommissioniersystemen kann, wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, in die folgenden fünf Sub-Planungsprobleme unterteilt werden:

- Anordnung der Funktionsbereiche zu einer Gesamtstruktur
- Dimensionierung des Lagers und der Funktionsbereiche
- Layoutierung der Funktionsbereiche
- Auswahl von Lager- und Kommissioniertechnik
- Auswahl von Lager- und Betriebsstrategien

Rouwenhorst et al. (1999) stellen fest, dass sich wissenschaftliche Beiträge zum Thema Planung von Lager- und Kommissioniersystemen auf die Betrachtung isolierter Sub-Probleme fokussieren. Govindaraj et al. (2000) kommen zu derselben Erkenntnis. De Koster et al. (2007) identifizieren einen Mangel an Arbeiten, die sich mit mehreren Sub-Planungsproblemen beschäftigen und diese in Zusammenhang bringen. Pohl et al. (2009) führen diesen Sachverhalt auf die hohe Komplexität und die starke Interdependenz der einzelnen Sub-Planungsprobleme in der Praxis zurück. Baker und Canessa (2009) kommen zu dem Schluss, dass aufgrund des starken Fokus auf die isolierten Planungsprobleme keine umfassenden Modelle zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen existieren. Gu et al. (2010) weisen auf die starke Interdependenz zwischen den Sub-Planungsproblemen und die Tatsache hin, dass diese nicht isoliert betrachtet werden können. Kostrzewski (2014) identifiziert im Zuge einer Metastudie große Mängel in bestehenden Planungsmodellen und -methoden aufgrund der fragmentierten Abhandlung der Sub-Planungsprobleme ohne Beachtung der bestehenden Wechselwirkungen und ohne Einhaltung logischer Reihenfolgen. Jacyna et al. (2015) merken an, dass sämtliche Sub-Planungsprobleme in der bestehenden Literatur nach wie vor getrennt voneinander behandelt werden. Van den Gils et al. (2018) führten eine Metastudie zum Thema Planung von Lager- und Kommissioniersystemen durch. Obwohl die meisten wissenschaftlichen Beiträge auf die starke Interdependenz der einzelnen Planungsprobleme hinweisen, werden diese nach wie vor isoliert behandelt. Kembro et al. (2018) heben hervor, dass die Aneinanderreihung isolierter Einzellösungen zu keiner optimalen Gesamtlösung führt.

Es existiert daher kein umfassendes Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen, das Methoden zur Lösung aller fünf Sub-Planungsprobleme liefert. Um effektive Methoden und Modelle zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen zu generieren, ist es für die künftige Forschung daher unerlässlich, die Sub-Planungsprobleme gesamtheitlich zu betrachten (vgl. Baker und

Canessa 2009, S. 425f.; McGinnis 2012, S. 1; Manzini et al. 2015, S. 713; Sprock et al. 2016, S. 66331f.).

### 3.4 Kommissionierverfahren

Ein Großteil der im Zuge der Literaturrecherche untersuchten Veröffentlichungen zum Themenfeld Planung von Lager- und Kommissioniersystemen beschränkt sich auf die Betrachtung von manuellen Person-zu-Ware-Systemen (konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung). Nur sieben der untersuchten Beiträge berücksichtigen das Verfahren stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung (Ware-zu-Person-System) im Zuge der Technikauswahl. Automatisierte Lösungen, die mit dem Ware-zu-Person-Prinzip einhergehen, erhalten wenig Aufmerksamkeit in der akademischen Fachliteratur. Weitere Kommissionierverfahren wie beispielsweise das dezentrale Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (z. B. Pick-to-Belt-Systeme) werden in keinem der untersuchten Planungsmodelle berücksichtigt (vgl. Gray et al. 1991, S. 18; Bodner et al. 2002, S. 3; Chakraborty und Banik 2006, S. 1237ff.; Dallari et al. 2009, S. 12; Apple et al. 2010, S. 15; Goetschalckx et al. 2012, S. 1f.; Gudehus 2008, S. 685; Azadeh et al. 2018, S. 1).

Ein Grund hierfür ist, dass ein Großteil aller Lager- und Kommissioniersysteme nach dem Prinzip der klassischen manuellen Kommissionierung (PzW) aufgebaut ist. Selbst in Westeuropa, wo Flächen und Arbeitskräfte teuer sind (vgl. Kapitel 2.2.5), werden ca. 80 % der Lager- und Kommissioniersysteme manuell nach dem Person-zu-Ware-Prinzip betrieben. Automatisierte Lösungen gewinnen allerdings zunehmend an Bedeutung. Einer Studie zufolge dachte bereits 2014 ein Großteil der befragten Unternehmen über die zukünftige Automatisierung des Kommissionierprozesses nach. Diese automatisierten Lösungen können Durchsatz und Effizienz eines Lager- und Kommissioniersystems signifikant steigern. Des Weiteren kann durch eine ergonomischere Arbeitsweise der Belastung und dem Abgang von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern entgegengewirkt werden. Der Einbezug von Ware-zur-Person-Technologien führt allerdings zu einer grundlegenden Veränderung in der Vorgehensweise bei der Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Marchet et al. 2014, S. 83; de Koster et al. 2017, S. 6327ff.; Azadeh et al. 2018, S. 1; Altarazi und Ammouri 2018, S. 1266; van den Gils et al. 2018, S. 1).

Aufgrund dieser Entwicklungen in der Praxis sollten die Sub-Planungsprobleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen auf automatisierte Lösungssysteme erweitert werden. Insbesondere bei der Auswahl des passenden Kommissionierprozesses sollten Ware-zu-Person-Systeme (z. B. AKL) sowie weitere Kommissionierverfahren (z. B. Pick-to-Belt) in Zukunft berücksichtigt werden. Aufgrund spezifischer Anforderungen automatisierter Lager- und Kommissioniersysteme sehen

auch Azadeh et al. (2018) großen Bedarf an neuen Modellen und Methoden, die die individuellen Planungsanforderungen dieser automatisierten Systeme adressieren. Davarzani und Norrman (2015) zufolge gibt es akuten Forschungsbedarf zur adäquaten Auswahl von Lagertechnik. Hierzu zählen die Auswahl des Automatisierungsgrades des Lager- und Kommissioniersystems, die Identifikation der Anforderungen an zugehörige operative Prozesse sowie die Definition passender Auswahlkriterien (vgl. Accorsi et al. 2014, S. 186).

### 3.5 Praxistaugliche Werkzeuge

In der wissenschaftlichen Modellen zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen mangelt es an praxistauglichen Werkzeugen, um den Einzug in die Praxis der Lagerplanung zu schaffen. Grund hierfür ist einerseits der in Kapitel 3.3 beschriebene Fokus auf isolierte Sub-Planungsprobleme und andererseits der Mangel an praxistauglichen Planungsmethoden. Jeder einzelne Planungsschritt benötigt spezifische Methoden und Werkzeuge, um Planungsprobleme aus der Praxis adressieren zu können. Die meisten untersuchten Planungsmodelle verwenden keine realen Datensätze aus der Praxis zur Evaluierung oder in Form eines Fallbeispiels. Stattdessen wird häufig auf künstlich generierte Testdatensätze zurückgegriffen. Zahlreiche wissenschaftliche Beiträge weisen darauf hin, dass der Planungserfolg in hohem Maße von der Art und Qualität der Planungsmethoden je Planungsschritt abhängt. Es herrscht jedoch große Uneinigkeit über die Art dieser Methoden (vgl. Baker und Canessa 2009, S. 430; Davarzani und Norrman 2015, S. 78; Jacyna et al. 2015, S. 52; van den Gils et al. 2018, S. 12ff.).

Die meisten IT-Systeme großer Distributionszentren generieren und speichern sämtliche Bestellvorgänge seitens der Kundinnen und Kunden. Diese Daten werden im Normalfall von der IT-Abteilung ausgelesen und dienen primär der finanziellen Berichterstattung. Dieselben Informationen werden allerdings auch zur Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen herangezogen. Für die Planung bedeutet dies, dass Planungsmodelle in der Lage sein müssen, sehr große Mengen an realen Datensätzen verarbeiten zu können. Im Umgang mit praktischen Planungsdaten liegt eine Herausforderung neben dem Umgang mit großen Datenmengen in der oft sehr stark schwankenden Datenqualität. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Daten aus unterschiedlichen Quellen stammen und zeitweise manuell generiert werden. Der Umgang mit diesen Daten gestaltet sich meist sehr zeit- und kostenintensiv. Ein signifikanter Anteil der Planungsphase wird daher häufig für die Überprüfung, Validierung und Aufbereitung der Daten aufgewandt. In der Literatur beschriebene praxistaugliche Methoden zum Thema Datenaufbereitung und -analyse fokussieren sich zu einem großen Teil auf Datenanforderungslisten, die in mehreren wissenschaftlichen Beiträgen beispielhaft angeführt werden. Für die Datenanalyse werden in der Praxis hauptsächlich Tabellenkalkulationen eingesetzt (vgl. Baker und

Canessa 2009, S. 431; Accorsi et al. 2014, S. 176; Davarzani und Norrman 2015, S. 78; Pfohl 2016, S. 263; Bartholdi und Hackmann 2017, S. 1).

Die Wirtschaftlichkeit ist neben der Durchsatzleistung und der Lagerkapazität der entscheidendste Optimierungsparameter bei der Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Chen et al. 2010, S. 70). Hinsichtlich Wirtschaftlichkeit eines Systems wird unterschieden zwischen:

- Betriebskosten: Diese Kosten setzen sich aus den kalkulatorischen Abschreibungen und der Verzinsung des Kapitals, den Kosten für Energie und Instandhaltung sowie den Personalkosten zusammen (vgl. Martin 2009, S. 354f.).
- Investitionen: Zu berücksichtigende Investitionsausgaben bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sind Grundstückspreis und Erschließungskosten, Investition für Gebäude und Lagertechnik (Regal- und Stetig-Fördertechnik) sowie Ausgaben für brandschutztechnische Maßnahmen (vgl. Gudehus 2012, S. 626f.).

Wirtschaftliche Aspekte wie Betriebskosten und Investitionen werden von den untersuchten Planungsmodellen meist nicht berücksichtigt, ebenso werden in diesen keine Methoden und Werkzeuge zur Kalkulation der Investitionen und Betriebskosten vorgestellt (vgl. Gu et al. 2010, S. 540; Thomas und Meller 2015, S. 744).

Im Zuge der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen werden meistens mehrere Konzeptvarianten erstellt. Aufgrund der hohen Interdependenz der einzelnen Sub-Planungsprobleme kann die Änderung eines einzigen Planungsparameters viele andere Funktionsbereiche betreffen. Die Kombination dieser Parameter führt zu einer großen Anzahl an Möglichkeiten, die in Form von neuen Varianten berücksichtigt werden müssen. Insbesondere bei Grobkonzeptvarianten mit ähnlichen Kosten ist die Auswahl einer Vorzugsvariante häufig schwierig (vgl. Baker und Canessa 2009, S. 434f.; Thomas und Meller 2013, S. 1205f.).

McGinnis et al. (2000) identifizieren den Forschungsbedarf im Bereich der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Entwicklung und der Integration praxistauglicher Werkzeuge in den Planungsprozess. Baker und Canessa (2009) zufolge ist die große Diskrepanz zwischen Wissenschaft und Praxis in Bezug auf die Lagerhaltung durch praxistaugliche Werkzeuge zu beheben. Murrenhoff et al. (2015) stellen fest, dass noch keine praxistaugliche Tool-Chain zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen entwickelt wurde.

### 3.6 Lebensmittelspezifische Anforderungen

Die wachsende Bevölkerungsanzahl und die steigende Nachfrage nach einer größeren Auswahl an Lebensmitteln erschweren die Produktion und Bereitstellung dieser zusehends. Im Lebensmittelsektor spielt die Leistungsfähigkeit der Supply Chains großer Lebensmittelhändler eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Verfügbarkeit von Lebensmitteln in den Supermärkten. Die Qualität der Lagerung und Auslieferung der Lebensmittel hat signifikante Auswirkung auf die Reputation des Unternehmens (vgl. Hu et al. 2009, S. 2201; Etemadnia et al. 2015, S. 648).

Neben den steigenden Anforderungen in Bezug auf die Vielfalt stellt speziell die Produktqualität moderne Lebensmittelgroßhändler vor große Herausforderungen. Ein signifikantes Qualitätsmerkmal von Lebensmitteln ist der Frischegrad. Die Frische ist vor allem für verderbliche Lebensmittel wie beispielsweise Obst, Gemüse, Milchprodukte, Fleischerzeugnisse und Fisch ausschlaggebend. Diese lebensmittelspezifischen Qualitätsmerkmale sollten bei der Auslegung des Logistiknetzwerks unbedingt berücksichtigt werden. Kritische Ereignisse, wie etwa Lebensmittelsicherheitsskandale, können den Ruf einer Marke nachhaltig schädigen. Die Verderblichkeit der oben erwähnten Produkte und die zunehmende Nachfrage nach erhöhten Sicherheitsstandards machen Supply Chains noch komplexer. Häufig erwachsen zudem signifikante Kosten in Verbindung mit der Entsorgung verderblicher Produkte. Es gehen bis zu 30 % aller Frischeartikel bereits vor dem Erreichen der Endkundinnen und Endkunden entlang der Supply Chain verloren. Dies führt zu großen wirtschaftlichen, umwelttechnischen sowie ethischen Problemen (vgl. Amorim et al. 2012, S. 89; Accorsi et al. 2017, S. 917; de Keizer et al. 2017, S. 535; Baruffaldi et al. 2019, S. 131; Yang et al. 2019, S. 998).

Ein wesentlicher Faktor, der bei der Planung von Supply Chains im Lebensmittelhandel zu berücksichtigen ist, ist das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD). Für Frischeartikel liegt dieses zwischen wenigen Tagen bis zu wenigen Wochen und beginnt im Wesentlichen ab dem Zeitpunkt, an dem das Produkt fertig produziert wurde. Ohne Berücksichtigung des MHDs (beispielsweise durch ein strenges FIFO-Prinzip) können große Anteile des Bestandes den kompletten Warenwert verlieren, noch bevor das Produkt ausgeliefert wurde. Das tatsächliche Haltbarkeitsdatum eines Produktes unterliegt jedoch starken Schwankungen und kann insbesondere durch externe Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Vibrationen beim Transport) massiv beeinflusst werden (vgl. Amorim et al. 2012, S. 89; Accorsi et al. 2017, S. 917; de Keizer et al. 2017, S. 535).

Den größten Einfluss auf die Haltbarkeit von verderblichen Produkten im Zuge von logistischen Operationen wie Transport, Lagerung und Kommissionierung hat die Temperatur, bei der diese Prozesse durchgeführt werden. Die Temperatur, bei der die Lebensmittel gelagert werden, ist hierbei der größten Stellhebel, die

physikochemischen Eigenschaften entlang der Supply Chain zu beeinflussen, da die Produkte den verhältnismäßig größten Anteil der Durchlaufzeit bis zu den Endkundinnen und Endkunden in der Lagerung verbringen. Neben der reinen Lagerung spielt allerdings auch die Temperatur in jenen Bereichen, in denen die Produkte einen verhältnismäßig geringen Zeitanteil verbringen, eine Rolle. Der Erhalt der Kühlkette entlang der kompletten Supply Chain ist daher hinsichtlich der Haltbarkeit von Lebensmitteln entscheidend und muss bei der Planung dieser Netzwerke, speziell in Lagersystemen, berücksichtigt werden. (vgl. Ketzenberg et al. 2015, S. 54; de Keizer et al. 2017, S. 535; Baruffaldi et al. 2019, S. 131).

Aufgrund der hohen Produktvielfalt werden im Lebensmittelgroßhandel meist verschiedene Produktklassen gemeinsam gelagert und kommissioniert. Bei verderblichen Produktklassen können chemische oder biologische Reaktionen zwischen den einzelnen Artikeln großen Einfluss auf die Haltbarkeit der Produkte haben. In der Praxis ist häufig zu beobachten, dass die gemeinsame Lagerung gewisser Obst- und Gemüsesorten sowie Fisch und Fleisch zu einer Verkürzung der Zeitperiode bis zum Verderben der Produkte führen kann. Diese Wechselwirkung wird als Kreuzverderblichkeit bezeichnet (vgl. Yang et al. 2019, S. 998). Es wird zwischen zwei Arten der Kreuzverderblichkeit unterschieden:

1. Kreuzverderblichkeit durch Ethylen: Die Chemikalie Ethylen wird von zahlreichen Früchten als gasförmiger, wachstumsregulierender Botenstoff im Zuge des Reifungsprozesses von Pflanzen (insbesondere von Obst und Gemüse) ausgeströmt. Ein Überschuss dieses Gases führt zu einem Chlorophyll-Verlust. So führt beispielsweise das Verderben einer einzelnen Frucht zu einer Reduktion der Haltbarkeit umliegender Produkte. Lebensmittel haben jedoch individuelle Eigenschaften hinsichtlich des Ausstoßes sowie der Reaktion auf Ethylen. Obstsorten wie Äpfel und Avocados produzieren beispielsweise hohe Mengen an Ethylen und sind gleichzeitig empfindlich in Bezug auf dessen Effekte. Andere Früchte produzieren das Gas zwar nicht selbst, sind aber sensibel auf dessen Wirkung (z. B. Spargel und Brokkoli). Paprika und Beeren sind hingegen Vertreter von Obst- und Gemüsesorten, die nicht auf den Einfluss von Ethylen reagieren (Al Ubeed et al. 2017, S. 81).
2. Kreuzverderblichkeit durch Bakterien: Die zweite Ursache für Kreuzverderblichkeit in Lebensmitteln ist die Bildung von Bakterien, die das Verderben anderer Lebensmittel beschleunigen können. Abhängig von Temperatur-, Lager- und Verpackungszuständen verzehren zahlreiche Bakterienstämme die Nährstoffe dieser Lebensmittelgruppen. Diese scheiden ungewünschte Stoffwechselprodukte aus, die zum schnelleren Verderben angrenzender Lebensmittel führen (vgl. Borch et al. 1996, S. 103; Yang et al. 2019, S. 998f.).

Obwohl die Verderblichkeit die Logistiknetzwerke großer Lebensmittelhändler vor zusätzliche Herausforderungen stellt, wird diese in wenigen wissenschaftlichen Beiträgen im Zuge der Logistikplanung untersucht. Es besteht daher ein Bedarf an wissenschaftlichen Beiträgen, die Lagersysteme in Zusammenhang mit den geforderten Kühlketten für verderbliche Produkte bringen. Auch die Kreuzverderblichkeit von Lebensmitteln ist in der Praxis lange bekannt, in Bezug auf die Lagerung von Lebensmitteln wurde dieser Effekt jedoch wissenschaftlich noch nicht untersucht. Keine der untersuchten Modelle zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen berücksichtigt produktspezifische Anforderungen. Vor allem lebensmittelspezifische Anforderungen wie beispielsweise das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD), der Erhalt der Kühlketten und die Kreuzverderblichkeit bei der Lagerung und Kommissionierung von Lebensmitteln werden nicht adressiert (vgl. Baruffaldi et al. 2019, S. 131; Yang et al. 2019, S. 998).

### 3.7 Planungsmodelle für Lager- und Kommissioniersysteme

Im Zuge der Literaturrecherche wurden 15 themenrelevante Metastudien identifiziert. Die im Quellenverzeichnis angeführten Beiträge wurden um zusätzliche wissenschaftliche Arbeiten ergänzt und diese untersucht. Da sich die Charakteristik von Lager- und Kommissioniersystemen in den 1990er-Jahren fundamental veränderte (vgl. Kapitel 1.1) wird nachfolgend der Fokus auf Veröffentlichungen nach dem Jahr 2000 gelegt. Sämtliche Beiträge, die die konzeptionelle Planung von Lager- und Kommissioniersystemen adressieren, wurden im Detail untersucht und in Abbildung 15, Abbildung 16 und Abbildung 17 chronologisch aufgelistet. Anschließend wurden diese anhand der folgenden Fragestellungen bezüglich des Erfüllungsgrades bewertet:

1. Welche Planungsart nach Wirkungszeitraum wird adressiert?
2. Welche Lösungsmethoden werden eingesetzt?
3. Welche Sub-Planungsprobleme werden behandelt?
4. Welche Kommissionierverfahren werden berücksichtigt?
5. Welche praxistauglichen Werkzeuge werden präsentiert?
6. Welche lebensmittelspezifischen Anforderungen werden berücksichtigt?

Diese Bewertung dient als Grundlage für die in Kapitel 3.9 identifizierte Forschungslücke.

Legende			1.) Planungsart nach Wirkungszeitraum			2.) Lösungs-methoden			3.) Sub-Planungsprobleme					4.) Kommissionier-verfahren			5.) Praxistaugliche Werkzeuge			6.) Lebensmittel-spezifische Anforderungen			
Nicht erfüllt																							
Großteils nicht erfüllt																							
Teilweise erfüllt																							
Großteils erfüllt																							
Vollständig erfüllt																							
Nr.	Jahr	Verweis	Strategisch	Taktisch	Operativ	Heuristische Verfahren	Analytische Kalkulation	Simulation	Festlegung der Gesamtlagerstruktur	Dimensionierung d. Funktionsbereiche	Auswahl der Lagertechnik	Auswahl der Belegungsstrategie	Layoutierung der Funktionsbereiche	KKSAB	DKSAB	SKDAB	Datenaufbereitung und -analyse	Variantenauswahl	Kostenkalkulation	Mindest-haltbarkeitsdatum	Kühlketten	Kreuzverderblichkeit	
1	1991	vgl. Gray et al. (1991)	☐	☐	☐	☐	●	●	☐	☐	☐	☐	☐	☐	○	○	●	○	○	○	○	○	○
2	1996	vgl. Yoon und Sharp (1996)	☐	☐	○	●	●	○	☐	☐	☐	☐	☐	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
3	2000	vgl. Govindaraj et al. (2000)	☐	☐	○	●	●	●	☐	☐	☐	☐	☐	k. A.	k. A.	k. A.	☐	○	○	○	○	○	○
4	2000	vgl. McGinnis (2000)	☐	☐	☐	○	●	○	☐	☐	☐	☐	☐	k. A.	k. A.	k. A.	☐	○	☐	○	○	○	○
5	2001	vgl. Goetschalckx et al. (2001)	☐	☐	○	○	●	○	☐	☐	☐	○	☐	☐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	2002	vgl. Bodner et al. (2002)	☐	☐	☐	☐	●	○	☐	☐	☐	☐	○	☐	○	☐	○	○	☐	○	○	○	○
7	2002	vgl. Hassan (2002)	☐	○	○	●	○	○	○	○	○	○	☐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	2002	vgl. Karathur et al. (2002)	☐	☐	☐	●	●	○	☐	☐	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
9	2005	vgl. Heragu et al. (2005)	○	☐	☐	●	●	○	☐	☐	○	○	☐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	2006	vgl. Chakraborty und Banik (2006)	☐	○	○	○	●	○	○	○	☐	○	○	☐	○	☐	○	☐	○	○	○	○	○
11	2009	vgl. Dallari et al. (2009)	☐	☐	☐	●	○	○	○	☐	☐	☐	○	●	○	●	○	☐	○	○	○	○	○
12	2008	vgl. Geraldes et al. (2008)	○	☐	☐	●	●	○	☐	☐	○	○	☐	●	○	○	☐	○	○	○	○	○	○
13	2008	vgl. Roobergen et al. (2008)	☐	○	○	○	●	○	○	○	○	○	☐	●	○	○	○	☐	○	○	○	○	○
14	2009	vgl. Baker und Canessa (2009)	☐	☐	☐	●	●	●	☐	☐	☐	☐	☐	k. A.	k. A.	k. A.	☐	☐	☐	○	○	○	○
15	2009	vgl. Pohl et al. (2009)	☐	☐	○	○	●	○	○	○	○	○	☐	●	○	○	○	○	☐	○	○	○	○

Abbildung 15: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 1

Legende			1.) Planungsart nach Wirkungszeitraum			2.) Lösungs-methoden			3.) Sub-Planungsprobleme					4.) Kommissionier-verfahren			5.) Praxistaugliche Werkzeuge			6.) Lebensmittel-spezifische Anforderungen			
Nicht erfüllt																							
Großteils nicht erfüllt																							
Teilweise erfüllt																							
Großteils erfüllt																							
Vollständig erfüllt																							
Nr.	Jahr	Verweis	Strategisch	Taktisch	Operativ	Heuristische Verfahren	Analytische Kalkulation	Simulation	Festlegung der Gesamtlagerstruktur	Dimensionierung d. Funktionsbereiche	Auswahl der Lagertechnik	Auswahl der Belegungsstrategie	Layoutierung der Funktionsbereiche	KKSAB	DKSAB	SKDAB	Datenaufbereitung und -analyse	Variantenauswahl	Kostenkalkulation	Mindest-haltbarkeitsdatum	Kühlketten	Kreuzverderblichkeit	
16	2010	vgl. Apple et al. (2010)	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○
17	2012	vgl. Cakmak et al. (2012)	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18	2012	vgl. Goetschalckx et al. (2012)	○	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19	2012	vgl. Gudehus (2012)	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	2012	vgl. Gue et al. (2012)	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	2012	vgl. Kostrzewski (2012)	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22	2012	vgl. McGinnis. (2012)	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
23	2012	vgl. Sooksaksun et al. (2012)	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24	2014	vgl. Accorsi et al. (2014)	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
25	2014	vgl. Kostrzewskii (2014)	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
26	2014	vgl. McGinnis und Sprock (2014)	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
27	2014	vgl. Öztürkoglu et al. (2014)	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
28	2014	vgl. Thomas und Meller (2014)	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
29	2015	vgl. Cardona et al. (2015)	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30	2015	vgl. Jacyna et al. (2015)	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○

Abbildung 16: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 2

Legende			1.) Planungsart nach Wirkungszeitraum			2.) Lösungs-methoden			3.) Sub-Planungsprobleme					4.) Kommissionier-verfahren			5.) Praxistaugliche Werkzeuge			6.) Lebensmittel-spezifische Anforderungen			
Nicht erfüllt																							
Großteils nicht erfüllt																							
Teilweise erfüllt																							
Großteils erfüllt																							
Vollständig erfüllt																							
Nr.	Jahr	Verweis	Strategisch	Taktisch	Operativ	Heuristische Verfahren	Analytische Kalkulation	Simulation	Festlegung der Gesamtlagerstruktur	Dimensionierung d. Funktionsbereiche	Auswahl der Lagertechnik	Auswahl der Belegungsstrategie	Layoutierung der Funktionsbereiche	KKSAB	DKSAB	SKDAB	Datenaufbereitung und -analyse	Variantenauswahl	Kostenkalkulation	Mindest-haltbarkeitsdatum	Kühlketten	Kreuzverderblichkeit	
31	2015	vgl. Murrenhoff et al. (2015)	○	◐	○	○	●	○	○	○	○	◐	○	◐	○	○	○	○	◐	○	○	○	○
32	2015	vgl. Rakesh und Adil (2015)	◐	◐	○	○	●	○	○	○	○	○	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
33	2015	vgl. Thomas und Meller (2015)	◐	◐	○	●	●	○	○	◐	○	○	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
34	2016	vgl. Abdoli und Kara (2016)	◐	◐	◐	◐	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
35	2016	vgl. Horta et al. (2016)	◐	◐	○	○	●	○	○	○	○	○	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
36	2016	vgl. Sprock et al. (2016)	◐	◐	◐	●	●	○	◐	◐	◐	◐	◐	●	○	○	○	○	◐	○	○	○	○
37	2017	vgl. Bottani et al. (2017)	◐	◐	◐	○	●	○	○	○	○	○	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
38	2017	vgl. Pyza et al. (2017)	○	◐	○	○	●	○	○	○	◐	○	○	◐	○	○	○	○	◐	○	○	○	○
39	2018	vgl. Altarazi und Ammouri (2018)	◐	◐	◐	○	○	●	○	◐	○	◐	●	○	○	○	○	◐	◐	○	○	○	○
40	2018	vgl. Kucharavy et al. (2018)	○	◐	○	○	●	○	○	○	◐	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○	○
41	2018	vgl. Öztürkoğlu und Hoser (2018)	◐	◐	○	○	●	○	○	○	○	◐	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○
42	2018	vgl. Mourtzis et al. (2018)	◐	◐	◐	○	●	●	○	●	◐	◐	◐	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
43	2019	vgl. Bottani et al. (2019)	◐	◐	○	●	●	○	◐	◐	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Abbildung 17: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 3

### 3.8 Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Praxis

Wie im Zuge dieses Kapitels bereits dargelegt besteht eine große Diskrepanz hinsichtlich der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen zwischen Wissenschaft und Praxis. Dieser Sachverhalt kann auf zwei Ursachen zurückgeführt werden (vgl. Gu et al. 2010, S. 547; Davarzani und Norrman 2015, S. 77f.):

- 1.) Es wird nicht an den praxisrelevanten Problemstellungen geforscht. Der Fokus in der praktischen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen liegt insbesondere auf strategischen und taktischen Problemstellungen wie der Gestaltung der Gesamtlagerstruktur, der Auswahl der passenden Lagertechnik und der Layoutplanung. Im wissenschaftlichen Fokus stehen hingegen vorwiegend operative Problemstellungen.
- 2.) Die Forschungsergebnisse werden nicht in passender Form übermittelt. Entwickelte Lösungen werden häufig nicht auf praxisnahe Fallbeispiele angewandt und es werden keine praxistauglichen Werkzeuge für die einzelnen Planungsschritte vorgestellt.

Aufgrund des Fehlens einer allgemein akzeptierten, strukturierten Vorgehensweise zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen haben die meisten Planerinnen und Planer einen individuellen Ansatz entwickelt. Diese Ad-hoc-Methoden basieren stark auf dem individuellen Expertenwissen und Intuition. Daten werden oft nicht im Detail analysiert, sondern bloß grob geschätzt, Entscheidungen basierend auf Faustregeln getroffen und es werden eigens erstellte Tabellenkalkulationen und Datenbanken als Planungsmethoden verwendet. Diese „selbstgebastelten“ Modelle sind nicht nur unvollständig, sondern führen auch zu stark unterschiedlichen Lösungen. Meist werden Lösungen basierend auf persönlichen Präferenzen der Planerinnen und Planer favorisiert, da sich diese in der Vergangenheit bewährt haben (vgl. Goetschalckx et al. 2001, S. 1; Bodner et al. 2002, S. 2, S. 426; Apple et al. 2010, S. 1; Bartholdi und Hackmann 2017, S. i).

Anhand von vier Planungsunternehmen stellen Baker und Canessa (2009) die sehr unterschiedlichen Vorgehensweisen exemplarisch dar:

Tabelle 4: Verschiedene in der Praxis angewandte Planungsschritte (vgl. Baker und Canessa 2009, S. 430)

Schritt	Unternehmen A	Unternehmen B	Unternehmen C	Unternehmen D
1	Definition der Materialflüsse	Definition und Sammlung von Daten	Beschaffung von Daten	Definition der operativen Anforderungen
2	Evaluierung der Technologie	Datenanalyse	Datenanalyse	Definition und Generierung von Daten
3	Detaillierung der bevorzugten Optionen	Festlegung der Planungsparameter	Materialflussdiagramm	Vorauswahl von technischen Geräten
4	Dimensionierung des Personals	Ausarbeitung der Prozesse	Operative Strategien	Layoutplanung
5	Anfertigung des CAD-Layouts	Vorläufige Planung	Generierung von Lösungsvarianten	Evaluierung der einzelnen Layouts
6	Definition der Funktionalitäten	Evaluierung der vorläufigen Planung	Kostenabschätzung	Auswahl der Vorzugsvariante
7	Detailplanung	Anpassung der Planung	Evaluierung der Planung	Ausarbeitung der finalen Lösung und detaillierten Spezifikationen
8	Simulation	Simulation der Lösung	Ausarbeitung der bevorzugten Variante	
9	Spezifizierung der technischen Geräte	Evaluierung der finalen Lösung	Einreichung des Lösungsvorschlags	

Während der gesamten Planungsphase wird häufig auf Softwareunterstützung zurückgegriffen. Es existiert allerdings kein Programm, das sämtliche Planungsschritte beherrscht. So können Softwarelösungen beispielsweise die Anzahl an Paletten-Stellplätzen in einem definierten Raum berechnen, die Bestimmung des optimalen Layouts inklusive passender Regal- und Fördertechnik ist allerdings nicht möglich. Die meisteingesetzte unterstützende Software zur Planung von Lagersystemen sind Simulationswerkzeuge (vgl. Gu et al. 2010, S. 540).

### 3.9 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wird der Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen dargestellt. Basierend auf der Analyse relevanter Metastudien zum Themenfeld wurden fünf Themenschwerpunkte identifiziert, in denen die Autorinnen und Autoren weiteren Forschungsbedarf sehen. Diese Kriterien werden um ein sechstes lebensmittelspezifisches Kriterium ergänzt. Im Zuge der Recherche wurden das Quellenverzeichnis der Metastudien sowie gängige wissenschaftliche Datenbanken herangezogen, um Planungsmodelle für Lager- und Kommissioniersysteme zu suchen. Der Fokus lag hierbei auf wissenschaftlichen Modellen zur konzeptionellen Planung (Grobplanung), die zumindest zwei oder mehrere Sub-Planungsprobleme gleichzeitig adressieren. Die Modelle werden in diesem Kapitel gemäß dem Erfüllungsgrad der sechs zuvor definierten Themenschwerpunkte bewertet. Hierbei kann folgende Forschungslücke identifiziert werden:

- Es existiert kein Vorgehensmodell zur raschen konzeptionellen Planung (Planungsentscheidungen auf strategischer und taktischer Ebene) von Lager- und Kommissioniersystemen auf Basis von heuristischen und analytischen Lösungsmethoden.
- Kein untersuchter Beitrag adressiert alle fünf Sub-Probleme der Lagerplanung. Die behandelten Sub-Probleme werden einzeln und isoliert betrachtet, ohne deren Interdependenzen gerecht zu werden.
- In der untersuchten Literatur ist eine starke Tendenz zur Betrachtung von Person-zu-Ware-Systemen festzustellen. Alternative Kommissionierverfahren werden in den Planungsmodellen nicht berücksichtigt. Der Trend der Automatisierung moderner Lagersysteme wird somit nicht ausreichend adressiert.
- Es werden keine konkreten und praxistauglichen Werkzeuge zur Bearbeitung der einzelnen Planungsschritte in praxisnahen Fallbeispielen vorgestellt und angewandt.
- Produktspezifische Erfordernisse, insbesondere lebensmittelspezifische Anforderungen in Bezug auf die Lagerung und Kommissionierung, werden in keinem Planungsmodell berücksichtigt.

Daraus folgt, dass in der bestehenden Literatur kein ganzheitliches Planungsmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen für den Lebensmittelgroßhandel existiert.

## 4 Spezifische Problemstellung, Zielsetzung und Anforderungen an das Vorgehensmodell

Aufbauend auf die im ersten Kapitel herausgearbeitete allgemeine Problemstellung werden in diesem vierten Kapitel die Problemstellung und Zielsetzung spezifiziert und konkrete Anforderungen an das Vorgehensmodell sowie die Forschungsfrage und Forschungshypothese formuliert. Das Kapitel schließt mit der Einbettung der in dieser Arbeit angewandten Forschungsstrategien und -methoden in ein passendes Rahmenwerk.

### 4.1 Spezifische Problemstellung

In Kapitel 1 wird auf die zunehmende Bedeutung moderner Lager- und Kommissioniersysteme in Form von Distributionszentren im globalen und kundenorientierteren Wirtschaftsumfeld eingegangen. Insbesondere für große Handelsunternehmen, wie beispielsweise im Lebensmittelgroßhandel, einem der bedeutendsten Wirtschaftszweige Europas, sind Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Systeme erfolgsentscheidend. Zahlreiche Quellen belegen, dass die Kosteneffekte und Leistungsfähigkeit dieser meist hochkomplexen Systeme zum größten Teil bereits in der Planungsphase festgelegt werden. Viele Lager- und Kommissioniersysteme sind allerdings mangelhaft geplant und/oder nicht richtig dimensioniert. Dies führt zu ungünstigen Füllgraden, schlechter Flächen- und Raumnützung, Platzmangel in den Funktionsbereichen, Leistungsempfängen und hohen Lager- und Kommissionierkosten (vgl. Rouwenhorst et al. 1999, S. 515; Baker und Canessa 2009, S. 426; Gudehus 2012, S. 565f.; Nitsche et al. 2016, S. II; Soto-Silva et al. 2016, S. 917; Abdoli und Kara 2017, S. 1266; Caridade et al. 2017, S. 1097; Dmitry Kucharavy et al. 2018, S. 396).

Eine Vielzahl an wissenschaftlichen Publikationen ist diesem Themengebiet gewidmet. Der Großteil der Forschung beschränkt sich jedoch auf die Betrachtung isolierter Sub-Planungsprobleme. Diese einzelnen Sub-Probleme sind stark interdependent und die losgelöste Betrachtung führt zu suboptimalen Gesamtlösungen. Bis heute existiert kein wissenschaftliches Modell zur ganzheitlichen konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Rouwenhorst et al. 1999, S. 516; de Koster et al. 2007, S. 486; Gu et al. 2010, S. 547; McGinnis 2012, S. 1; Kostrzewski 2014, S. 425; Roodbergen et al. 2014, S. 3307; Thomas und Meller 2015, S. 744; Sprock et al. 2016, S. 6331; Boysen et al. 2018, S. 3; Kembro et al. 2018, S. 893; van den Gils et al. 2018, S. 1).

Eine Übersicht über existierende Ansätze zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen ist in Abbildung 15, Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Keiner der untersuchten Beiträge behandelt alle fünf Planungsprobleme

integriert in einem Modell, einer Methode oder einem Ansatz (vgl. Kapitel 2.4.2). Diese in der Wissenschaft gängige isolierte Betrachtungsweise der Sub-Probleme im Zuge der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen führt zu großer Diskrepanz zwischen Forschung und Praxis. Reale Probleme sind zu komplex, um sie durch die Aneinanderkettung einzelner, unabhängig voneinander betrachteter Teilprobleme zufriedenstellend zu lösen. Ein weiteres Indiz für die große Diskrepanz zwischen Wissenschaft und Praxis hinsichtlich der Untersuchung von Lager- und Kommissioniersystemen zeigt sich in den betrachteten Kommissionierverfahren. In den in Kapitel 3 dargelegten wissenschaftlichen Beiträgen ist ein eindeutiger Trend in Richtung der Untersuchung klassischer, manueller Person-zu-Ware-Systeme erkennen. In Europa zeichnet sich aber aufgrund der hohen Personalkosten und Grundstückspreise ein Trend in Richtung automatisierter Lagerlösungen, einhergehend mit alternativen Kommissionierverfahren (z. B. WzP-Systeme), ab (vgl. Arnold 2006, S. 115; Geraldès et al. 2008, S. 2).

Der mangelhafte Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis vergrößert die bestehende Lücke zwischen diesen beiden Sichtweisen zusätzlich. Praxiserprobte Methoden und Erkenntnisse haben keinen Einfluss auf die Forschungsarbeiten hinsichtlich der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Wissenschaftliche Ergebnisse werden wiederum nicht passend in die Praxis übertragen. Dies führt dazu, dass in der Praxis meist vollkommen unabhängig vom aktuellen Forschungsstand auf alte, bewährte Lösungssysteme zurückgegriffen wird. Zeit- und Kostendruck in der Planungsphase führen zu einer unzureichenden Untersuchung des Lösungsraumes. Die resultierenden Ad-hoc-Ansätze resultieren in Lösungssystemen, die weniger von den tatsächlichen Anforderungen und stärker von der Erfahrung der individuellen Planerin bzw. des individuellen Planers geprägt sind. Auf der wissenschaftlichen Seite mangelt es hingegen stark an in praxisnahen Fallbeispielen erprobten Werkzeugen für die einzelnen Planungsschritte (vgl. Bodner et al. 2002, S. 1; Apple et al. 2010, S. 1f.; Gu et al. 2010, S. 547; Kostrzewski 2014, S. 258; Davarzani und Norman 2015, S. 78; Staab 2016, S. 18).

Die Lagerung und Kommissionierung von Lebensmitteln stellen moderne Supply Chains aufgrund der hohen Produktvielfalt und des geforderten Frischegrades vor zusätzliche Herausforderungen. Die Logistikprozesse haben signifikante Auswirkungen auf die Qualität der gelagerten und gelieferten Produkte und somit unmittelbar auf die Reputation des jeweiligen Lebensmittelhändlers. Neben Berücksichtigung des Mindesthaltbarkeitsdatums (strenges FIFO-Prinzip für Frischeartikel) müssen in der Logistik auch Faktoren wie die Einhaltung von Kühlketten sowie die Kreuzverderblichkeit von Lebensmitteln berücksichtigt werden. Obwohl diese lebensmittelspezifischen Anforderungen entlang der Supply Chain in der Wissenschaft mehrfach untersucht wurden, berücksichtigt kein Modell diese Anforderungen im Zuge der Planungsphase (vgl. Hu et al. 2009, S. 2201; Amorim et

al. 2012, S. 89; Ketzenberg et al. 2015, S. 54; Accorsi et al. 2017, S. 917; Yang et al. 2019, S. 998).

Zusammenfassend lässt sich die spezifische Problemstellung der vorliegenden Arbeit wie folgt darstellen:

Bei der Untersuchung bestehender Methoden, Modelle und Ansätze zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen wurden folgende Defizite festgestellt:

- Kein umfassendes Planungsmodell zur raschen Konzeptplanung von Lager- und Kommissioniersystemen
- Keine iterative Betrachtung der fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Lagerplanung in einem Modell
- Keine adäquate Berücksichtigung moderner Automatisierungslösungen wie beispielsweise Ware-zu-Person-Systeme bei der Technikauswahl
- Keine praxistauglichen Methoden für die einzelnen Planungsschritte zur Anwendung der Modelle auf praxisnahe Fallbeispiele
- Keine Berücksichtigung lebensmittelspezifischer Anforderungen in der Planungsphase

Dies führt zur mangelhaften Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen und somit unweigerlich zu Leistungsengpässen, suboptimalem Kundenservice und Mehrkosten in den essenziellen Knotenpunkten der Supply Chains moderner Lebensmittelgroßhändler.

## 4.2 Spezifische Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit adressiert die oben dargelegte spezifische Problemstellung.

Das Ziel ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit, Kundenzufriedenheit und Wirtschaftlichkeit von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel. Dies erfolgt durch die iterative Betrachtung aller fünf Sub-Planungsprobleme der Lagerkonzeptplanung in der Planungsphase. Zusätzlich werden lebensmittelspezifische Anforderungen bezüglich Lagerung und Kommissionierung berücksichtigt und praxistaugliche Werkzeuge in den einzelnen Planungsschritten implementiert.

Das Ergebnis ist ein Vorgehensmodell zur raschen und anforderungsgerechten Konzeptplanung von Lager- und Kommissioniersystemen für den Lebensmittelgroßhandel.

Aus der Zielsetzung und dem erwarteten Ergebnis leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

1. In welcher Reihenfolge müssen die fünf Sub-Planungsprobleme der Lagerkonzeptplanung gelöst werden und welche Interdependenzen sind zu beachten?
2. Welche praxistauglichen Methoden eignen sich zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte?
3. In welcher Form müssen lebensmittelspezifische Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung berücksichtigt werden?

Für die vorliegende Arbeit wird folgende Forschungshypothese aufgestellt:

Die losgelöste Betrachtung der fünf Sub-Planungsprobleme und die Vernachlässigung lebensmittelspezifischer Anforderungen bei der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel führt zu wirtschaftlich und leistungstechnisch ungeeigneten Lösungssystemen.

### 4.3 Anforderungen an das Vorgehensmodell

Folgende Anforderungen werden an das entwickelte Vorgehensmodell gestellt:

- *Anforderung 1* | Rasche Konzeptplanung: Im industriellen Umfeld besteht wenig Zeit für ausreichend lange Planungsphasen. Zeiträume von nur zwei Wochen von Projektstart bis zur Entscheidung für ein Grobkonzept sind keine Seltenheit. Das komplette Vorgehensmodell muss innerhalb dieser Zeitspanne durchlaufen werden können.
- *Anforderung 2* | Iterative Betrachtung der fünf Planungsprobleme: Die einzelnen Sub-Probleme der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sind stark interdependent. Die Betrachtung von isolierten und unabhängigen Problemstellungen entspricht nicht der Praxis (vgl. Kapitel 4.1). Um eine adäquate Lösung für das Gesamtsystem zu ermöglichen, ist daher die iterative Betrachtung der fünf Sub-Planungsprobleme erforderlich.
- *Anforderung 3* | Berücksichtigung weiterer Kommissionierverfahren: Die Entwicklung moderner Lager- und Kommissioniersysteme tendiert stark in Richtung automatisierter Lösungen. Diese Tendenz lässt sich insbesondere in Europa aufgrund zunehmender Grundstückspreise und Personalkosten erkennen. Dieser Trend ist im Zuge der Technikauswahl zu berücksichtigen.
- *Anforderung 4* | Implementierung praxistauglicher Werkzeuge: Die Wissenschaft hat es verabsäumt, praxistaugliche Werkzeuge für die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen zu entwickeln (vgl. Kapitel 4.1). Um die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Praxis beeinflussen zu können, ist es notwendig, praxistaugliche und -erprobte Werkzeuge in die einzelnen Planungsphasen einzubetten.

- *Anforderung 5* | Verarbeitung großer Datenmengen: Die Planung von Lagersystemen ist stark von der Qualität der zu Grunde liegenden Daten abhängig. Logistiksysteme generieren heute immer größere Mengen an Daten, die zur Planung herangezogen werden können. Das Vorgehensmodell muss daher große Datenmengen verarbeiten und die Qualität dieser Daten validieren können.
- *Anforderung 6* | Berücksichtigung lebensmittelspezifischer Anforderungen: Mindesthaltbarkeitsdatum, einzuhaltende Kühlketten und Kreuzverderblichkeit von Lebensmitteln stellen die Logistik von Lebensmittelgroßhändlern vor zusätzliche Herausforderungen (vgl. Kapitel 3.6). Diese Anforderungen sind bei der Planung zu berücksichtigen.

## 4.4 Forschungsstrategie und -methoden

Die Forschungsfragen werden in dieser Arbeit durch induktives und deduktives Schließen beantwortet. Um den Ansprüchen der akademischen Forschung zu genügen, muss diese Vorgehensweise klar und nachvollziehbar dargestellt und dokumentiert werden. Zur Unterstützung bei der Generierung, Strukturierung und Präsentation der Forschungsergebnisse haben sich zahlreiche wissenschaftliche Strategien und Methoden etabliert (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 38). Im folgenden Kapitel werden die für die gegenständliche Arbeit relevanten Forschungsstrategien und -methoden erörtert und in ein passendes Rahmenwerk gegossen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Planung von Lagersystemen. Ein rein empirischer Forschungsansatz, der die Umwelt beschreibt, erklärt und vorhersagt, ist daher nur bedingt geeignet. Der aus dem Bereich von Informationssystemen und -technologie stammende Design-Science-Ansatz geht einen Schritt weiter. Zur Lösung praktischer Problemstellungen werden sogenannte Artefakte entwickelt, die gezielt die Veränderung und Verbesserung der Umwelt anstreben. Neben der reinen Konzeption steht auch die Untersuchung der Leistungsfähigkeit dieser Artefakte im zuvor definierten Kontext im Fokus. Der Design-Science-Ansatz unterscheidet zwischen vier Arten von Artefakten (vgl. Vaishnavi und Kuechler 2008, S. 46):

1. Konstrukte
2. Modelle
3. Methoden
4. Instanzen

Modelle stellen die Repräsentation möglicher Lösungen für praktische Problemstellungen dar und können wiederum der Konstruktion anderer Artefakte dienen. Aufgrund der idealen Eignung dieser Vorgehensweise zur Entwicklung

praxisrelevanter Modelle orientieren sich Forschungsstrategien und -methoden dieser Arbeit in weiterer Folge am Design-Science-Ansatz (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 28).

Eine Forschungsstrategie ist ein genereller Plan zur Durchführung einer wissenschaftlichen Arbeit. Während die Strategie auf hoher Flugebene sehr nützlich ist, muss sie immer durch die passenden Forschungsmethoden ergänzt werden. Diese Methoden sind Techniken, die spezielle Aufgaben übernehmen können. Die Forschungsmethoden bestimmen beispielsweise, wie die erforderlichen Daten generiert und analysiert werden. In der Design-Science-Forschung kommen sämtliche Strategien und Methoden zum Einsatz, die die Beantwortung von Fragen hinsichtlich der Artefakte unterstützen (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 65).

Aufgrund der großen Anzahl an möglichen Forschungsmethoden und -strategien ist ein strukturiertes Rahmenwerk für den Prozess der Design-Science-Forschung hilfreich. Dieses wird als Design-Science-Research-Process bezeichnet und kann in fünf Schritte gegliedert werden (vgl. Wieringa 2014, S. 38):

1. Problem explizieren: Ein praktisches Problem wird untersucht und analysiert. Das Problem wird präzise ausformuliert und dessen Relevanz für die Praxis begründet. In Kapitel 1 wird dementsprechend die allgemeine Problemstellung dargestellt. Aufbauend auf Kapitel 3 wird anschließend in Kapitel 4 die spezifische Problemstellung abgeleitet.
2. Anforderungen definieren: Das Problem wird in Anforderungen für das Artefakt transformiert, wobei sich diese nicht nur auf dessen Funktionalität, sondern auch auf die Struktur und Umfeldbedingungen beziehen. Aufbauend auf den in Kapitel 2 eingegrenzten Themenbereich werden in Kapitel 4 daher die genauen Anforderungen an das entwickelte Vorgehensmodell festgelegt.
3. Artefakt entwerfen: Das entwickelte Artefakt adressiert die Problemstellung und erfüllt die definierten Anforderungen. Das zu entwickelnde Artefakt entspricht dem Vorgehensmodell zur Planung von Lagersystemen. Dieser Schritt ist in Kapitel 5 dokumentiert.
4. Artefakt demonstrieren: Das entwickelte Artefakt wird auf einen Anwendungsfall aus der Praxis angewandt. In dieser Phase wird bewiesen, dass das Artefakt tatsächlich zur Lösung des Problems geeignet ist. Dies erfolgt in Kapitel 6 bei der Anwendung des Modells auf ein konkretes Fallbeispiel.
5. Artefakt evaluieren: In diesem Schritt wird die Qualität der entwickelten Lösung evaluiert. In Kapitel 7 wird die mittels des Artefakts generierte Lösung aus dem Fallbeispiel evaluiert und diskutiert.

Die Schritte des methodischen Rahmenwerks des Design-Science-Research-Process ähneln stark der sogenannten Scientific Method (klassische methodische Vorgehensweise, die die Naturwissenschaft seit dem 17. Jahrhundert geprägt hat). So

erfolgt die Formulierung der Forschungshypothese dieser Arbeit gemeinsam mit der Definition der Anforderungen in Kapitel 4. Diese beiden Ansätze sind in nachfolgender Darstellung nebeneinander dargestellt:

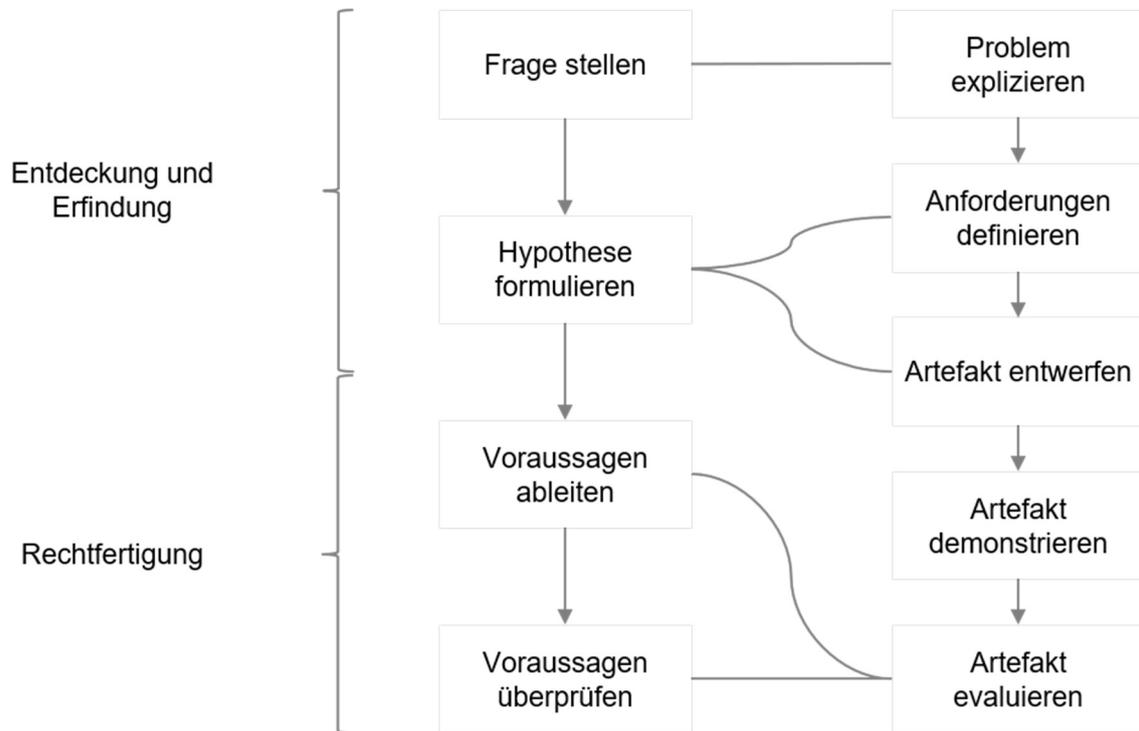


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Scientific Method mit den fünf Schritten des Design-Science-Research-Process (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 82)

Nachfolgend werden die entsprechenden Forschungsstrategien dieser Arbeit den fünf Schritten gemäß dem methodischen Rahmenwerk für den Design-Science-Ansatz zugeordnet:

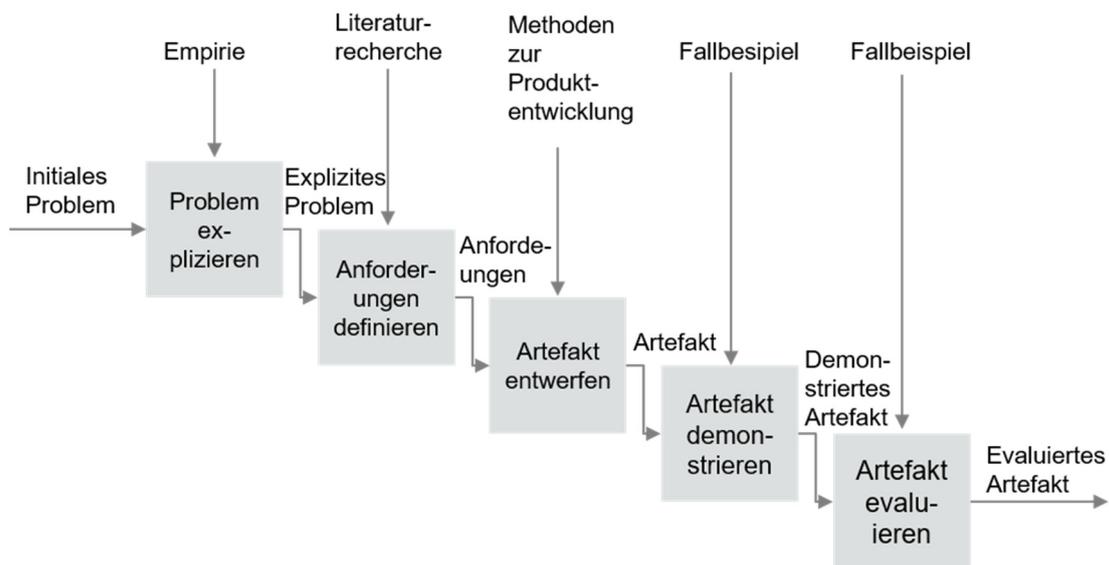


Abbildung 19: Forschungsstrategien im methodischen Rahmenwerk des Design-Science-Ansatzes (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 84)

Der Entwurf des Artefaktes orientiert sich an der VDI 2221 | Entwicklung technischer Produkte und Systeme | Modell der Produktentwicklung. Diese Richtlinie ist auf die Entwicklung von mechanischen, elektrischen bzw. elektronischen und informationsverarbeitenden Produkten, aber auch von Dienstleistungen, Prozessen, Methoden und Modellen anwendbar (vgl. VDI 2221, S. 3ff.).

Aufgrund des der Produktentwicklung zu Grunde liegenden Systemdenkens wird in Kapitel 2 das betrachtete technische System in Form von Lager- und Kommissioniersystemen inkl. der entsprechenden Systemelemente und Beziehungen definiert. In Kapitel 1 und 4 wird das adressierte Problem expliziert indem Anfangszustand (Ist) und Endzustand (Soll) in Form von Problemstellung und Zielsetzung beschrieben werden. Auf diese Zielsuche (bestehend aus Situationsanalyse und Zielformulierung) folgt die Lösungssuche. Im Zuge der Lösungssynthese werden bereits bestehende Ansätze und neue Lösungsideen erarbeitet und kombiniert. Dementsprechend ist der Ausgangspunkt für das in Kapitel 5 beschriebene Vorgehensmodell zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen das Planungsvorgehen zur Fabrikplanung nach VDI 5200 (vgl. VDI 5200, S. 1ff.).

## 4.5 Zusammenfassung des Kapitels

Aufbauend auf der in Kapitel 3 identifizierten Forschungslücke wird die in Kapitel 1 beschriebene allgemeine Problemstellung spezifiziert. Zur Adressierung dieser Problemstellung wird eine spezifische Zielsetzung formuliert und es werden drei Forschungsfragen abgeleitet. Zusätzlich wird eine Forschungshypothese formuliert.

Abschließend werden sechs spezifische Anforderungen an das zu entwickelnde Vorgehensmodell festgelegt und ein methodisches Rahmenwerk zur Gliederung der eingesetzten Forschungsstrategien ausgewählt und vorgestellt.

## 5 Entwicklung des Vorgehensmodells

In diesem Kapitel wird das entwickelte Vorgehensmodell beschrieben. Dieses adressiert die spezifische Zielsetzung aus Kapitel 4 und dient der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel.

Das im nachfolgenden Kapitel vorgestellte Vorgehensmodell wurde in zahlreichen Planungsprojekten angewandt, stetig überarbeitet und verbessert. Da, wie in Kapitel 3 beschrieben, kein adäquates Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen existiert, wurde im Jahr 2016 die VDI 5200 als Grundlage für das erste Projekt zur Planung eines Lager- und Kommissioniersystems herangezogen. Die wissenschaftliche Basis der Fabrikplanung stammt vor allem aus den 1960er und 1970er Jahren. Ziel der VDI 5200 ist es, der steigenden Anzahl der zu bedienenden Märkte sowie der Schnellebigkeit von Technologien und Produkten im Zuge der Fabrikplanung gerecht zu werden. Der Anwendungsbereich der Richtlinie beschränkt sich auf die Planung von Fabriken zur Stückgutproduktion und richtet sich sowohl an firmeninterne als auch an firmenexterne Planer. Der Planungsprozess ist gemäß Abbildung 20 in sieben Phasen gegliedert:

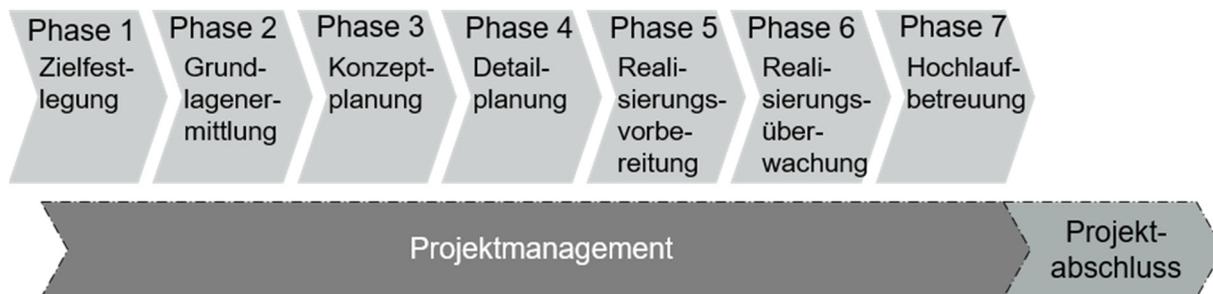


Abbildung 20: Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses (eigene Darstellung nach VDI 5200 Blatt 1, S. 8)

Wie in Kapitel 2.4.1 beschrieben, werden die Planungsphasen 1 - 3 im Zuge dieser Arbeit als Konzeptplanungsphase zusammengefasst. Die Phasen 4 bis 7 sind gemäß der in Kapitel 2.5 getroffenen Eingrenzung nicht Teils des Untersuchungsbereiches dieser Arbeit. Die Konzeptplanungsphase der Fabrikplanung erfolgt demnach gemäß VDI 5200 in drei Phasen mit folgenden Planungsinhalten:

- Phase 1 | Zielfestlegung: In dieser Planungsphase werden zunächst die Unternehmensziele und Rahmenbedingungen analysiert und daraus die Projektziele abgeleitet. Es wird festgelegt, welches Produktspektrum, in welcher Qualität mit welchen Lieferzeiten zu welchen Kosten und mit welcher Stückzahl pro Zeiteinheit zu produzieren ist. Anschließend werden die Bewertungskriterien zur Beurteilung der Bewertungsvarianten aufgestellt und das Planungsprojekt wird in einzelne Arbeitspakete gegliedert.

- Phase 2 | Grundlagenermittlung: Diese Phase dient der Beschaffung und der Auswertung von Informationen als Grundlage der weiteren Planung. Hierzu werden Daten zu Mengengerüsten, Betriebsmitteln und Produktionsabläufen erfasst und Prognosen für die kommenden Jahre getroffen.
- Phase 3 | Konzeptplanung: Diese Planungsphase baut auf den in den Phasen 1 und 2 erarbeiteten Grundlagen auf und ist gemäß VDI 5200 wiederum in vier Schritte unterteilt:



Abbildung 21: Vier Schritte der Konzeptplanung im Zuge des Fabrikplanungsprozesses (eigene Darstellung nach VDI 5200 Blatt 1, S. 8)

Diese vier Schritte dienen wiederum der Erarbeitung der folgenden Planungsinhalte:

- Schritt 1 | Strukturplanung: In diesem Schritt werden aus den Geschäftsprozessen sämtliche zur Wertschöpfung erforderlichen Aktivitäten festgelegt. In einem Funktionsschema werden die Produktionsprozessabfolgen der Fabrik zusammengeführt.
- Schritt 2 | Dimensionierung: Die Dimensionierung dient der Bestimmung des Flächenbedarfs durch die Bestimmung der Art und Menge der Betriebsmittel. Falls verschiedene Technologien zur Produktion zur Verfügung stehen, werden unterschiedliche Lösungsvarianten gebildet.
- Schritt 3 | Idealplanung: Im Zuge dieses Schrittes werden die einzelnen Flächen räumlich zueinander angeordnet. Restriktionen (wie z. B. Grundstücks- oder Gebäudegrenzen) werden hierbei nicht berücksichtigt.
- Schritt 4 | Realplanung: In diesem Schritt werden verschiedene Layoutvarianten generiert und anschließend bewertet. Hierbei werden Restriktionen berücksichtigt. Basierend auf einer Kostenabschätzung für Investitionen und operative Kosten wird eine Vorzugsvariante ausgewählt.

Teile dieses Phasenmodells des Fabrikplanungsprozesses (siehe Abbildung 20) sind gut auf die konzeptionelle Planung von Lager- und Kommissioniersystemen übertragbar. Die vorgelagerte Sammlung der Planungsgrundlagen in Form von Restriktionen, Prozessen und Daten ist auch im Zuge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sinnvoll. Ziele, Auslegungskennzahlen sowie benötigte Daten unterscheiden sich bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen jedoch von denen einer Fabrik. So sind in der Produktion Bestände beispielsweise zu vermeiden, während in einem Lager- und Kommissioniersystem Bestände strategisch aufgebaut werden (z. B. aufgrund von Mengenvorteilen beim Einkauf oder aufgrund der geforderten Verfügbarkeit gewisser Produkte). Die Zielfestlegung und die

Grundlagenermittlung wurde daher bei jeder Anwendung des Vorgehensmodells spezifischer an die Anforderungen der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen angepasst.

Gewisse Inhalte der vier Schritte der Konzeptplanung (siehe Abbildung 21) eignen sich ebenfalls teilweise auch zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. Insbesondere die Dimensionierung der einzelnen Produktionsbereiche und die Anordnung zu einem Gesamtlayout kann übertragen werden. Die Art der Dimensionierung und der Anordnung im Zuge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unterscheidet sich jedoch gegenüber der Fabrikplanung. Insbesondere die Bestandanforderungen, welche im Zuge der Fabrikplanung nicht zu den Planungsgrundlagen gehören, haben einen wesentlichen Einfluss auf die Dimensionierung der Funktionsbereiche. Die Anordnung der einzelnen Bereiche zu einer Gesamtstruktur in einem Lager- und Kommissioniersystem ist stark von dem gewählten Kommissionierverfahren abhängig. Spezifische Anforderungen der Kommissionierung werden im Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses nicht berücksichtigt. Die Auswahl eines geeigneten Kommissionierverfahrens ist in VDI 5200 nicht vorgesehen und musste in das Vorgehensmodell der vorliegenden Arbeit integriert werden.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen der Planung von Fabriken und Lager- und Kommissioniersystemen ist die Auswahl der entsprechenden Techniklösungen. Während zur wirtschaftlich rentablen Produktion eines Gutes (gemäß den Qualitätsanforderungen) häufig nur eine bis wenige sinnvolle technische Lösungen in Frage kommen, ist es für die Lagerung und Kommissionierung nicht möglich, die technischen Gestaltungsmöglichkeiten bereits vor Projektstart einzugrenzen. Aus der Kombination unterschiedlicher Regalsysteme, sowie Förder- und Sortiergeräten ergeben sich zahllose Möglichkeiten für die technische Gestaltung für Lager- und Kommissioniersysteme. Das Phasenmodell zur Fabrikplanung musste daher durch die Auswahl der passenden Technik, als elementarer Bestandteil der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen, ergänzt werden.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied im Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen zur VDI 5200 ist der Verzicht auf die Unterscheidung zwischen Ideal- und Realplanung. Die Vernachlässigung der Restriktionen, wie in der Fabrikplanung im Zuge der Idealplanung unterstellt, bietet für die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen keinen Mehrwert. Spezifische Restriktionen (z. B. Bauhöhe, Säulenraster, zulässige Bodenlast) sind ausschlaggebend für die Vorauswahl geeigneter Regalsysteme sowie Automatisierungstechnik. Die Vernachlässigung dieser Restriktionen im Zuge einer Idealplanung würde die Einschränkung des untersuchten Lösungsraumes, der aufgrund der hohen Anzahl an technischen Möglichkeiten ohnehin größer ist als bei

der Fabrikplanung, um einen Planungsschritt verzögern. Dies würde sowohl den Aufwand, als auch die Durlauchzeit der Planung erhöhen.

Aufbauend auf dem Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses nach VDI 5200, durch die Ergänzung elementarer Elemente der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen, sowie durch das iterative Verbessern des Vorgehensmodelles nach dem Durchlaufen zahlreicher Planungsprozesse, entstand das in dieser Arbeit vorgestellte Vorgehensmodell.

Das Vorgehensmodell besteht aus sechs Teilschritten, in denen alle Sub-Planungsprobleme der konzeptionellen Lagerplanung gemäß Kapitel 2.4.2 adressiert werden. Jeder der sechs Teilschritte wird durch praxiserprobte Methoden und Werkzeuge unterstützt. Diese reduzieren zum einen den Zeitaufwand beim Durchlaufen des Modells und führen zum anderen zu validen Ergebnissen in jedem Planungsschritt. Die Bildung von Lebensmittelprozesssträngen garantiert die Berücksichtigung lebensmittelspezifischer Anforderungen hinsichtlich Lagerung und Kommissionierung während der gesamten Planungsphase. Diese sechs Teilschritte sind wie folgt aufgebaut:

In *Schritt 1* werden sämtliche bekannten Planungsrestriktionen (z. B. maximale Bauhöhe, Grundstücksgrenzen) erfasst und in Form eines Restriktionskatalogs gesammelt. Des Weiteren wird ein Zielplanungshorizont – ggf. mit mehreren Etappen – für das zu planende System festgelegt. Anschließend werden die Wachstumszahlen pro Jahr je Sortimentsbereich oder Artikelgruppe prognostiziert bzw. geschätzt. Neben diesem Mengenwachstum wird auch ein Breitenwachstum (Anzahl der Artikelnummern) pro Jahr je Gruppe oder Bereich angenommen. Als zusätzliche Planungsgrundlage werden sogenannte Zielplanungsattribute definiert, die anschließend in Form einer additiven, multiattributiven Zielwertefunktion gewichtet werden und als systematische Entscheidungsvorbereitung zur Auswahl einer Vorzugsvariante in Schritt 6 dienen.

*Schritt 2* beginnt mit der Dokumentation bestehender Prozesse in Form einer Prozesslandkarte, in der sowohl operative als auch Planungs- und Steuerungsprozesse erfasst werden. Dies garantiert die Berücksichtigung sämtlicher abzuwickelnder Prozesse im Zielsystem, liefert die Basis zur Identifikation von Defiziten in bestehenden Prozessen und dient als Grundlage zur Bildung von Lebensmittelprozesssträngen. Anschließend werden alle Artikelnummern eindeutig einem solchen Prozessstrang zugeteilt, wobei sich die einzelnen Stränge durch getrennte Lagerung und/oder getrennte Kommissionierung der Lebensmittelgruppen unterscheiden. Sämtliche spezifischen Anforderungen je Strang werden in einem Prozessstrangkatalog dokumentiert. Dieser dient als Grundlage für das Materialflussschema, das den Verlauf der Lebensmittelprozessstränge durch die einzelnen Funktionsbereiche strukturiert darstellt.

*Schritt 3* ist der Datenintegration und -analyse gewidmet. Hierzu werden zunächst die Datenanforderungen definiert und es wird die Datenverfügbarkeit geklärt (z. B. Artikelstammdaten, Zu- und Abgänge, Inventurdaten und Layouts). Im Zuge der Datenintegration werden Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammengeführt, verknüpft und aufbereitet. Datenfehler (z. B. fehlende Dimensionen in den Artikelstammdaten) werden identifiziert, automatisiert in Fehlerprotokollen gespeichert und ggf. behoben. Sobald eine valide Datenbasis vorliegt, werden Materialfluss- und Bestandsverlaufdiagramme je Prozessstrang als Basis zur Ableitung zukünftiger Kapazitäts- und Leistungsanforderungen erstellt.

In *Schritt 4* erfolgt eine Vorauswahl potenziell geeigneter Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik. Abhängig von den Anforderungen und Restriktionen können gewisse Funktionsbereiche je Prozessstrang überlagert werden. Für diese Überlagerung werden ggf. die Leistungs- und Kapazitätskennzahlen neu bestimmt. Schritt 3 und Schritt 4 werden daher iterativ durchlaufen. Diese Kennzahlen und die in Schritt 1 definierten Restriktionen werden anschließend den Werten der entsprechenden Auswahlmatrizen gegenübergestellt. Auf diese Weise werden potenziell geeignete Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik je Funktionsbereich vorausgewählt.

In *Schritt 5* werden die potenziell geeigneten Kommissionierverfahren und die Lager- und Kommissioniertechnik je Funktionsbereich zu Grobkonzeptvarianten zusammengeführt. Ggf. werden zur Plausibilisierung erneute Datenanalysen gemäß Schritt 3 durchgeführt. Anschließend werden die Funktionsbereiche (z. B. Warenein- und -ausgang, Lagerbereiche) dimensioniert und basierend auf den Materialflussbeziehungen zueinander in einem Gesamtlayout angeordnet. Jede individuelle Ausgestaltung dieser Grobkonzeptvarianten entspricht einer Lösungsalternative.

*Schritt 6* dient der Auswahl einer finalen Vorzugsvariante aus den einzelnen Grobkonzeptvarianten in Form von Lösungsalternativen. Hierzu werden die kontinuierlichen Ausprägungen der Zielplanungsattribute je Variante berechnet. Dazu zählen beispielsweise die Betriebskosten (Personalkosten, Service- und Wartungskosten, Energiekosten) und Investitionen für die Lager- und Kommissioniertechnik (z. B. Regalanlagen, Fördertechnik) sowie für das Gebäude und Grundstück. Ggf. müssen Zusatzanalysen gemäß Schritt 3 durchgeführt werden. Zielplanungsattribute mit diskreten Ausprägungen (z. B. Automatisierungsgrad) werden nach der in Schritt 1 definierten Einzelwertfunktionen bewertet. Anschließend werden die Zielwerte je Lösungsalternative anhand der multiattributiven Zielwertfunktion berechnet. Die Alternative mit dem höchsten Zielwert gilt als Vorzugsvariante. Das auf diese Weise ausgewählte Grobkonzept für das

entsprechende Lager- und Kommissioniersystem kann anschließend als Grundlage für die auf die Konzeptplanung folgende Detailplanung herangezogen werden.

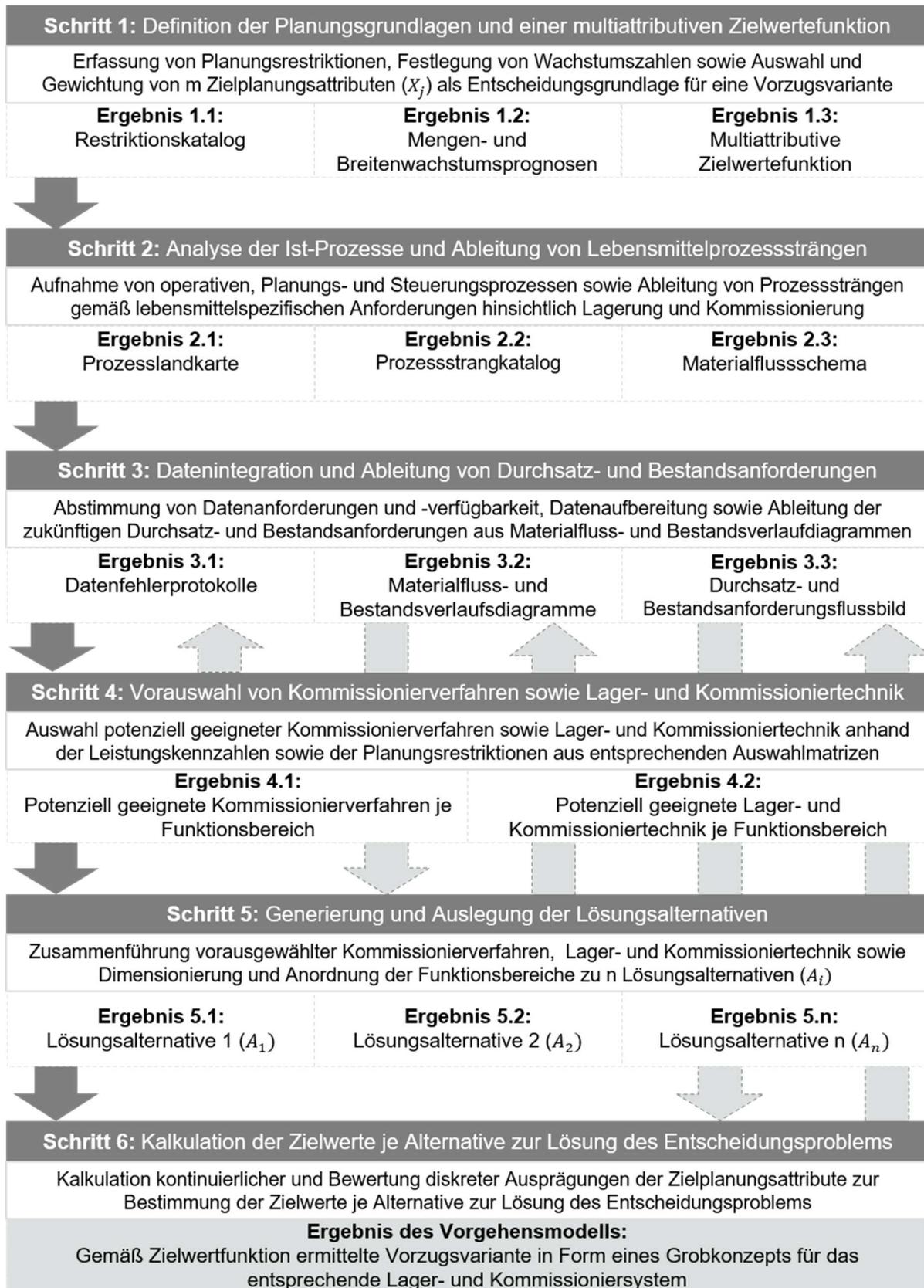


Abbildung 22: Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel in sechs Schritten

## 5.1 Schritt 1 | Definition der Planungsgrundlagen und einer multiattributiven Zielwertefunktion

Das Ziel von Schritt 1 ist die Erfassung sämtlicher relevanter Planungsgrundlagen. Hierzu zählen Planungsrestriktionen sowie Vorgaben hinsichtlich des Mengen- und Breitenwachstums des Sortiments. Als Grundlage für die Entscheidungsfindung einer Vorzugsvariante wird eine multiattributive Zielwertefunktion durch die Kombination von einer Präferenz- und Nutzwertanalyse gebildet.

### 5.1.1 Definition der Planungsrestriktionen

Zu Beginn eines Projektes stehen meist bereits zahlreiche Planungsrestriktionen fest. Bei einem schon vorhandenen Grundstück für das zu planende Lager- und Kommissioniersystem ist beispielsweise die bebaubare Fläche und deren Form vorgegeben. Die Sammlung und Dokumentation sämtlicher vorhandener Restriktionen zu Beginn der Planungsphase ist wichtig, da diese insbesondere bei der Vorauswahl der Lagertechnik und der Betriebsstrategien in Schritt 4 sowie bei der Dimensionierung der einzelnen Funktionsbereiche in Schritt 5 eine entscheidende Rolle spielen. Die Vernachlässigung einer spezifischen Restriktion kann zu erheblichen Mehraufwänden und zeitlichem Verzug der Planung führen. Der nachfolgende Restriktionskatalog kann im Zuge der weiteren Planung ergänzt und um zusätzliche Kriterien erweitert werden:

Tabelle 5: Initialer Restriktionskatalog

Räumlich	Einheit	
Max. Bauhöhe	[m]	
Verfügbare Grundfläche	[m <sup>2</sup> ]	
Strukturell		
Max. Bodenlast	[kg]	
Zeitlich		
Anzahl der Schichten	[1]	
Stunden pro Schicht	[h]	
Anzahl der Arbeitstage	[d]	
Betriebswirtschaftlich		
Max. Investitionssumme	[€]	
Wettbewerbsbedingungen		
Cut-off-Zeiten	[h]	
Gesetzlich		
Brandschutztechnische Vorgaben		

### 5.1.2 Definition der Wachstumskennzahlen

Als weitere Planungsgrundlage ist neben den Restriktionen ein Zielplanungshorizont zu definieren, auf den das zu planende Lager- und Kommissioniersystem auszulegen ist. Für diesen Horizont sind Veränderungen bzgl. abzuwickelnder Mengen zu

schätzen bzw. zu prognostizieren. Häufig werden Umsatzprognosen herangezogen, um das Mengenwachstum pro Jahr zu definieren. Diese Prognosen sollten sich auf einzelne Segmentierungsgruppen (z. B. Temperaturbereiche, Vertriebslinien oder Artikelgruppen) beziehen. Dieses Mengenwachstum dient dazu, die in Schritt 3 analysierten Zugangs-, Abgangs- und Bestandsverläufe auf das Zielplanungsjahr zu skalieren. Die genaue Vorgehensweise bei der Bestimmung von Durchsatz- und Bestandsanforderungen basierend auf dem Mengenwachstum wird in Kapitel 5.3 beschrieben. Neben dem reinen Mengenwachstum sind auch Veränderungen hinsichtlich der Artikelanzahl, auf die sich diese Mengen verteilen, festzulegen. Diese Kennzahl wird als Breitenwachstum bezeichnet. Hierzu sind die Segmentierungsgruppen analog zum Mengenwachstum zu wählen. Dies wirkt sich insbesondere auf die Anzahl der einzuplanenden Kommissionierplätze aus.

### 5.1.3 Definition einer multiattributiven Zielwertefunktion

Bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sind meistens mehrere, oft gegensätzliche Ziele für die Entscheidungsfindung relevant. Neben wirtschaftlichen Aspekten (Betriebskosten und Investition) sind beispielsweise Lagerkapazität und Durchsatzleistung des Zielsystems entscheidend für die Auswahl eines Vorzugskonzeptes. Die Entscheidungsfindung wird daher durch die Bildung einer multiattributiven Zielwertefunktion ( $v$ ), die die Bewertung der Alternativen ( $A_i$ ) in Form von Grobkonzeptvarianten hinsichtlich des Erfüllungsgrades unterschiedlich gewichteter Zielplanungsattribute ermöglicht, unterstützt. Die Auswahl der jeweiligen Ziele bzw. der Attribute erfolgt in Schritt 1 des Vorgehensmodells, um sie nicht durch subjektive Präferenzen hinsichtlich einer Lösungsalternative im Zuge der Planung zu beeinflussen. Die Auswahl und Gewichtung der Zielsetzungen sollten daher nach Abschluss von Schritt 1 nicht angepasst werden.

Bei der Formulierung der Ziele ist darauf zu achten, nur Fundamentalziele (im Kontext der Planung des Lager- bzw. Kommissioniersystems) und keine Instrumentalziele zu definieren. Ein Instrumentalziel wird nur verfolgt, um ein anderes Fundamentalziel zu erreichen. Wird das Fundamentalziel eines gewissen Instrumentalziels im Kontext des konkreten Entscheidungsproblems nicht als eigenes Attribut angeführt, wird das Instrumentalziel zu einem Fundamentalziel. Diese Unterscheidung dient der Unabhängigkeit der betrachteten Ziele und um eine doppelte Zählung dieser zu vermeiden. Als Attribut ( $X_j$ ) wird eine Variable bezeichnet, die den Erfüllungsgrad eines Ziels misst. Es wird zwischen folgenden drei Attributen unterschieden (vgl. Eisenführer und Weber 2010, S. 55ff.):

- Natürliche Attribute: Die Variable ergibt sich eindeutig aus der Formulierung des Ziels (z. B. Investitionssumme in €).

- Künstliche Attribute: Diese müssen durch die Kombination mehrerer Zielvariablen definiert werden (z. B. Ausfallsicherheit ausgedrückt durch die Anzahl der Ausfälle und die durchschnittliche Stehzeit).
- Proxy-Attribute: Lässt sich weder ein natürliches noch ein künstliches Attribut zur Messung des Zielerfüllungsgrades finden, wird auf Hilfslösungen als Indikator für die Zielerreichung ausgewichen (z. B. Kundenzufriedenheit ausgedrückt durch die Anzahl an Reklamationen).

In Tabelle 6 sind die in weiterer Folge untersuchten Ziele hinsichtlich der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen dargestellt, wobei darauf geachtet wurde, die Ziele möglichst unabhängig voneinander zu formulieren. Zusätzlich werden beispielhaft Attribute zur möglichen Messung des Erfüllungsgrades des zugehörigen Ziels angeführt.

**Tabelle 6: Ziele und Beispiele für zugehörige Attribute bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen**

Ziel	Attribut
Durchsatzleistung	Auslieferbare Menge am Spitzentag
Ergonomie	Ergonomiebewertung
Erweiterbarkeit	Bebaute Fläche
Flexibilität	Anzahl unterschiedlicher Lager- und Kommissionierzonen
Investitionssumme	Investition für Grundstück, Erschließung, Gebäude, Lagertechnik und brandschutztechnische Maßnahmen
Lagerkapazität	Anzahl Stellplätze je Lagerbereich
Liefersicherheit	Anlagenverfügbarkeit
Nachhaltigkeit	Energieverbrauch
Niedriger Personaleinsatz	Anzahl Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
Betriebskosten	Summe aus Personal-, Energie-, Service- und Wartungskosten

In Schritt 1 werden zunächst  $m$  Ziele und zugehörige Attribute ( $X_j$ ) aus oben angeführter Tabelle gewählt. Diese Tabelle kann ggf. um weitere Ziele erweitert werden. Zur Entscheidung zwischen mehreren Alternativen auf Basis von mehreren Zielen mit unterschiedlichem Gewichtungsgrad wird eine multiattributive Wertefunktion ( $v$ ) gebildet. In der Praxis wird das additive Modell, das oft auch als Nutzwertanalyse bezeichnet wird, am häufigsten angewandt (vgl. Eisenführer und Weber, 2010; S. 117). Der Entscheidungswert einer Alternative ( $A_j$ ) wird bestimmt durch:

**Formel 1: Multiattributive Zielwertefunktion**

$$v(A_i) = \sum_{j=1}^m \omega_j v_j(a_{ij})$$

Die Zielgewichte ( $\omega_j$ ) beschreiben hierbei die Gewichtung der einzelnen Attribute. Diese einzelnen Skalierungskonstanten ergeben in Summe 100 %. Ein Zielgewicht von 0 % bedeutet, dass das zugehörige Attribut keinen Einfluss auf die Lösung des Entscheidungsproblems hat. Als Bedingung für die Zielgewichte gilt:

Formel 2: Bedingungen für die Zielgewichte

$$\omega_r \geq 0 \text{ und } \sum_{r=1}^m \omega_r = 1$$

In der Theorie gibt es zahlreiche Methoden zur Bestimmung der Zielgewichte. Für häufig eingesetzten Verfahren wie dem Trade-off-Verfahren und der Swing-Methode müssen die Ausprägungen der einzelnen Alternativen für die Gewichtung bereits bekannt sein. Diese eignen sich daher nicht für die vorliegende Arbeit.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Zielgewichte ist die in Abbildung 21 gezeigte und in der Praxis weit verbreitete Präferenzanalyse:

Eingaben in weißen Feldern		Attribut 1 ( $X_1$ )	Attribut 2 ( $X_2$ )	Attribut 3 ( $X_3$ )	Attribut 4 ( $X_4$ )	Attribut 5 ( $X_5$ )	Attribut 6 ( $X_6$ )	Attribut 7 ( $X_7$ )	Attribut 8 ( $X_8$ )	Attribut 9 ( $X_9$ )	Attribut m ( $X_m$ )	Gewichtung			
													0	1	2
													Attribut oben ist wichtiger	Attribute sind indifferent	Attribut links ist wichtiger
1.	Attribut 1 ( $X_1$ )		$p_{1,2}$	$p_{1,3}$	$p_{1,4}$	$p_{1,5}$	$p_{1,6}$	$p_{1,7}$	$p_{1,8}$	$p_{1,9}$	$p_{1,m}$	$\omega_1$			
2.	Attribut 2 ( $X_2$ )	$2 - p_{1,2}$		$p_{2,3}$	$p_{2,4}$	$p_{2,5}$	$p_{2,6}$	$p_{2,7}$	$p_{2,8}$	$p_{2,9}$	$p_{2,m}$	$\omega_2$			
3.	Attribut 3 ( $X_3$ )	$2 - p_{1,3}$	$2 - p_{2,3}$		$p_{3,4}$	$p_{3,5}$	$p_{3,6}$	$p_{3,7}$	$p_{3,8}$	$p_{3,9}$	$p_{3,m}$	$\omega_3$			
4.	Attribut 4 ( $X_4$ )	$2 - p_{1,4}$	$2 - p_{2,4}$	$2 - p_{3,4}$		$p_{4,5}$	$p_{4,6}$	$p_{4,7}$	$p_{4,8}$	$p_{4,9}$	$p_{4,m}$	$\omega_4$			
5.	Attribut 5 ( $X_5$ )	$2 - p_{1,5}$	$2 - p_{2,5}$	$2 - p_{3,5}$	$2 - p_{4,5}$		$p_{5,6}$	$p_{5,7}$	$p_{5,8}$	$p_{5,9}$	$p_{5,m}$	$\omega_5$			
6.	Attribut 6 ( $X_6$ )	$2 - p_{1,6}$	$2 - p_{2,6}$	$2 - p_{3,6}$	$2 - p_{4,6}$	$2 - p_{5,6}$		$p_{6,7}$	$p_{6,8}$	$p_{6,9}$	$p_{6,m}$	$\omega_6$			
7.	Attribut 7 ( $X_7$ )	$2 - p_{1,7}$	$2 - p_{2,7}$	$2 - p_{3,7}$	$2 - p_{4,7}$	$2 - p_{5,7}$	$2 - p_{6,7}$		$p_{7,8}$	$p_{7,9}$	$p_{7,m}$	$\omega_7$			
8.	Attribut 8 ( $X_8$ )	$2 - p_{1,8}$	$2 - p_{2,8}$	$2 - p_{3,8}$	$2 - p_{4,8}$	$2 - p_{5,8}$	$2 - p_{6,8}$	$2 - p_{7,8}$		$p_{8,9}$	$p_{8,m}$	$\omega_8$			
9.	Attribut 9 ( $X_9$ )	$2 - p_{1,9}$	$2 - p_{2,9}$	$2 - p_{3,9}$	$2 - p_{4,9}$	$2 - p_{5,9}$	$2 - p_{6,9}$	$2 - p_{7,9}$	$2 - p_{8,9}$		$p_{9,m}$	$\omega_9$			
m.	Attribut m ( $X_m$ )	$2 - p_{1,m}$	$2 - p_{2,m}$	$2 - p_{3,m}$	$2 - p_{4,m}$	$2 - p_{5,m}$	$2 - p_{6,m}$	$2 - p_{7,m}$	$2 - p_{8,m}$	$2 - p_{9,m}$		$\omega_m$			

Abbildung 23: Bestimmung der Zielgewichte je Alternative nach Logik der Präferenzanalyse

Die ausgewählten Attribute werden von 1 bis m in beliebiger Reihenfolge aufgelistet. Anschließend wird jedes Attributpaar gemäß der Wichtigkeit für die Entscheidung gegenübergestellt. In der herkömmlichen Präferenzanalyse gibt es zwei Entscheidungsalternativen: Attribut 2 ( $X_2$ ) wird wichtiger als Attribut 1 ( $X_1$ ) bzw. Attribut 1 ( $X_1$ ) wichtiger als Attribut 2 ( $X_2$ ) bewertet. In der vorliegenden Version besteht jedoch eine dritte Möglichkeit: Zwischen Attribut 2 ( $X_2$ ) und Attribut 1 ( $X_1$ ) gibt es keine Präferenz. Für die Zuordnung der Präferenzen zu Zahlenwerten wird die Gewichtungsfunktion ( $p$ ) verwendet:

**Formel 3: Kriterien für die Zuordnung der Präferenzen zu Zahlenwerten**

$$p_{1,2}(X_2 > X_1) = 0; p_{1,2}(X_2 \approx X_1) = 1; p_{1,2}(X_2 < X_1) = 2$$

Die Bewertung von Attribut 2 ( $X_2$ ) gegenüber Attribut 1 ( $X_1$ ) erzeugt die gegengleiche Bewertung von Attribut 1 ( $X_1$ ) gegenüber Attribut 2 ( $X_2$ ) gemäß:

**Formel 4: Kalkulation gegengleicher Präferenzwerte**

$$p_{2,1} = 2 - p_{1,2}$$

Die Gewichtung der einzelnen Attribute errechnet sich demnach aus der Summe der Punktwerte der jeweiligen Zeile durch die Gesamtsumme der Punkte in dieser Präferenzmatrix:

**Formel 5: Gewichtung der Zielattribute**

$$\omega_r = \frac{\sum_{r=1}^m p_r}{m * (m - 1)}$$

Für die Bestimmung der Zielwerte müssen neben den Gewichtungen der Attribute auch die Einzelwertfunktionen je Attribut festgelegt werden. Da die Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten erst in Schritt 5 gebildet und die zugehörigen Ausprägungen je Attribut erst in Schritt 6 festgelegt werden, kann die Zielwertfunktion erst am Ende des Vorgehensmodells final gelöst werden.

**5.1.4 Ergebnisse aus Schritt 1**

Die Ergebnisse aus Schritt 1 sind:

- Restriktionskatalog mit sämtlichen bekannten Restriktionen als Basis zur Vorauswahl von Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik in Schritt 4.
- Wachstumszahlen je Artikelgruppe hinsichtlich Mengenwachstum und Breitenwachstum für den definierten Zielplanungshorizont zur Hochrechnung der Materialfluss- und Bestandsverläufe auf das Zielplanungsjahr in Schritt 3.
- Präferenzanalyse zur Gewichtung der definierten Zielplanungsattribute als Basis zur Lösung des Entscheidungsproblems in Schritt 6 für jede in Schritt 5 generierte Lösungsalternative.

**5.2 Schritt 2 | Analyse der Ist-Prozesse und Bildung von Lebensmittelprozesssträngen**

Das Ziel von Schritt 2 ist die Schaffung von Transparenz über die im Lager- bzw. Kommissioniersystem abzuwickelnden Prozesse und die Segmentierung des

Sortiments in einzelne Prozessstränge, abhängig von deren spezifischen Lagerungs- und Kommissionieranforderungen.

### 5.2.1 Analyse der Ist-Prozesse

Bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen ist es wichtig, alle abzuwickelnden Prozesse zu erfassen, um Handhabungsflächen für diverse Sonderprozesse berücksichtigen zu können. Sämtliche operative Prozesse werden in eine Prozesslandkarte (siehe Abbildung 24) überführt, in der jeder Prozess in die einzelnen Schritte zerlegt wird. Zudem wird die Art der Verantwortlichkeit je Mitarbeiterklasse und Prozessschritt aufgenommen. Als zusätzliche Information werden alle involvierten Informationssysteme (z. B. Enterprise-Ressource-Planning-System (ERP), Warehousemanagementsystem (WMS), Materialflussrechner) je Prozessschritt eingezeichnet.

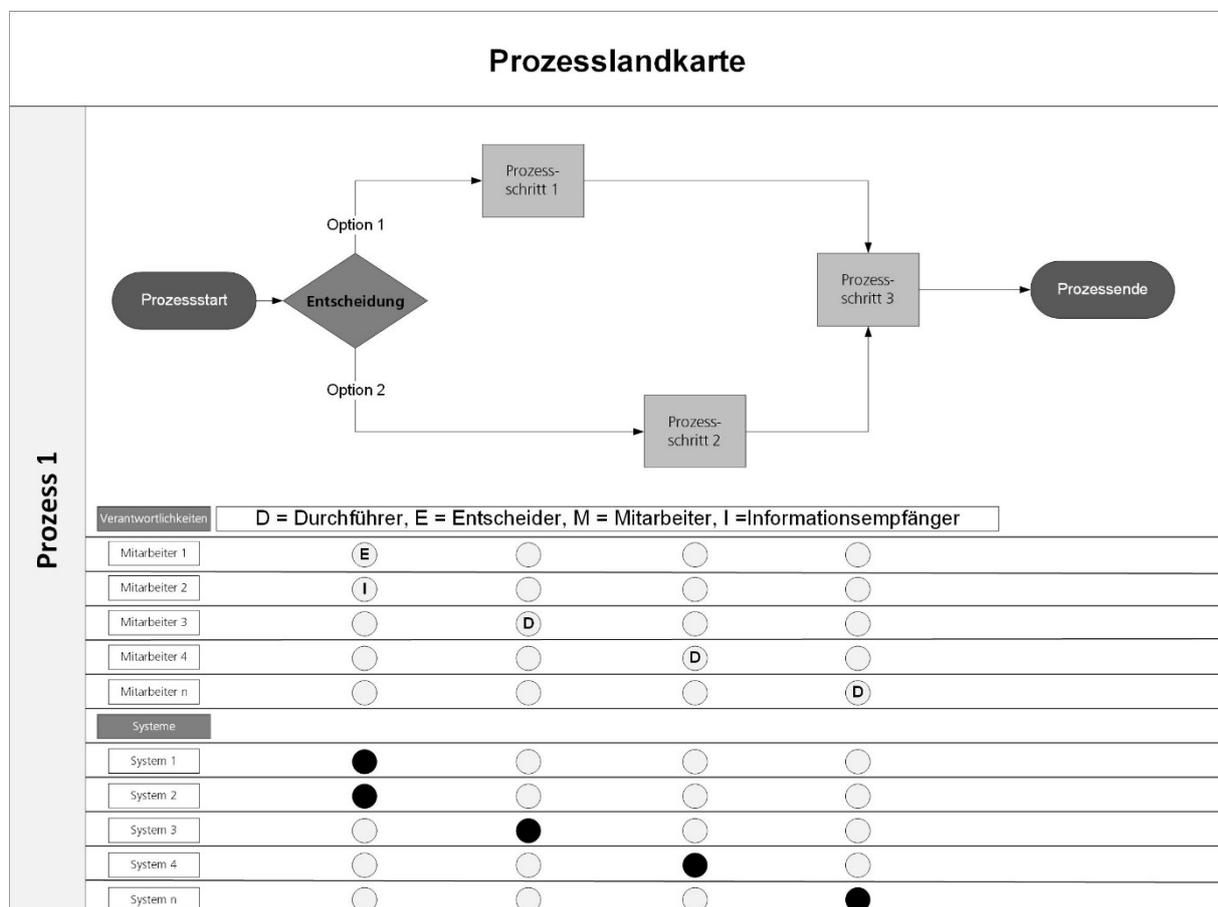


Abbildung 24: Prozesslandkarte in Form eines Flussdiagramms

In Lager- und Kommissioniersystemen sind folgende Haupt- und Nebenprozesse abzuwickeln (vgl. Kapitel 2):

Tabelle 7: Bei der Ist-Analyse zu erfassende Haupt- und Nebenprozesse

Hauptprozesse	Nebenprozesse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entladung</li> <li>• Warenannahme</li> <li>• Wareneingangskontrolle</li> <li>• Einlagerung</li> <li>• Kommissionierung</li> <li>• Nachschub</li> <li>• Auslagerung</li> <li>• Verpackung</li> <li>• Versand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retouren</li> <li>• Müllentsorgung</li> <li>• Leerbehälterkreisläufe</li> <li>• Sonderprozesse</li> </ul>

### 5.2.2 Definition von Prozesssträngen hinsichtlich der lebensmittelspezifischen Anforderungen

Lebensmittel haben besondere Anforderungen in Bezug auf die Lagerung und Kommissionierung (siehe Kapitel 3.6). Eine Besonderheit von Lebensmitteln ist die Verderblichkeit, besonders bei Frischware wie Obst und Gemüse. Die Zuteilung des Sortiments zu sogenannten Lebensmittelprozesssträngen berücksichtigt die besonderen Anforderungen je Strang. Die Lebensmittelprozessstränge teilen das Sortiment in Bereiche, die getrennt gelagert und/oder kommissioniert werden müssen. Aus logistischer Sicht dienen die Prozessstränge dazu, in weiterer Folge die passenden Auslegungswerte für separate Bereiche, die sich weder kapazitäts- noch leistungstechnisch ausgleichen können, zu definieren. Bei der Bildung von Prozesssträngen gilt der Grundsatz: so wenige wie möglich, so viele wie nötig.

Im Allgemeinen wird das Lebensmittelsortiment unterteilt in drei Sortimentsbereiche (F. Zagler, Fa. SPAR Österreichische Warenhandels-AG, persönliche Korrespondenz, Ebergassing, 23.04.2020):

- Trockensortiment (TS)
- Frischdienstsortiment (FD)
- Tiefkühlsortiment (TK)

Das Trockensortiment kann bei Raumtemperatur gelagert werden. Neben Lebensmitteln werden in diesem Bereich häufig auch sogenannte Non-Food-Artikel gelagert. Hierbei handelt es sich einerseits um Ware, die der Großhändler neben Lebensmitteln anbietet (z. B. Zahnpasta), andererseits kann es sich um Artikel handeln, die nicht zum Verkauf angeboten werden, sondern von den einzelnen Filialen

zum Erhalt des täglichen Betriebs benötigt werden (z. B. Reinigungsutensilien). Häufig werden Lebensmittel und Non-Food-Artikel getrennt voneinander gelagert und ausgeliefert und somit als separate Prozessstränge definiert. Des Weiteren müssen als Gefahrgut klassifizierte Artikel als eigener Prozessstrang definiert werden, da diese meist in einer getrennten Lagerzone aufbewahrt werden müssen.

Im Frische- und Tiefkühlsortiment spielen insbesondere die Temperaturführung und die Einhaltung bestimmter Temperaturen eine entscheidende Rolle, um die Vermehrung von Mikroorganismen, die zum schnelleren Verderben der Lebensmittel führen, einzudämmen. Zur Bildung von Prozesssträngen im Frischdienst- und Tiefkühlsortiment wird daher das Sortiment nach der vorgegebenen maximalen Lagertemperatur unterschieden. Hierzu werden die Temperaturvorgaben der DIN-Norm Lebensmittelhygiene-Temperaturen für Lebensmittel herangezogen. Ein Auszug aus der Tabelle mit Empfehlungen hinsichtlich der Höchsttemperatur für kühlbedürftige Lebensmittel ist im Anhang abgebildet (siehe Tabelle 14 in Anhang 9.1). Diese Tabelle kann zur Segmentierung gekühlter Lebensmittel in unterschiedliche Temperaturzonen herangezogen werden.

Für jene Lebensmittel, für die laut DIN-Norm Lebensmittelhygiene-Temperaturen keine speziellen Vorschriften bestehen, gilt Folgendes (vgl. DIN 1508:2019-03, 4.1):

- Für leicht verderbliche Lebensmittel tierischer und pflanzlicher Herkunft sollte eine Produkttemperatur von höchstens +7 °C sichergestellt werden.
- Sehr leicht verderbliche Lebensmittel sind nach Vorgaben des Herstellers zu lagern und zu transportieren.

Die Norm für Lebensmittelhygiene führt folgende Unterscheidung an (DIN 1503:2014-11, 3.1.13-3.1.14):

- **„leicht verderbliche Lebensmittel**  
*Lebensmittel, die in mikrobiologischer Hinsicht in kurzer Zeit leicht verderblich sind und deren Verkehrsfähigkeit nur bei der Einhaltung bestimmter Temperaturen oder sonstiger Bedingungen erhalten werden kann.“*
- **„sehr leicht verderbliche Lebensmittel**  
*Lebensmittel, die in mikrobiologischer Hinsicht leicht verderblich sind und nach kurzer Zeit eine unmittelbare Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen können.“*

Da in DIN 1508:2019-03 vorwiegend Produkte tierischer Herkunft genannt werden, wird sie durch eine Tabelle für pflanzliche Produkte ergänzt. Diese Tabelle wurde im Zuge eines Expertengesprächs entwickelt und ist im Anhang zu finden (siehe Tabelle 15 in Anhang 9.1).

Inkl. Trockensortiment ergeben sich rein aus der optimalen Lagertemperatur bis zu zwölf mögliche Lagerzonen. Um das Lager- und Kommissioniersystem durch Unterteilung in zu viele unterschiedliche Bereiche nicht überzudimensionieren, können ggf. Temperaturbereiche zusammengefasst werden. Bei den angeführten Werten handelt es sich um Höchsttemperaturen, die zur Lagerung der Lebensmittel empfohlen werden. Daher können Artikel einer höheren Temperaturklasse (z. B.  $-12\text{ °C}$ ) in eine niedrigere Temperaturklasse integriert werden (z. B.  $-18\text{ °C}$ ). Hierbei ist der Energieverbrauch für die höhere Kühlleistung der gewonnenen Flexibilität bei der Raumnutzung gegenüberzustellen.

Bei Lebensmitteln, die nicht bei Raumtemperatur gelagert werden können, ist insbesondere die Einhaltung der Kühlkette zu berücksichtigen. Von den Temperaturvorgaben darf temporär innerhalb gewisser Grenzen abgewichen werden, sofern dies die Gesundheit der Verbraucherinnen und Verbraucher nicht gefährdet. Funktionsbereiche wie Warenein- und -ausgang werden daher meistens in einen gekühlten Bereich (ca.  $2\text{ °C}$ ) und einen ungekühlten Bereich (Raumtemperatur) getrennt. Tiefkühlwaren werden oft im gekühlten Anlieferbereich übernommen und unmittelbar in den TK-Lagerbereich eingelagert (F. Breinhölder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020).

Bei der Bildung von Lebensmittelprozesssträngen sollte auch die Kreuzverderblichkeit berücksichtigt werden. Wie in Kapitel 3.6 dargestellt wird zwischen zwei Arten der Kreuzverderblichkeit unterschieden: Die eine Art lässt sich auf das Gas Ethylen, das im Zuge des Reifungsprozesses gewisser Obst- und Gemüsesorten ausgestoßen wird, zurückführen. Produkte haben stark unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich der Abgabe und der Reaktion auf Ethylen (vgl. Yang et al., 2019, S. 998f.). Im Anhang ist eine Tabelle zur Bewertung der Ethylenempfindlichkeit und der Ethylenabgabe dargestellt (siehe Tabelle 16 in Anhang 9.1).

Ethylenabgebende Sorten sollten nicht mit ethylenempfindlichen Sorten gemeinsam gelagert werden. Es empfiehlt sich, innerhalb der zuvor definierten Temperaturzonen die Produkte mit hoher Ethylenabgabe von jenen mit hoher Ethylenempfindlichkeit in Form eigener Prozessstränge zu trennen.

Für die zweite Art der Kreuzverderblichkeit sind Bakterien verantwortlich. Vor allem bei der Lagerung von tierischen Produkten kann es zur Entwicklung von Mikroorganismen kommen, was zum Verderben anderer Artikel führen kann. In der Praxis werden aus Qualitäts- und Hygienegründen daher Produkte tierischen und Produkte pflanzlichen Ursprungs innerhalb derselben Temperaturzone zumindest in unterschiedlichen Regalbereichen gelagert (F. Breinhölder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020).

Basierend auf den oben genannten Kriterien werden die Lebensmittelprozessstränge gebildet. Die Anforderungskriterien hinsichtlich Lagerung und Kommissionierung der einzelnen Prozessstränge werden in einen Prozessstrangkatalog eingetragen. In der Spalte Zusatzkriterien werden weitere Kriterien zur Trennung der Prozessstränge notiert. Beispiele für diese weitere Segmentierung sind (J. Grafeneder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020):

- Food-/Non-Food-Artikel
- Gefahrgut
- Ethylenempfindlichkeit
- Bio-Sortiment: Bei biozertifizierten Händlern muss Bio-Ware getrennt von der restlichen Ware gelagert werden.
- Lager-/Transporteinheit: beispielsweise die Trennung des Obst- und Gemüsesortiments in Kartons und IFCO-Kisten

Tabelle 8: Beispielhafte Darstellung eines Prozessstrangkataloges

Nr.	Kürzel	Beschreibung	Temperaturzone	pflanzlich/tierisch	Zusatzkriterium
1	PS_1	Prozessstrang 1	T1		
2	PS_2	Prozessstrang 2	T2		
n	PS_n	Prozessstrang n	Tn		

Neben lebensmittelspezifischen Anforderungen sind auch logistische Überlegungen für die einzelnen Prozessstränge anzustellen. So empfiehlt es sich beispielsweise, Cross-Docking-Ware als eigenen Prozessstrang zu definieren, da diese Ware keinen eigenen Lager- und Kommissionierbereich benötigt.

Nach der Definition der einzelnen abzuwickelnden Prozessstränge werden diese in ein Materialflussschema überführt, das den schematischen Fluss jedes einzelnen Prozessstranges durch die einzelnen Funktionsbereiche (Wareneingang, Lagerbereich, Kommissionierbereich und Warenausgang) abbildet:

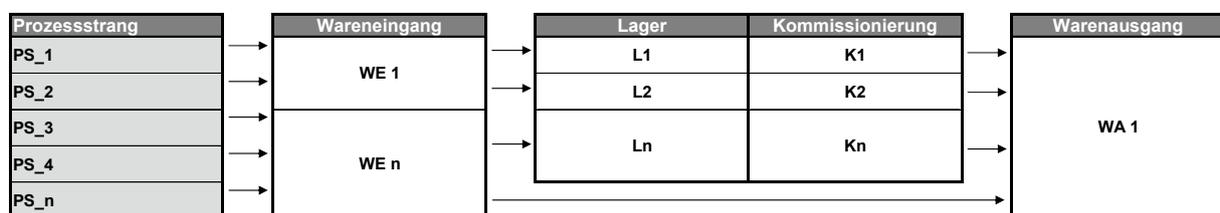


Abbildung 25: Beispielhaftes Materialflussschema für n Prozessstränge durch die Funktionsbereiche

Im Zuge der Darstellung muss die mögliche Überlagerung einzelner Prozessstränge je Funktionsbereich berücksichtigt werden. Auf diese Weise werden sämtliche Subfunktionsbereiche systematisch dargestellt. Hierbei ist darauf zu achten, auch zuvor erfasste Sonderprozesse (z. B. Cross-Docking, Retouren,

Leerbehälterkreisläufe und Müllentsorgung) als eigene Prozessstränge mit entsprechenden Funktionsbereichen abzubilden. Ein eigener Funktionsbereich ist aber nur zu bilden, falls sich die Spitzen in diesen Bereichen nicht ausgleichen können. Somit werden im Lebensmittelgroßhandel meist separate und aufgrund der erforderlichen Kühlung räumlich getrennte Wareneingänge für das Trockensortiment, das Frischdienstsortiment und das Tiefkühlsortiment vorgesehen. Spitzen im Wareneingang des Frischdienstsortiments können beispielsweise nicht über den Wareneingang des Trockensortiments abgewickelt werden, auch wenn Fläche verfügbar wäre. Diese Funktionsbereiche sind daher auf individuelle Spitzen ausulegen. Durch die Pfeile (siehe Abbildung 25) wird symbolisiert, welcher Prozessstrang über welchen Bereich des Wareneingangs abgewickelt wird.

Cross-Docking-Ware wird, wie in Abbildung 25 dargestellt, über eine direkte Verbindung von Warenein- und -ausgang symbolisiert. Die Einlagerleistung für den jeweiligen Bereich kann von der Anzahl der Liefereinheiten im Wareneingang abweichen, wenn beispielsweise Mischpaletten (nicht artikelreine Paletten) zerlegt werden und/oder die Leistungszeiträume voneinander abweichen (z. B. 8 h Warenannahme bei 16 h Einlagerung). Im Lager wird die Trennung der Subfunktionsbereiche wiederum gemäß den im Zuge der Prozessstrangbildung gemachten Überlegungen getroffen. Gefahrgut wird beispielsweise getrennt vom restlichen Sortiment in einem räumlich getrennten Bereich gelagert.

Im Kommissionierbereich werden Prozessstränge, die gemeinsam kommissioniert werden können, überlagert. Im Warenausgang werden alle Prozessstränge zusammengelegt, die gemeinsam mit denselben Touren versendet werden. Im Lebensmittelgroßhandel gibt es entweder einen gekühlten Gesamwarenausgang oder getrennte Warenausgänge für das Trockensortiment und die Frischdienstware.

Dieses Materialflussschema dient der Strukturierung der Datenanalyse und als Grundlage für das daraus entstehende Durchsatz- und Bestandsanforderungsflussbild.

### 5.2.3 Ergebnisse aus Schritt 2

Die Ergebnisse aus Schritt 2 sind:

- Prozesslandkarten aller Haupt- und Nebenprozesse inkl. Informationen bzgl. involvierter Mitarbeitergruppen und IT-Systeme.
- Prozessstrangkatalog zur Auflistung der gemäß den Lager- und Kommissionieranforderungen gebildeten Lebensmittel- und ggf. Non-Food-Prozessstränge inkl. Auflistung der bei der Logistikplanung zu beachtenden Zusatzinformationen (z. B. Bio-Sortiment bei zertifizierten Bio-Händlern).

- Materialflussschema zur Darstellung des Verlaufes sämtlicher Prozessstränge durch die einzelnen Funktionsbereiche.

## 5.3 Schritt 3 | Datenintegration und Ableitung von Durchsatz- und Bestandsanforderungen

Das Ziel von Schritt 3 ist die Schaffung einer validen Datengrundlage zur Vorauswahl der Lagertechnik- und Betriebsstrategien in Schritt 4, die Bildung der Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten in Schritt 5 sowie die Kalkulation der Zielwerte als finale Entscheidungsgrundlage in Schritt 6. Wie in Abbildung 22 dargestellt, kann es erforderlich sein, Schritt 3 iterativ mit den Schritten 4 bis 6 zu durchlaufen.

### 5.3.1 Abstimmung von Datenanforderungen und -verfügbarkeit

Die Qualität eines Planungsprojektes kann maximal so hoch wie die Qualität der zu Grunde liegenden Daten sein. Die wichtigste Planungsgrundlage für die Auslegung von Lager- und Kommissioniersystemen stellen die historischen Daten der Warenein- und -abgänge sowie der Bestandsverläufe dar. In der Regel wird zumindest ein gesamtes Geschäftsjahr – ohne Datenumbrüche – als Auslegungsbasis benötigt. Idealerweise liegen drei gesamte Geschäftsjahre in Form von Buchungsdaten vor (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020). Zur Validierung der Auswertungen werden unternehmensspezifische Kennzahlen benötigt. Der Bedarf und die Verfügbarkeit dieser Datensätze werden in einer sogenannten Datenanforderungsliste dokumentiert. Sämtliche für das Vorgehensmodell benötigten Daten wurden in einer Datenanforderungsliste gesammelt und mit einer Datenintegrations\_ID, die die standardisierte Bezeichnung des entsprechenden Datenfeldes nach der Datenintegration vorgibt, versehen. Die Datenanforderungsliste ist im Anhang der Arbeit zu finden (siehe Tabelle 17 in Anhang 9.2).

Sollten die geforderten Datensätze nicht zur Verfügung stehen, müssen sie ggf. zusätzlich generiert bzw. abgeschätzt werden. Zur Generierung von Daten können beispielsweise Strichlisten (z. B. Erfassung der Anzahl der Wareneingangspaletten über einen definierten Erhebungszeitraum) oder Sensorik eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit bei fehlenden Daten ist die Abschätzung benötigter Kennzahlen durch Fachexpertinnen und Fachexperten bzw. operatives Personal.

### 5.3.2 Datenintegration

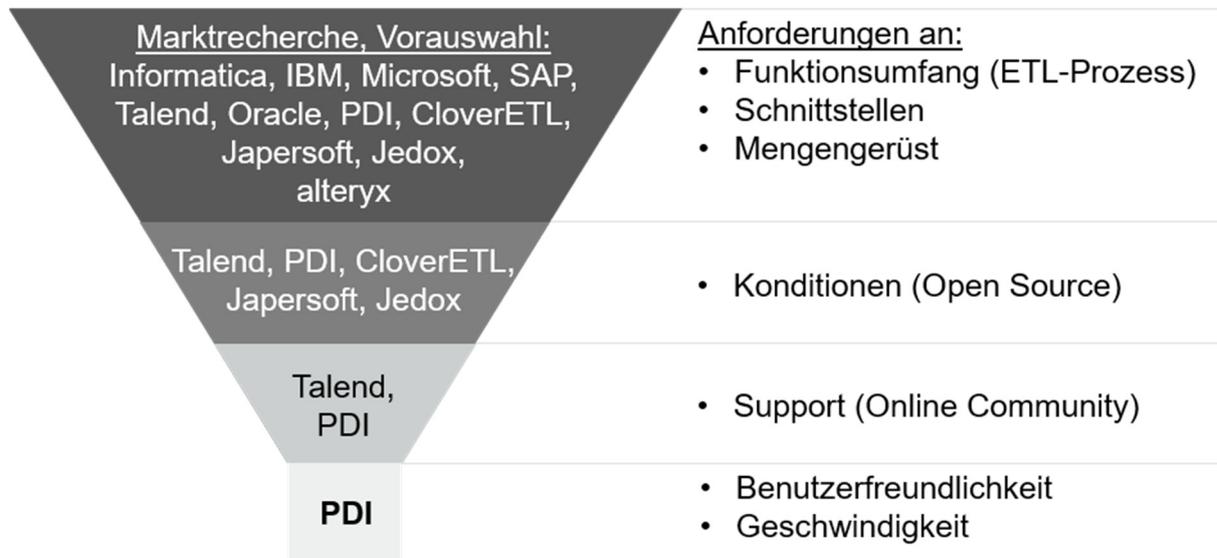
Lager- und Kommissioniersysteme – insbesondere im Bereich des Großhandels – generieren große Mengen an Buchungsdaten, wobei die Struktur der generierten

Daten stark vom individuellen Unternehmen abhängt. In Prozess- und Verwaltungsdaten kommt es häufig zu fehlerhaften Datensätzen. Ein klassisches Beispiel dafür sind manuell gepflegte Excel-Dateien. Allerdings können auch Daten, die direkt aus einer Datenbank abgefragt werden, meist nicht direkt, d. h. ohne Aufbereitung für die Datenauswertung, genutzt werden. Fehlerhafte Abfragen führen dazu, dass im Zuge eines Planungsprojektes zu Grunde liegende Daten häufig mehrfach ausgetauscht werden müssen. Darüber hinaus stammen die benötigten Informationen meist aus unterschiedlichen Quellen (z. B. unterschiedliche Datenbanken, Excel-Dateien, Handaufschriebe, Text-Dateien), die sich häufig stark hinsichtlich Qualität und Form unterscheiden. Die Datenaufbereitung und -analyse ist daher vielfach jener Teil der Planung, der mit dem höchsten Zeitaufwand verbunden ist. Als Grundlage für die Datenanalyse ist es notwendig, diese heterogenen Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen in einem gewünschten Zielformat zu speichern. Der Prozess des Zusammenführens von Daten aus mehreren Quellen in eine Ansicht wird als Datenintegration bezeichnet. Diese umfasst die Aufnahme, die Bereinigung, das Mapping, die Transformation und anschließend die Bereitstellung der Daten in einem gewählten Zielformat. Eine weit verbreitete Form der Datenintegration ist der sogenannte ETL-Prozess (extrahieren, transformieren, laden) (vgl. VDI-Richtlinie 2689 2010 (05), S. 13; Staab 2016, S. 18f., Nogués und Valladares, 2017, S. 147f.). Die drei Phasen des ETL-Prozesses sind (vgl. Linden, 2016, S. 129ff.):

1. Extraktionsphase: Einlesen von externen Informationsquellen und internen Daten.
2. Transformationsphase: Aufbereitung und Vereinheitlichung der Daten in Bezug auf den Datentyp durch Filterung, Harmonisierung, Aggregation und Anreicherung.
3. Ladephase: Bereitstellung der aufbereiteten Daten in einem adäquaten Format zur Datenanalyse.

Zur Datenintegration gibt es zahlreiche ETL-Anwendungen am Markt. Die bekanntesten Lösungen wurden von Knödgen (2019) gesammelt und untersucht (siehe Abbildung 26). Hierbei wurde zwischen kostenpflichtigen und Open-Source-Lösungen unterschieden. Erstere verlangen für personenbezogene Lizenzen mehrere Tausend Euro pro Jahr an Lizenzgebühren (z. B. Alteryx). Um die Anwendbarkeit des entwickelten Vorgehensmodells nicht durch teure Software-Gebühren einzuschränken, wurde in der vorliegenden Arbeit die Auswahl auf Open-Source-Lösungen beschränkt. Zusätzlich wurden Aspekte wie kostenfreier Support, Benutzerfreundlichkeit und Geschwindigkeit des Transformationsprozesses verglichen. Die Wahl fiel auf die Business-Intelligence-Software Pentaho Data Integration (PDI) des japanischen Konzerns Hitachi Vantara, die aus dem javabasierten Open-Source Projekt Kettle hervorging (vgl. Knödgen 2017, S. 57).

Nachfolgend ist die Auswahl des passenden ETL-Tools schematisch dargestellt:



**Abbildung 26: Finale Auswahl eines ETL-Tools als Grundlage zur Datenintegration im Zuge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Knödgen 2017, S. 57)**

Das Ziel der Datenintegration im Zuge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen ist die Erstellung von vier standardisierten Output-Dateien als Basis für die nachfolgende Datenanalyse zur Bestimmung relevanter Auslegungskennzahlen. Diese Output-Dateien sind von Datenfehlern bereinigt und mit sämtlichen relevanten Informationen über den gesamten Betrachtungszeitraum (ca. ein bis drei Geschäftsjahre, wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben) angereichert. Die vier Output-Dateien sind („Out“ steht hier zur Kennzeichnung, der aus der Datenintegration ausgelesenen Dateien):

- Out-Wareneingänge
- Out-Wareneinlagerungen
- Out-Warenbestände
- Out-Warenausgänge

Eine Darstellung der standardisierten Feldbezeichnung für die vier Output-Dateien ist im Anhang abgebildet (siehe Tabelle 18 in Anhang 9.2). Neben einer Standardisierung der Feldnamen ist bei der Datenintegration auch der Datentyp und das Datenformat je Feld zu vereinheitlichen. Diese beschreibenden Informationen, die nicht den eigentlichen Wert eines Datenfeldes beinhalten, werden als Metadaten bezeichnet (vgl. Linden 2016, S. 162). In dem in dieser Arbeit entwickelten Werkzeug zur Datenintegration können die folgenden Metadaten für jedes Datenfeld individuell bestimmt werden:

Tabelle 9: Definition der Metadaten (vgl. Casters et al. 2010, S. 27f.)

<b>Type</b>	String: jede Art von Zeichen, ohne besondere Begrenzung.
	Number: Gleitkommazahl mit doppelter Genauigkeit (64 Bit).
	Integer: ganzzahlige Werte aus dem Bereich $-9.223.372.036.854.775.808$ bis $9.223.372.036.854.775.807$ (64-bit).
	Date: ein Datum-Zeit-Wert mit Millisekunden-Präzision.
	Boolean: binarischer Wert.
<b>Length</b>	Bei einer Number wird hiermit die Anzahl der signifikanten Stellen definiert: für einen String die Länge der Zeichenkette und für den Datentyp Date die anzuzeigenden Zeichen.
<b>Precision</b>	Für den Typ Number wird mit der Precision die Anzahl der Gleitkomma-Ziffern bestimmt. Für String, Date und Boolean sind keine Eingaben nötig.
<b>Trim Type</b>	Spezifizierung der Ausrichtung (links, rechts, zentriert). Standardmäßig: none (keine).
<b>Repeat</b>	Falls der entsprechende Wert in der Zeile leer ist, kann mit dieser Funktion der Wert aus der vorherigen Zeile kopiert werden.
<b>Format</b>	Konkretisierung des Darstellungsformats für den Datentyp Number und Date mit der Hilfe von vordefinierten Symbolen. Beispielsweise steht die Null (0) für eine Ziffer, die immer angezeigt wird. Das Doppelkreuz (#) für eine Ziffer, bei der die führende Null nicht dargestellt wird. Das Dezimaltrennzeichen muss immer ein Punkt (.) sein, kann aber über die Metadatenkategorie Decimal für die Ausgabe angepasst werden. Für die Metadatenart Date sind andere Symbole verfügbar (y = Jahr, h = Stunde, m = Minute, s = Sekunde).
<b>Currency</b>	Wird verwendet, um Zahlen wie 10.000,00 \$ oder 5.000,00 € zu interpretieren.
<b>Decimal</b>	Ein Dezimaltrennzeichen kann aus einem Punkt (.) (5,000.00) oder einem Komma (,) bestehen (5.000,00).
<b>Grouping</b>	Ebenso kann das Tausendertrennzeichen einen Punkt (.) (5.000,00) oder ein Komma (,) enthalten (5,000.00).

In der Praxis hat jedes Unternehmen individuelle Bezeichnungen für die einzelnen Feldnamen, die den standardisierten Feldnamen zugewiesen werden müssen. Des Weiteren unterscheiden sich die Formate häufig hinsichtlich des Datentyps. Um die standardisierten Output-Dateien aus den individuellen Daten generieren zu können, wurde ein sogenannter Übersetzer entwickelt. In diesem wird jeder Spaltenbezeichnung das jeweilige Feld zugeordnet, zusätzlich werden die Metadaten für das jeweilige Zielfeld festgelegt. Der Übersetzungsprozess ist schematisch in Abbildung 25 dargestellt:

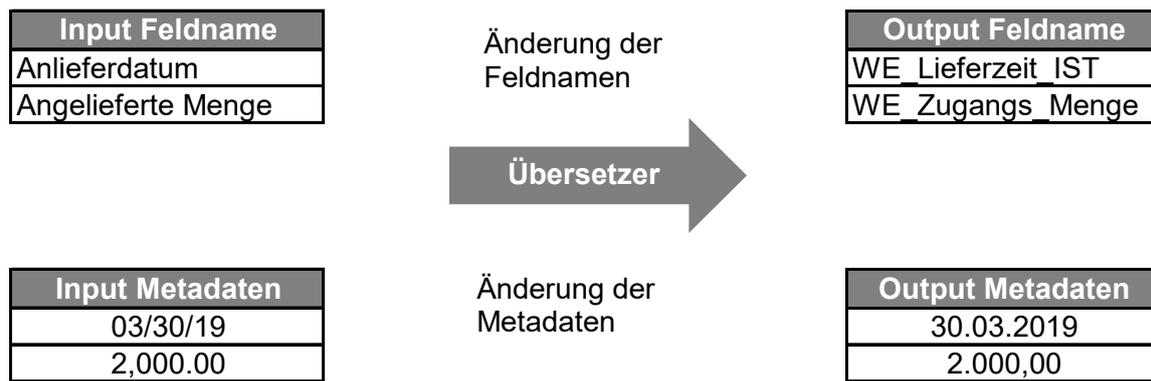


Abbildung 27: Schematische Darstellung des Übersetzungsprozesses

Meist ist das direkte Anknüpfen an bestehende Datenbanken aufgrund von Datenschutzgründen und/oder zu hoher Rechenzeit nicht möglich. In der Praxis werden unternehmensspezifische Daten daher häufig in Form von Text-Dateien (z. B. im Comma Separated Value-Format) oder MS-Excel-Dateien bereitgestellt. Es ist keine Seltenheit, dass wegen der großen Datenmengen gewisse Datensätze auf unzählige Einzeldateien aufgeteilt werden (z. B. aufgrund der Zeilen-Beschränkung von MS Excel). Zusätzlich werden diese einzulesenden Daten aufgrund von Abfrage- und oder Stammdatenfehlern im Zuge eines Projektes häufig ausgetauscht (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020). Ziel des entwickelten Werkzeuges zur Datenintegration ist es daher, neben der Übersetzung auch das Einlesen der einzelnen Datenquellen zu automatisieren.

Ein weiterer Anspruch an das Datenintegrationswerkzeug war die Benutzerfreundlichkeit. Es wurde daher darauf geachtet, dass die Benutzerin bzw. der Benutzer über keine Kenntnisse über die PDI-Software verfügen muss. Sämtliche Eingaben über die einzulesenden Datenquellen, die Zuweisung der standardisierten Feldnamen sowie die Vorgabe der Metadaten erfolgt daher über eine sogenannte Übersetzungsmatrix auf MS-Excel-Basis. Diese Informationen werden über eine sogenannte Injektions-Transformation (Metadata-Injection) eingelesen und an die Integrations-Transformation, in der der eigentliche ETL-Prozess stattfindet, weitergegeben. Die Injektions-Transformation koordiniert demnach die Integrations-Transformation. Dies ermöglicht die Steuerung des gesamten Werkzeuges über die MS-Excel-Eingabemaske und die Automatisierung wiederkehrender Tätigkeiten (z. B. das Einlesen und Aufbereiten mehrerer unterschiedlicher Quellen). Die Funktionsweise des Datenintegrationswerkzeuges für die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen wird in Abbildung 26 schematisch gezeigt:

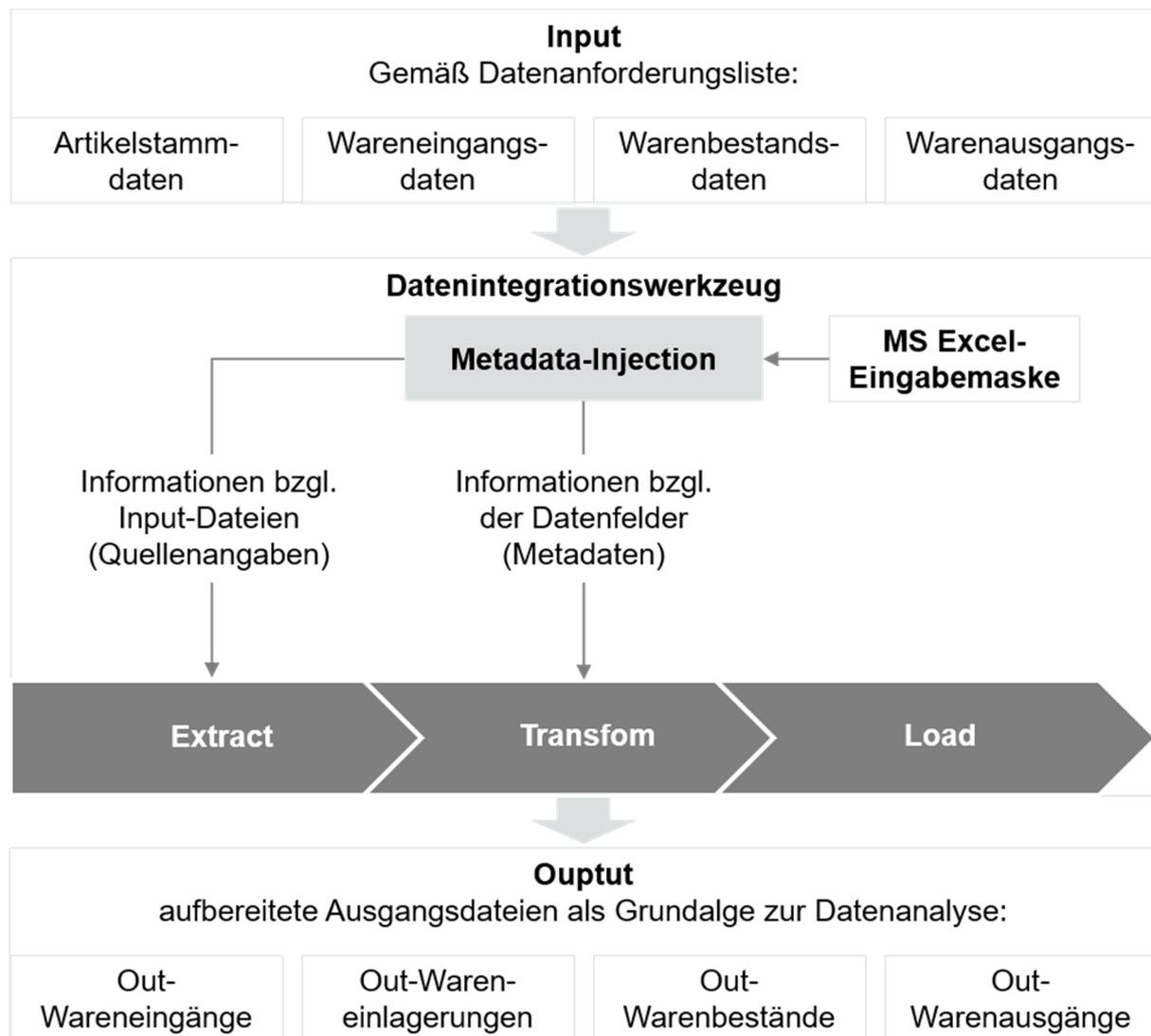


Abbildung 28: Darstellung der Funktionsweise des Datenintegrationswerkzeugs zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen

Wie in Abbildung 28 dargelegt, steuert die Benutzerin bzw. der Benutzer den gesamten ETL-Prozess über die MS-Excel-Eingabemaske. Dieses Dokument besteht aus mehreren Tabellenblättern. Für jede gemäß der Datenanforderungsliste definierte Input-Datei sind zwei Tabellenblätter angelegt: ein Datenblatt zur Eingabe der jeweiligen Datenpfade und ein zweites Blatt zur Definition der Metadaten. In dem Reiter Quellenangaben werden zunächst die relativen Pfade der einzulesenden Datei angegeben, des Weiteren kann in diesem Schritt die einzulesende Datei spezifiziert werden. In Abbildung 27 ist die Eingabemaske zum Einlesen der Wareneingangsdaten exemplarisch angeführt. Dieser Schritt wird für sämtliche Arten von Input-Dateien durchgeführt.

file_name	separator	enclosure	file_encoding	value to turn to NULL
\$(Internal.Entry.Current.Directory)/../Wareingangsdaten_Datei 1.csv	;	"	UTF-8	NULL
\$(Internal.Entry.Current.Directory)/../Wareingangsdaten_Datei 2.csv	;	"	UTF-8	NULL
\$(Internal.Entry.Current.Directory)/../Wareingangsdaten_Datei n.csv	;	"	UTF-8	NULL

Abbildung 29: MS-Excel-Eingabemaske Tabellenblatt Wareneingangsdaten\_Quellenangaben

Anschließend wird das zugehörige Datenblatt Metadaten für die einzelnen Input-Dateien befüllt. In der Spalte `Input_Feldname` werden sämtliche Feldbezeichnungen der einzulesenden Daten angeführt. Anschließend werden diese über die Spalte `Output_Feldname` mit den hinterlegten Standardbezeichnungsschema gekoppelt (siehe Tabelle 18). Kann ein `Input_Feld` nicht eindeutig einer Standardkategorie zugeordnet werden, gibt es zwei Möglichkeiten: Enthält das nicht zuordenbare Input-Feld keine relevanten Informationen, wird es einem „Dummy“-Feld, das im Zuge der Integrations-Transformation entfernt wird und nicht Teil der Output-Datei ist, zugeordnet. Die zweite Option besteht darin, das Input-Feld einem Output-Zusatzfeld zuzuordnen, falls relevante Informationen vorhanden sind, die keinem vorangelegten Output-Feld eindeutig zuordenbar sind (z. B. Information Bio-Artikel). Diese Art des Output-Feldes wird von der Integrations-Transformation entsprechend der Metadaten-Eingabe aufbereitet und in die Output-Datei übernommen. Des Weiteren werden je Inputfeld die Metadaten gemäß den in Tabelle 9 beschriebenen Kategorien an das jeweilige Feld angepasst. Die Zuordnung der Metadaten für die Wareneingangsdaten wird in Abbildung 28 exemplarisch dargestellt:

Input_Feldname	Type	Length	Precision	Trim	Type	Repeat	Format	Currency	Decimal	Grouping	Output_Feldname
WE_Feld 1	Integer	15					#				WE_Artikel_ID
WE_Feld 2	Integer	10					#				WE_Lieferanten_ID
WE_Feld 3	Integer	20					#				WE_Auftrags_ID
WE_Feld 4	Date	16					dd.MM.yyyy HH:mm				WE_Liefer_Zeit_Soll
WE_Feld 5	Date	16					dd.MM.yyyy HH:mm				WE_Liefer_Zeit_Ist
WE_Feld 6	String	15									WE_Dummy_1
WE_Feld 7	Integer	5					#####				WE_Zugangs_Menge
WE_Feld 8	String	40									WE_Liefer_Gebinde
WE_Feld 9	Boolean	1									WE_Zusatz_Info_1
WE_Feld 10	String	3									WE_Dummy_25
WE_Feld 11	Number	10					###.###.##	€	.	,	WE_Zusatz_Info_2

Abbildung 30: MS-Excel-Eingabemaske Tabellenblatt Wareneingangsdaten\_Metadaten

Nachdem Datenpfade, Datenformate und Metadaten je Datenfeld an die individuelle Datenstruktur angepasst wurden, wird die Injektions-Transformation gestartet. Sämtliche Informationen aus der MS-Excel-Eingabemaske werden automatisiert in die PDI-Software eingelesen. Hierzu dient der Baustein „ETL Metadata Injection“ (siehe Abbildung 114). Jeder Baustein in dieser Transformation entspricht genau einem Tabellenblatt aus der MS-Excel-Eingabemaske. Innerhalb des Bausteins ETL Metadata Injection ist jeder Befehl in der Integrations-Transformation hinterlegt und wird mit den eingelesenen Informationen gezielt befüllt. Die Injektions-Transformation ist im Anhang der Arbeit abgebildet (siehe Abbildung 114 im Anhang 9.2).

Der eigentliche ETL-Prozess in Form von Verknüpfung und Bereinigung der Daten findet in der Integrations-Transformation (siehe Abbildung 115) statt. Diese wird für sämtliche in der MS-Excel-Eingabemaske angegebenen Daten-Inputs nach Start der Injektions-Transformation automatisch durchlaufen. Dafür werden die Dateien zunächst über die Input-Schritte eingelesen. Anschließend werden die Metadaten gemäß der MS-Excel-Eingabemaske angepasst. Sollte ein Datensatz nicht dem von

der Benutzerin bzw. dem Benutzer definierten Format entsprechen, wird er vom restlichen Datenfluss abgezweigt und direkt in ein Fehlerprotokoll geschrieben. Die verbleibenden Datensätze werden zur Verknüpfung der einzelnen Dateien herangezogen. Die Wareneingangsdaten, die Wareneinlagerungsdaten, die Warenbestandsdaten und die Warenausgangsdaten werden über das Datenfeld Artikel\_ID mit sämtlichen Informationen aus den Artikelstammdaten angereichert. Die aufbereiteten und verknüpften Datensätze werden anschließend in dem in Tabelle 18 dargestellten Zielformat ausgelesen. Diese aufbereiteten und standardisierten Output-Dateien dienen als Grundlage für die im nächsten Schritt erfolgende Datenanalyse (siehe Abbildung 115 im Anhang 9.2).

### 5.3.3 Bestimmung von Durchsatz- und Bestandsanforderungen

Die Basis der im Vorgehensmodell folgenden Schritte ist die Analyse der aus der Datenintegration hervorgehenden standardisierten Output-Dateien für jeden in Schritt 3 definierten Prozessstrang. Die Datenanalyse wird (wie in Abbildung 22 dargestellt) iterativ mit den Schritten 4, 5 und 6 durchlaufen. Der Fokus der Datenanalyse liegt in der Ableitung der Durchsatz- und Bestandsanforderungen für jeden in Schritt 2 definierten Funktionsbereich. Die Datenanalyse erfolgt in drei Stufen:

1. Analyse der aufbereiteten Datengrundlage
2. Analyse des hochgerechneten Zielplanungsjahres
3. Zusatzanalysen der einzelnen Grobkonzeptvarianten

Stufe 1 dient der Validierung der zu Grunde liegenden Datenbasis. Das Ergebnis von Stufe 2 sind die zu erfüllenden Bestands- und Durchsatzanforderungen je Funktionsbereich als Grundlage für die Vorauswahl von Kommissionierverfahren sowie von Lager- und Kommissioniertechnik. Stufe 3 dient der Dimensionierung der Grobkonzeptvarianten in Schritt 5 sowie der Bestimmung der in Schritt 1 definierten Zielattribute zur Lösung des Entscheidungsproblems in Schritt 6.

Die Datenanalyse orientiert sich an dem in Schritt 2 definierten Materialflussschema. Zunächst wird daher das komplette Artikelsortiment den einzelnen Prozesssträngen zugeordnet. Dies erfolgt mit Hilfe des in Schritt 2 erarbeiteten Prozessstrangkatalogs und kann für die vier Output-Dateien analog geschehen, da diese im Zuge der Datenintegration mit sämtlichen Artikelstammdaten angereichert wurden. Anschließend erfolgt die Datenanalyse gemäß den übergeordneten Funktionsbereichen entlang des Materialflusses unterteilt in:

1. Wareneingang
2. Lager- und Kommissionierbereich
3. Warenausgang

Jeder dieser übergeordneten Funktionsbereiche ist in weitere Sub-Funktionsbereiche unterteilt (siehe Abbildung 25). Für jeden der Sub-Bereiche werden folgende spezifische Anforderungen abgeleitet:

- Durchsatzanforderungen
- Bestandsanforderungen

Die Durchsatzanforderungen sind essenziell, um in weiterer Folge die Kommissionierverfahren sowie die Lager- und Kommissioniertechnik auszuwählen und auszulegen (z. B. Auswahl passender Fördertechnik) und den Personalbedarf je Funktionsbereich zu bestimmen. Die Durchsatzanforderungen ergeben sich aus der geforderten Einlager- und Auslagerleistung innerhalb einer gewissen Zeiteinheit (bei diesem Vorgehensmodell wird in Stundenscheiben gerechnet). Um den entsprechenden Auslegungswert für diese beiden Kennzahlen zu bestimmen, muss der zeitliche Verlauf über den gesamten Betrachtungszeitraum (zumindest ein Geschäftsjahr) untersucht werden. Der Auslegungswert orientiert sich im Normalfall an den herausforderndsten Tagen im Jahr, die als repräsentativ erachtet werden. Im Lebensmittelgroßhandel liegen diese Tage meist in der Oster- und Weihnachtszeit. Sollten die Ein- und Auslagerdaten nicht auf Stundebasis verfügbar sein, muss der prozentuelle Anteil der Spitzenstunde an der Tagesleistung erhoben werden. Dieser kann beispielsweise durch manuelle Aufnahmen je Funktionsbereich in Form von Strichlisten erfolgen. Dieser Gewichtungsfaktor wird dann mit dem Auslegungstag multipliziert, um auf die Auslegungsstunde zu schließen.

Die Bestandsanforderungen werden ebenfalls benötigt, um die passende Lager- und Kommissioniertechnik auszuwählen und um den Flächen-/Raumbedarf je Funktionsbereich zu kalkulieren. Es ist nicht sinnvoll, im Zuge eines Lagerplanungsprojektes eine Bestandsoptimierung durchzuführen. Ein Lager, das auf Basis optimierter Bestände geplant wird, ist meist zu klein, da ein Unternehmen in der Praxis meist nicht alle Optimierungspotenziale zur Bestandsreduktion umsetzen kann (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020). In diesem Vorgehensmodell wird daher empfohlen, unveränderte Bestände des Basisjahres zur Ableitung der Bestandsanforderungen heranzuziehen. Die Bestandsanforderungen werden je Bereich für die gewählte Lagereinheit bestimmt. Da die Lagereinheiten für zukünftige Grobkonzeptvarianten in dieser Phase der Planung noch nicht feststehen, muss diese Auswertung in Schritt 5 ggf. für jede Grobkonzeptvariante wiederholt werden. Für Stufe 1 (Analyse der aufbereiteten Datengrundlage) werden im derzeitigen Betrieb verwendete Lagereinheiten herangezogen.

Die Bestandsanforderungen sind nicht nur vom physisch gelagerten Volumen abhängig, sondern auch von der Anzahl an unterschiedlichen Artikeln, auf die sich das



- WE.DA.01.i: geforderte Leistung anzunehmender Anlieferereinheiten (z. B. angelieferte Mischpaletten pro Stunde)
- WE.DA.02.i: in den Lager- bzw. Kommissionierbereich zu transportierende Transporteinheiten (z. B. sortenreine Paletten pro Stunde)

Zur Bestimmung der ersten Durchsatzanforderung WE.DA.01.i wird die aus der Datenintegration hervorgehende Datei Output-Wareneingänge herangezogen. In vielen Lager- und Kommissioniersystemen werden Buchungsdaten erst ab der Einlagerung der gelieferten Ware generiert (vgl. W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020). Vielfach werden angelieferte Paletten manuell erfasst, dabei ist speziell darauf zu achten, die Daten sorgfältig einzugeben, um Datenfehler zu vermeiden. Zur Bestimmung der angelieferten Transportgebinde pro Stunde wird das Datenfeld WE\_Zugangs\_Menge herangezogen. Dieses sollte sich auf das jeweilige WE\_Liefer\_Gebinde beziehen. Sollte sich die Menge in den Zugangsdaten auf den einzelnen gelieferten Artikel beziehen, muss sie auf das entsprechende Liefergebilde umgerechnet werden. Dies kann beispielsweise über Zusatzinformationen in den Artikelstammdaten, die die Schlichtmuster (Anzahl Artikel pro Lage/Palette) des Artikels beschreiben, erfolgen. Anschließend wird die auf das WE\_Liefer\_Gebinde bezogene Menge über den gesamten Betrachtungszeitraum je Sub-Funktionsbereich (WE 1 bis WE n) tageweise aufsummiert. Die Summen der einzelnen Sub-Funktionsbereiche werden durch die Überlagerung der jeweiligen Prozessstränge gemäß dem Materialflussschema gebildet. Zur Auswahl des Auslegungswertes wird der entsprechende Verlauf visualisiert.

Falls Zeitstempel in den Daten vorhanden sind, kann die Durchsatzkennzahl direkt aus den Daten abgeleitet werden. Alternativ dazu müssen manuelle Datenerfassungen (z. B. in Form von Strichlisten) im jeweiligen Bereich über einen repräsentativen Zeitraum hinweg durchgeführt werden. Anschließend wird die Verteilung der Leistung auf die einzelnen Stunden repräsentativer Tage (z. B. nur starke Wochentage) prozentual gewichtet und in ein Verteilungsdiagramm überführt. Der Auslegungstag wird gemäß dieser Verteilungsfunktion, auf die gewünschte Stundenleistung rückgerechnet. Der in das Materialflussbild zu übertragende Auslegungswert (angelieferte Wareneingangsmenge je Wareneingangs-Liefergebilde pro Stunde) ergibt sich aus dem gewählten Auslegungswert pro Tag mal dem prozentualen Anteil der Spitzenstunde in Prozent. Diese Vorgehensweise wird für sämtliche Sub-Funktionsbereiche wiederholt.

Die zweite zu bestimmende Durchsatzanforderung des Wareneingangs je Sub-Funktionsbereich ist die Menge der in den Lagerbereich zu transportierenden Transporteinheiten pro Stunde. Diese kann sich von der Menge der angelieferten Transporteinheiten aus mehreren Gründen unterscheiden:

1. Eine zeitliche Versetzung von Warenannahme und Wareneingang mit unterschiedlichen Leistungszeiträumen (z. B. 8 h Warenannahme und 16 h Einlagerung).
2. Einer Veränderung der angelieferten Ladungsträger gegenüber einzulagernden Ladungsträgern (z. B. Umschichten gemischt angelieferter Paletten auf sortenreine Ladungsträger im Wareneingang).

Zur Analyse der Kennzahl WE.DA.02.i wird die Datei Output-Wareneingänge verwendet. Die Vorgehensweise zur Bestimmung des Auslegungswertes pro Stunde je Sub-Wareneingangsbereich erfolgt analog zur Bestimmung der Kennzahl WE.DA.01.i.

Neben den Durchsatanforderungen müssen für die einzelnen Wareneingänge nach Abbildung 31 auch die folgenden Bestandsanforderungen bestimmt werden:

- WE.BA.01.i: Anzahl an angelieferten Lagereinheiten, die im Wareneingang zwischengelagert werden müssen (z. B. Mischpaletten).
- WE.BA.02.i: Anzahl an einzulagernden Lagereinheiten, die im Wareneingang zwischengelagert werden müssen (z. B. vereinzelte sortenreine Paletten).

Da im Wareneingang im Normalfall (falls nötig) die Umschichtung der Ware von angelieferten auf einzulagernde Ladungsträger erfolgt, muss in diesem Funktionsbereich ausreichend Puffer für beide Arten der Ladungsträger (zusätzlich zur benötigten Arbeitsfläche) vorgesehen werden. Bei Lieferung unterschiedlicher Ladungsträger (z. B. Euro-Paletten (E-PAL) und Düsseldorfer-Paletten (DD-PAL)) kann in sogenannten Euro-Paletten-Äquivalenten (E-PAL-Äquivalenten) gerechnet werden. In diesem Fall wird jeder Ladungsträger über den jeweiligen Grundflächenbedarf in Verhältnis zu einer Euro-Palette gesetzt (z. B. E-PAL-Äquivalente einer DD-PAL (Maße 800 mm x 600 mm) entspricht 0,5). Zur Bestimmung des zu puffernden Bestandes an angelieferten Paletten (Kennzahl WE.BA.01.i) können die beiden im Zuge der Durchsatanforderung erstellten Auswertungen herangezogen werden. Anschließend muss eine Entscheidung darüber getroffen werden, über welchen Zeitraum die angelieferten Paletten im Wareneingang maximal zwischengelagert werden sollen. Dies hängt stark von den Aufwänden bei der Warenannahme ab. Bei einer Anlieferung sortenreiner Paletten reicht zumeist die Pufferung weniger Stunden. Bei besonders aufwendigen Tätigkeiten im Zuge der Warenannahme (z. B. sehr hoher Anteil an Mischpaletten) müssen tlw. ganze Schicht- bis Tagesmengen zwischengepuffert werden. Aufgrund externer Lieferanten haben die meisten Handelsunternehmen nur beschränkt Einfluss auf die Form der angelieferten Ladungsträger. Sobald die Anzahl an Stunden, die in der Warenannahme für gelieferte Paletten zwischengepuffert werden soll, fixiert wurde, ist aus der Überlagerung mehrerer Stunden einen Prozentsatz der Tagesmenge an zu

puffernden angelieferten Paletten zu bestimmen. Dieser Prozentsatz wird mit der jeweiligen Menge des gewählten Auslegungstages multipliziert.

Zur Bestimmung der Kennzahl WE.BA.02.i muss die zur Einlagerung der Transporteinheiten verfügbare Leistung abgeschätzt werden. Auf diese Weise kann bestimmt werden, über welchen Zeitraum einlagerungsbereite Ladungsträger im Wareneingang gepuffert werden müssen. Wenn die Einlagerleistung höher als die Anzahl angelieferter Paletten ist, reicht es im Normalfall, diese Ladungsträger eine Stunde zwischenspuffern. In automatisierten Systemen sollte ein zusätzlicher Puffer eingeplant werden, um bei einem eventuellen Ausfall den Wareneingang nicht stillzulegen.

Zusätzlich muss der Anteil angelieferter Paletten, die vor der Einlagerung umgeschichtet werden müssen (Anteil sortenreiner Paletten gegenüber gemischten Paletten), sowie das Verhältnis eines gelieferten Ladungsträgers zu einzulagernden Ladungsträgern bekannt sein. Durch diese beiden Verhältnisse kann die Anzahl an zu puffernden Ladungsträgern bestimmt werden. Daraus kann die Kennzahl WE.BA.01.i für den jeweiligen Bereich mit der Anzahl gemischt angelieferter Paletten multipliziert werden. Anschließend wird diese Zahl durch die durchschnittliche Anzahl an Paletten je Lkw dividiert, was eine grobe Anzahl benötigter Lanes ergibt. Diese Anzahl an „Misch-Lanes“ wird danach mit dem durchschnittlichen Faktor angelieferter Ladungsträger zu einzulagernden Ladungsträgern und der jeweiligen Anzahl an zwischenzulagernden Stunden multipliziert, um die Anzahl einzulagernder Ladungsträger, die zusätzlich im Wareneingang zwischengepuffert werden sollen, zu bestimmen.

Der nächste Funktionsbereich, für den analog zu dem in Schritt 2 erstellten Flussbild die entsprechenden Kennzahlen abzuleiten sind, ist der Lager- und Kommissionierbereich. Da diese beiden Funktionsbereiche in starker Wechselbeziehung zueinanderstehen, werden die entsprechenden Kennzahlen für diese Bereiche gemeinsam erläutert. Folgende Durchsatzanforderungen sind gemäß Abbildung 31 zu bestimmen:

- LA.DA.01.i: Anzahl der in den jeweiligen Lagerbereich einzulagernden Lagereinheiten
- LA.DA.02.i: Anzahl der in den jeweiligen Kommissionierbereich nachzuschiebenden Lagereinheiten
- KO.DA.01.i: Anzahl der in den Kommissionierbereich einzulagernden Lagereinheiten
- KO.DA.02.i: Anzahl der im Zuge der Kommissionierung zu entnehmenden Lagereinheiten
- KO.DA.03.i: Anzahl der in den Warenausgang zu transportierenden Lagereinheiten

Da in diesen Bereichen die Bestandsanforderungen großen Einfluss auf die oben genannten Durchsatzanforderungen haben, werden diese Kennzahlen nicht separat voneinander bestimmt. Die Bestandsanforderungen im Lager- und Kommissionierbereich sind:

- LA.BA.01.i: Anzahl unterschiedlicher Artikel je Lagerbereich
- LA.BA.02.i: Anzahl Lagereinheiten je Lagerbereich (z. B. Euro-Paletten)
- KO.BA.01.i: Anzahl unterschiedlicher Artikel je Kommissionierbereich
- KO.BA.02.i: Anzahl Kommissioniereinheiten im Kommissionierbereich (z. B. GVE)

Zur Bestimmung der Kennzahl LA.DA.01.i werden erneut die Auswertungen der aus der Datenintegration hervorgegangenen Datei Out\_Wareneinlagerungen herangezogen. Die Anzahl einzulagernder Einheiten kann sich von der Kennzahl WA.DA.02.i unterscheiden, falls die Fördertechnik aus dem Wareneingang mehrere Lagerbereiche versorgt bzw. der Transport zweistufig mit unterschiedlicher Kapazität erfolgt (z. B. vertikaler Transport mittels Abzieher mit doppeltiefer Gabel und Einlagerung mittels Schubmaststapler mit einfachtiefer Gabel) oder wenn der Transport in die Warenbereiche und die Einlagerung in die Regalsysteme zeitlich versetzt bzw. über unterschiedliche Leistungszeiträume vonstattengeht (z. B. Transport in das Lager in einer Schicht auf Zwischenpuffer im Lagerbereich, Einlagerung in das Regalsystem in zwei Schichten). Analog zum Wareneingang wird gemäß diesen Überlegungen die entsprechende Durchsatzleistung je Sub-Funktionsbereich festgelegt.

Die Anzahl nachzuschiebender Lagereinheiten (LA.DA.02.i) hängt sehr stark von der Bestandsreichweite auf den Kommissionierplätzen im jeweiligen Bereich ab. Da die Reichweite auf den Kommissionierplätzen von der Kapazität des Lagerplatzes und der abgehenden Menge (Pull-Bestand) abhängt, wird diese im Durchschnitt errechnet gemäß (vgl. Gudehus 2012, S. 571):

**Formel 6: Lagerreichweite**

$$\text{Lagerreichweite (LRW)} = \frac{\text{Mittlerer Bestand (MB)}}{\text{Mittlere Lagerabgänge (MLA)}}$$

Durch Umformen der Formel kann über die minimal geforderte Reichweite je Artikel am Kommissionierplatz (GRWK) und den Auslegungstag der Warenabgänge (AWA) der erforderliche Bestand auf den Kommissionierplätzen (EBK) gemäß folgender Formel errechnet werden:

**Formel 7: Erforderlicher Bestand auf Kommissionierplätzen**

$$EBK = GRWK * AWA$$

Die Datei Out\_Warenausgänge wird verwendet, um die Abgänge je Lagerbereich zu bestimmen. Anschließend wird die Abgangsmenge pro Tag und Lagerbereich (Überlagerung der Prozessstränge gemäß dem in Schritt 2 erstellten Flussbild) anhand des Datensatzes WA\_Abgangs\_Menge gebildet. Dieser Wert entspricht der Kennzahl KO.DA.02.i. Die Reichweite auf den Kommissionierplätzen sollte abhängig vom jeweiligen Bereich (im FD beträgt die Reichweite des gesamten Bestandes oft nur wenige Tage) zumindest einen Tag betragen, um die Nachschübe gering zu halten. Bei zu hoher Reichweite auf den Kommissionierplätzen würde der Flächenbedarf des jeweiligen Lagers bzw. Kommissionierbereichs zu hoch ausfallen.

Sobald die Anzahl der Einheiten auf den Kommissionierplätzen festgelegt wurde, kann die zweite Durchsatzkennzahl des Lagerbereichs (LA.DA.02.i) berechnet werden. Hierzu muss die mittlere Reichweite auf den Kommissionierplätzen berechnet werden. Diese liegt über der zuvor definierten minimalen Reichweite, da ein Kommissionierplatz in der Praxis im Zuge einer Einlagerung bzw. eines Nachschubes nicht nur genau so weit bestückt wird, um die minimale Reichweite zu erfüllen. Sobald die Anzahl an Lagereinheiten im Kommissionierbereich feststeht, muss daher die Kapazität in der Kommissionierzone bestimmt werden. Dafür wird die durchschnittliche Kapazität je Kommissionierplatz und je Bereich mit der Anzahl der Kommissionierplätze des Bereiches multipliziert. Anschließend wird dieser Maximalbestand auf den Kommissionierplätzen (in Stück) durch den maximalen Abgang des Bereiches dividiert, um die maximal zu leistende Nachschubleistung des jeweiligen Bereiches zu erhalten. Die Nachschübe in den Kommissionierbereich KO.DA.01.i müssen nicht mit der Anzahl an Nachschüben aus dem Lagerbereich KO.DA.01.i übereinstimmen. Beispielsweise kann ein Artikel aus dem Lagerbereich als Palette nachgeschoben und in den Kommissionierbereich als Behälter eingelagert werden (z. B. bei einem AKL mit Nachschub auf Tablaren durch die zwischengeschaltete Depalettierung von Paletten aus dem Lagerbereich).

Die letzte ausständige Durchsatzkennzahl ist die Leistung an Transporten, die aus dem Kommissionierbereich in den Warenausgang transportiert werden müssen. Diese Kennzahl kann aus der Datei Out\_Warenausgänge gebildet werden. Hierzu wird das Feld WA\_Zielgebinde im Tagesverlauf dargestellt und ein passender Auslegungswert auf die entsprechende Stundenleistung umgelegt.

Nach Bestimmung der Durchsatzanforderungen müssen die restlichen Bestandsanforderungen für die Bereiche Lager- und Kommissionierung definiert werden. Die verbleibenden Bestandsanforderungen für das Lager sind LA.BA.01.i und LA.BA.02.i. Erstere bezieht sich auf die Menge an Lagereinheiten, die außerhalb der Kommissionierzone gelagert werden. Hierzu muss zunächst der Bestandsverlauf über den Auslegungszeitraum pro Tag bestimmt werden. Als Datenbasis dient die Datei Out\_Warenbestände. Ähnlich wie bei der Bestimmung spezifischer

Durchsatzanforderungen wird das Datenfeld WB\_Bestandsmenge herangezogen. Dieser Verlauf unterliegt meistens jedoch weniger starken Schwankungen (insbesondere im Trocken- und Tiefkühlsortiment, da die Lagerdauer der Artikel hier im Durchschnitt höher ist) als bei den Durchsatzanforderungen, weil sich die Bestände der einzelnen Artikel eines Bereiches mehr oder weniger gut nivellieren.

Für den Bestand wird ein valider Tageswert zur Auslegung gewählt. Um die Menge im Lagerbereich zu kalkulieren, muss der Gesamtbestand mit der Menge auf den Kommissionierplätzen abgeglichen werden. Hierbei empfiehlt es sich, ca. den halben Bestand der eigentlichen Kapazität auf den Kommissionierplätzen zu wählen, da ein Nachschub im Normalfall erst bei Leerwerden des Platzes stattfindet. Im Durchschnitt umfasst die Menge auf den Kommissionierplätzen daher ca. 50 % der tatsächlichen Kapazität. Sollten die Ladungsträger im Lagerbereich von den Lagereinheiten im Kommissionierbereich abweichen (z. B. Fachböden in der Kommissionierzone und Paletten im Nachschubbereich), empfiehlt es sich, die Differenz in Kommissioniereinheiten zu bestimmen und anschließend auf die entsprechende Lagereinheit umzurechnen.

Die Anzahl der Artikel je Lager- und Kommissionierbereich muss für jeden einzelnen Prozessstrang separat bestimmt werden, da sich die Bestände der Prozessstränge laut Definition in Schritt 2 im Lagerbereich nicht nivellieren können. Die Kennzahlen LA.BA.02.i und LA.KO.01.i werden ebenfalls aus der Datei Out-Warenbestand errechnet. Die eindeutige Anzahl des Datensatzes WB\_Artikel\_ID\_Anzahl wird über eine definierte Zeiteinheit bestimmt. Da bei Lebensmittelgroßhändlern häufig ein gewisser Teil des Sortiments aus Saisonware (z. B. Oster- und Weihnachtsgeschäft) besteht, ändern sich die auf Lager liegenden Artikel im Laufe des Jahres. Aus diesem Grund ist es wichtig, für jeden Bereich einen Auslegungswert an zu lagernden Artikeln festzulegen. Welche Artikel zu welchem Zeitpunkt tatsächlich im Lager sind, ändert sich im Jahresverlauf. Daher ist darauf zu achten, hinsichtlich der Ladungsträger flexibel zu sein. Bei freier Lagerplatzzuordnung (häufig im Nachschubbereich) kann die Zeiteinheit zur Bestimmung der Anzahl zu lagernder Artikel pro Tag gewählt werden.

LA.BA.02.i gibt die Anzahl der Artikel je Kommissionierbereich vor. Diese muss nicht mit der Anzahl an Artikeln im Lagerbereich übereinstimmen, da nicht jeder Artikel zu jeder Zeit einen direkten Zugriffsplatz benötigt. Im Kommissionierbereich ist es üblich, zumindest über einen gewissen Zeitraum fixe Lagerplätze einzuplanen. Das bedeutet, dass, obwohl ein Artikel an einem spezifischen Stichtag nicht auf Bestand ist, dessen Kommissionierplatz nicht für die Bereitstellung eines anderen Artikels genutzt werden kann. Daher wird zur Bestimmung der Anzahl an Artikeln, die im Kommissionierbereich zu lagern sind, die Zeiteinheit, über die das Datenfeld WB\_Artikel\_ID hinsichtlich der eindeutigen Anzahl analysiert wird, größer gewählt als für den Lager- bzw.

Nachschubbereich. Der Verlauf der auf Bestand liegenden Artikel für einen Lagerbereich muss über die Woche analysiert werden. Sollte nicht jeder Artikel einen fixen Lagerplatz benötigen (z. B. dynamische Nachschübe), kann über einen Faktor die Anzahl an Artikeln im Kommissionierbereich vermindert werden. Hierzu empfiehlt es sich, zu analysieren, auf welche Artikel besonders selten zugegriffen wird, wobei die Anzahl an Nachschüben auf dynamische Zugriffsplätze (Nachschub, sobald ein Artikel in einem Auftrag enthalten ist) den Einsparungen an Fläche gegenübergestellt werden muss.

Als letzter Funktionsbereich sind die Durchsatzanforderungen für den Warenausgang je Sub-Funktionsbereich zu bestimmen. Abhängig von der Größe des Händlers wird entweder ein gemeinsamer Warenausgang für das gesamte Sortiment oder ein getrennter Warenausgang für Frischdienst und Trockensortiment geplant. Die benötigten Kennzahlen sind:

- WA.BA.01.i: Anzahl der im Warenausgang zu puffernden Versandeinheiten (z. B. Rollbehälter)
- WA.DA.01.i: Anzahl der zu verladenden Versandeinheiten pro Zeiteinheit (z. B. Rollbehälter pro Stunde)

Im Lebensmittelgroßhandel wird meistens auf sogenannte Rollbehälter und/oder Paletten kommissioniert. Zur Bestimmung der Bestandsanforderung WA.BA.01.i muss die Zeitspanne, in der die kommissionierten Rollbehälter zwischengepuffert werden sollen, festgelegt werden. Häufig wird dieser Wert auf eine Schicht festgelegt (F. Zagler, Fa. SPAR Österreichische Warenhandels-AG, persönliche Korrespondenz, Ebergassing, 23.04.2020). Anschließend kann aus der Datei Out\_Warenausgänge die Anzahl kommissionierter RB bestimmt werden. Danach wird die zugehörige Stundenverteilung bestimmt. Abhängig von der zu überbrückenden Zeitspanne kann der zugehörige Prozentsatz (Überlagerung der stärksten Stunden) abgeleitet werden. Dieser wird mit dem Auslegungswert multipliziert, um die Anzahl der im Warenausgang zu puffernden Versandeinheiten zu errechnen.

Die Durchsatzanforderung WA.DA.01.01 ergibt sich aus der maximalen Anzahl an Touren pro Stunde und der Art der eingesetzten Transportmittel. Die maximale Anzahl an Touren kann mit der durchschnittlichen Anzahl an Versandeinheiten je Transportmittel multipliziert werden, um auf die erforderliche Verladeleistung zu kommen. Die Verladung der fertig kommissionierten Ware für den Transport wird häufig durch den LKW-Fahrer durchgeführt und ist demnach nur für Unternehmen mit eigenem Fuhrpark relevant (F. Zagler, Fa. SPAR Österreichische Warenhandels-AG, persönliche Korrespondenz, Ebergassing, 23.04.2020).

### 5.3.4 Ergebnisse aus Schritt 3

Die Ergebnisse aus Schritt 3 sind:

- Datenfehlerprotokolle der Stamm- und Bewegungsdaten hinsichtlich der im Zuge der Datenintegration definierten Kriterien (z. B. fehlende Dimensionen in den Artikelstammdaten).
- Diagramme zur Visualisierung der Materialflüsse und Bestandsverläufe je im Materialflussschema definierten Sub-Funktionsbereich.
- Durchsatz- und Bestandsanforderungsflussbild für die Planungsgrundlage, den Zielplanungshorizont und jede Grobkonzeptvariante (ggf. erst nach Schritt 5).

## 5.4 Schritt 4 | Vorauswahl von Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik

Das Ziel von Schritt 4 ist die Vorauswahl in Bezug auf Restriktionen, Zielsetzungen und Anforderungen potenziell geeigneter Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik. Dies dient als Grundlage zur Bildung der Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten und soll den untersuchten Lösungsraum bereits vor der finalen Auswahl eines Vorzugkonzeptes einschränken.

### 5.4.1 Vorauswahl der Kommissionierverfahren

Da die Kommissionierung das Herzstück eines jeden Distributionslagers ist, erfolgt zunächst die Vorauswahl potenziell geeigneter Kommissionierverfahren. Gemäß der in Kapitel 2 durchgeführten Eingrenzung des Untersuchungsbereiches der im Lebensmittelgroßhandel eingesetzten Verfahren wurde eine Auswahlmatrix erstellt (siehe Abbildung 32). Basierend auf den in Schritt 1 definierten Restriktionen und Zielsetzungen und den in Schritt 3 durchgeführten Datenanalysen kann für jeden in Schritt 2 definierten Kommissionierbereich eine Vorauswahl für das geeignete Kommissionierverfahren getroffen werden.

Kommissionierverfahren			Restriktionen				Ziele								Datenanalyse					
Bezeichnung	Beispiel	Systemtyp	maximale Bauhöhe	Flächenbedarf	mögliche Bodenlast	geeignete Anzahl der Schichten	Anzahl der Arbeitstage	hohe Durchsatzleistung	hohe Ergonomie	hohe Erweiterbarkeit	hohe Flexibilität	niedrige Investitionen	hohe Lagerkapazität	hohe Liefersicherheit	niedriger Flächenbedarf	hohe Nachhaltigkeit	niedrige operative Kosten	Größe des Sortiments	Tagesleistung	Produktdimensionen
<b>Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (KKSAB)</b>	klassische Kommissionierung mittels Stapler im Palettenlager	PzW	bis ca. 16 m	hoch	keine erhöhten Anforderungen	1-2 Schichten	variabel	☐	☐	●	●	●	☐	●	☐			klein - mittel (bei FB groß)	Schwankungen möglich	divers
<b>Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (DKSAB)</b>	manuelle Kommissionierung mittels FTF, Pick to Belt	PzW	bis ca. 16 m	hoch	keine erhöhten Anforderungen	1-2 Schichten	variabel	●	●	●	☐	●	●	●	☐			klein - mittel	kleinere Schwankungen möglich	mittel
<b>Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung (SKDAB)</b>	automatisches Kleinteilelager	WzP	bis ca. 40 m	gering	erhöhte Anforderungen	2-3 Schichten	ab ca. 260 AT	●	●	●	☐	☐	●	●	●	●	●	groß	Schwankungen gering	möglichst einheitlich

Legende	
sehr ungeeignete Lösung	☐
ungeeignete Lösung	☐
geeignete Lösung	☐
gut geeignete Lösung	●
sehr gut geeignete Lösung	●

Abbildung 32: Matrix zur Vorauswahl potenziell geeigneter Kommissionierverfahren für die einzelnen Funktionsbereiche anhand der Ergebnisse der Schritte 1 bis 3 (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020)

### 5.4.2 Vorauswahl von Lager- und Kommissioniertechnik

Wie in Kapitel 2.2.3 und Kapitel 2.3.3 erörtert, werden die technischen Realisierungsmöglichkeiten der funktionspezifischen Gewerke als Lagertechnik und des Kommissionierprozesses als Kommissioniertechnik bezeichnet. Da gemäß der Einschränkung des Untersuchungsbereiches in Kapitel 2 kein automatisiertes Picking berücksichtigt wird, können im Zuge der Vorauswahl der Lager- und

Kommissioniertechnik die auszuwählenden technischen Lösungen wie folgt gegliedert werden:

- Lagereinheiten und Ladungsträger
- Lagerplätze und Regalsysteme
- Fördertechnik
- Sortiertechnik

Die Grundlage der technischen Auslegung sowohl für die Lager- als auch für die Kommissioniertechnik bildet die Bestimmung der Lagereinheit im jeweiligen Bereich. Hierbei ist zu unterscheiden, ob die Lagereinheiten im Lagerbereich dieselben wie im Kommissionierbereich sind.

Die Lagereinheiten (z. B. eine sortenreine Palette) bestehen meistens aus einem Ladungsträger (E-PAL) und den Produkten (z. B. Mineralwasser). Die Ausführung dieser Lagereinheiten (Art des Ladungsträgers, Überstände, Stabilität etc.) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Regal- und Fördertechnik. Artikel, die gemischt auf einem Ladungsträger angeliefert werden, müssen meist im Wareneingang vereinzelt werden. Bei Anlieferung auf sortenreinen Ladungsträgern gibt häufig das Anliefergebilde bereits die jeweilige Lagereinheit vor, da zusätzliches Handling für das Umschichten der Ware verhindert werden sollte. Ausnahmen bilden Automatisierungslösungen, die einen speziellen Ladungsträger bedingen (z. B. AKL, bei denen die Palette erst auf Trays umgeschichtet wird). Daher wird für sämtliche Artikel der passende Ladungsträger für den jeweiligen Funktionsbereich bestimmt. Dies hängt neben den physischen Attributen des Artikels (Länge, Breite, Höhe) auch von dessen durchschnittlicher Bestellmenge ab (zur Abschätzung der durchschnittlichen Anzahl einzulagernder Stück), die aus der Datei Out-Wareneingänge bestimmt werden kann.

Im Lebensmittelgroßhandel sind die häufigsten Ladungsträger Paletten, Rollbehälter und Kleinladungsträger. Paletten werden sowohl zur Anlieferung und zur Lagerung als auch zur Kommissionierung und zum Transport an die Kundinnen und Kunden eingesetzt. Die Kommissionierung erfolgt meist neben Paletten auf sogenannten Rollbehältern, die für die Handhabung im Einzelhandel optimiert sind. Häufig werden auch verschiedene Formen von Kleinladungsträgern verwendet – ein bekanntes Beispiel sind die IFCO-Kisten, die insbesondere im Frischesortiment eingesetzt werden. In höher automatisierten Systemen werden tlw. auch Trays mit ähnlichen Grundmassen wie IFCO-Kisten zur kurzfristigen Lagerung herangezogen.

Für eine erste potenzielle Zuordnung können die in Tabelle 10 dargelegten physischen Restriktionen (Länge, Breite, Höhe, Gewicht) dem jeweiligen Ladungsträger zugeordnet werden. Die Zuordnung der Artikel sollte für den Lagerbereich (Nachschubbereich) und den Kommissionierbereich getrennt erfolgen. Insbesondere

für schnelldrehende Artikel sind die Lagereinheiten in beiden Bereichen zumeist gleich, um den Handhabungsaufwand möglichst gering zu halten (z. B. Nachschub einer Palette in die Kommissionierzone).

**Tabelle 10: Im Lebensmittelhandel eingesetzte Ladungsträger (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 25f., J. Grafeneder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020)**

Ladungsträger	Länge [mm]	Breite [mm]	Beladehöhe [mm]	Maximalgewicht [kg]
Euro-Palette (EPAL 1)	800	1 200	bis ca. 2 199	bis 1 500
Düsseldorfer-Palette (E PAL 7)	800	600	bis ca. 2 200	bis 500
Rollbehälter	810	670–720	bis ca. 1 450	bis 600
KLT/Tray/IFCO-Kiste	400–600	300–400	100–260	bis 30

Rollbehälter werden meistens warenausgangsseitig für die fertig kommissionierte Ware verwendet bzw. wareneingangsseitig zum Cross-Docking bereits vorkommissionierter Ware (z. B. bei Aufteilung von Schnell- und Langsamdrehern auf verschiedene Standorte, aber geforderter gemeinsamer Auslieferung bei den Kundinnen und Kunden). Cross-Docking-Ware wird meistens über Flächen im Warenein- und -ausgang abgewickelt und bedarf keiner Regaltechnik. Bei der Dimensionierung der Funktionsbereiche (siehe Schritt 5) müssen diese Zusatzflächen natürlich berücksichtigt werden. Für die weitere Technikauswahl werden daher die folgenden Ladungsträger betrachtet:

- Paletten
- Kleinladungsträger (KLTs)

Abhängig von den potenziell geeigneten Kommissionierverfahren pro Bereich und den in Tabelle 10 dargestellten physischen Dimensionen ergeben sich die in Abbildung 33 dargestellten Kombinationsmöglichkeiten zwischen den Lagereinheiten im Kommissionierbereich und im Nachschubbereich.

Um die Lagereinheiten weiter zu unterscheiden, muss die Höhe der Lagereinheit je Ladungsträger bekannt sein. Für Rollbehälter und Kleinladungsträger bzw. Trays und Kisten ist die Höhe meist über die Dimension des Gebindes vorgegeben. Da Paletten ein offenes Gebinde sind, kann die Höhe der Lagereinheit abhängig vom Produkt stark variieren. Bei sortenreinen Paletten sind die Höhe der angelieferten Einheiten und die Anzahl der Artikel je Einheit im Normalfall bekannt. Bei Paletten mit gemischten Artikeln, die ggf. auf separate Paletten abgeschichtet werden, können die EUL-Maße als Referenz herangezogen werden. Diese Maße sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Genormte EUL-Maße für Palettenhöhen (vgl. <https://www.ecr.digital/book/optimierter-warenfluss/eul-empfehlungen/> (gelesen am: 25.04.2020))

Ladungsträger	Länge [mm]	Breite [mm]	Beladehöhe [mm]	Maximalgewicht [kg]
E-PAL EUL 1/3	1 200	800	350	1 000
E-PAL EUL 1/2	1 200	800	525	1 000
E-PAL EUL 1	1 200	800	1 050	1 000
E-PAL EUL 1,4	1 200	800	1 470	1 000
E-PAL EUL 2	1 200	800	2 100	1 000

Kommissionierverfahren	Ladungsträger Kommissionierbereich	Ladungsträger Lagerbereich/ Nachschubbereich	Geeignet für
Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (KKSAB)	Paletten	Paletten	Schneldreher und großvolumige Artikel, die auf Originalpaletten angeliefert werden und einen höheren Bestand haben
		kein Nachschub	Schneldreher, die auf Originalpaletten geliefert werden, allerdings einen niedrigen Bestand aufweisen (z. B. JIT-Lieferung)
	KLT	Paletten	kleinvolumige Artikel mit ausreichend Reichweite in einem KLT, aber mit hohen Beständen, die nicht auf Originalpaletten angeliefert werden
		kein Nachschub	kleinvolumige Artikel mit ausreichend Platz in einem KLT für den Maximalbestand, die nicht als sortenreine Paletten angeliefert werden
Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung (DKSAB)	Paletten	Paletten	Schneldreher, die auf Originalpaletten angeliefert werden
Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung (SKDAB)	KLT	Paletten	Artikel mit hoher Bestandsreichweite (z. B. TS)
		kein Nachschub	Artikel mit geringer Bestandsreichweite (z. B. Obst und Gemüse)

Abbildung 33: Auswahlmatrix für potenziell geeignete Ladungsträger in Abhängigkeit vom Kommissionierverfahren, Artikelvolumen, Anlieferungsgebilde, Artikelbestand und von der Reichweite im Kommissionierbereich

Auf diese Weise wird jedem in Schritt 2 definierten Sub-Funktionsbereich zur Lagerung und Kommissionierung eine passende Kombination von Ladungsträgern zugewiesen.

Nach der in Kapitel 2 vorgenommenen Abgrenzung sind im Lebensmittelgroßhandel die häufigsten eingesetzten Lagerarten:

- Bodenlager
- Palettenregallager
- Hochregallager (HRL)
- Durchlaufregallager
- Fachbodenregal
- Automatisches Kleinteilelager (AKL)

Diese Lagerarten können gemäß Abbildung 34 grob beschrieben werden:

Lagerplatz bzw. Regal	Anmerkung
Bodenlager	großer Flächenbedarf, eignet sich für Cross-Docking und nicht regalfähige Artikel
Palettenregal	eignet sich für Artikel, die auf Paletten gelagert werden können
Hochregallager (HRL)	eignet sich ab einer Bauhöhe von über 12 m und einer ausreichend guten Palettenqualität zur automatisierten Ein- und Auslagerung
Durchlaufregal	eignet sich für schnelldrehende Artikel und ggf. für getrennte Ein- und Auslagergänge
Fachbodenregal	eignet sich für kleinvolumige Artikel und Bereiche mit hohen Artikeln mit verhältnismäßig geringen Beständen (ca. ein Fach je Artikel)
Automatisches Kleinteilelager (AKL)	ermöglicht hohe Kommissionierleistungen, bei geringem Investitionsvolumen jedoch nicht umsetzbar

Abbildung 34: Auswahlmatrix spezifischer Lager- und Regalarten hinsichtlich genereller Eignung

Gemäß dem potenziell geeigneten Ladungsträger und den bereits im Vorhinein ausgeschlossenen Lager- bzw. Regalarten kann jedem Prozessstrang eine Auswahl optionaler Lagerplätze bzw. Regalsysteme zugeordnet werden.

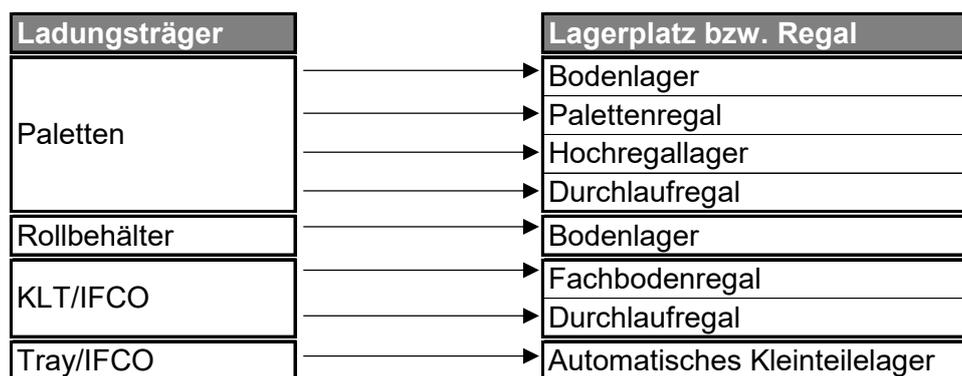


Abbildung 35: Matrix zu Auswahl potenziell geeigneter Lagerplätze bzw. Regalsysteme für den entsprechenden Ladungsträger

Die Fördertechnik hat in Lager- und Kommissioniersystemen zwei Funktionen:

1. Ein-, Aus- und Umlagerung der Ware innerhalb der Regalsysteme
2. Transport der Ware zwischen den Funktionsbereichen (vgl. Abbildung 25)

Bei der Ein-, Aus- und Umlagerung der Ware innerhalb der Regalsysteme wird zwischen ganggebundenen und gangunabhängigen Lagergeräten unterschieden. Ganggebundene Lagergeräte können allerdings auch eine Möglichkeit zur Umsetzung zwischen den Gängen haben (vgl. Gudehus 2012, S. 590f.). Die jeweiligen Lagergeräte sind wiederum stark von den eingesetzten Ladungsträgern abhängig. Abhängig von dem jeweils bevorzugten Ladungsträger je Prozessstrang kann die zugehörige Fördertechnik als Lagergerät ausgewählt werden. Parameter wie Kapazität, Gangbreiten und Hubhöhen dienen zusätzlich dazu, die Auswahl potenziell geeigneter Lagertechnik anhand der in Schritt 1 definierten Ziele und Restriktionen weiter einzuschränken.

Ladeeinheiten (LE)	LAGERGERÄT (LG)	Art des Lagergerätes	Kapazität [LE]	Hubhöhe [m]	Gangbreite [m]
Palette	→ Horizontalkommissionierer	gangunabhängig	1	2	3
	→ Hochhubwagen	gangunabhängig	1	4,5	3
	→ Schubmaststapler	gangunabhängig	1	13	3
	→ Schmalgangstapler	ganggebunden	1 bis 2	18	1,8
	→ Regalbediengeräte	ganggebunden	1 bis 2	40	1,5
	→ Lifte und Shuttle	ganggebunden	1 bis 2	40	1,5
KLT/Tray/IFCO	→ Person (z. B. mit Transportwagen)	gangunabhängig	1 bis 12	2	2
	→ Horizontalkommissionierer	gangunabhängig	1 bis 12	2	3
	→ Regalbediengeräte	ganggebunden	1 bis 8	8	1
	→ Lifte und Shuttle	ganggebunden	1 bis 2	8	1

Abbildung 36: Matrix zur Vorauswahl der als Lagergeräte eingesetzten Fördertechnik (vgl. Gudehus 2012 S. 589; W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020)

Der Transport zwischen den Funktionsbereichen beinhaltet den Transport der Ware aus dem Wareneingang in die Lagerbereiche, den Transport der Ware zwischen den Lagerbereichen und den Transport aus den Lagerbereichen in den Warenausgang. Falls die Fördertechnik zur Ein-, Aus- und Umlagerung nicht ganggebunden ist, ist eine separate Fördertechnik für den Transport der Ware nicht zwingend erforderlich. In großen manuellen Lagern werden trotzdem aus Geschwindigkeits- und Kapazitätsgründen separate Fördermittel für den Transport über die Strecke (z. B. Niederhubwagen mit mehrfachtiefer Gabel) und die Bedienung der Regale (z. B. Schubmaststapler) eingesetzt. Für den Transport gibt es daher abhängig von dem gewählten Lagergerät folgende Möglichkeiten:



Abbildung 37: Auswahlmatrix zur Gestaltung des Zu- und Abfördersystems in Abhängigkeit vom gewählten Lagergerät

Nach der Entscheidung, für welche Bereiche ein getrenntes Zu- und/oder Abfördersystem sinnvoll wäre, stehen mehrere technische Möglichkeiten zur Gestaltung zur Verfügung. Diese können gemäß Abbildung 36, die auf der in Kapitel 2 gemachten Abgrenzung basiert, in Abhängigkeit vom gewählten Ladungsträger bestimmt werden.

Ladungsträger	Zu-/Abfördersystem
Palette	→ Niederhubwagen
	→ Palettenfördertechnik (Rollenbahn angetrieben inkl. Umsetzern etc.)
	→ Verschiebewagen
	→ FTS
KLT/Tray/IFCO	→ Person (z. B. mit Transportwagen)
	→ Schnellläufer
	→ FTS
	→ Tablarfördertechnik (Rollenbahn angetrieben inkl. Umsetzern etc.)
	→ Bandförderer

Abbildung 38: Auswahlmatrix für potenziell geeignete Zu- und Abfördersysteme in Abhängigkeit vom Ladungsträger

Diese Zu- und Abfördersysteme können ggf. auch kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Palette mittels Palettenfördertechnik in den Lagerbereich transportiert werden, um an der Regalfront eines Hochregallagers mittels Verschiebewagen zum richtigen Gang transportiert zu werden. Im entsprechenden Gang wird die Palette von einem Regalbediengerät an den entsprechenden Lagerplatz transportiert.

Eine Sortiertechnik ist häufig notwendig, wenn das Kommissionierverfahren dezentral mit statischer Artikelbereitstellung (z. B. Pick-to-Belt) stattfindet. Abhängig von der geforderten Sortierleistung und der Investitionssumme stehen die folgenden technischen Ausführungen zur Auswahl:

Sortiersystem	Leistung [Stück/h]	Anmerkung
Handsortierung	< 1 000	hohe Flexibilität, geringe Investition
Pusher	1 000 - 2 400	
Bandabweiser	bis 3 500	für schwere Artikel geeignet
Gurttransfer	bis ca. 2 000	geeignet für KLTs und Kartons
Dreharmsorter	3 500 - 4 500	Gewicht bis max. 30 kg
Rollenteppich	bis 6 000	max. 35 kg
Kippschalensorter	6 000 - 21 000	keine kippgefährdeten Güter bzw. hohe Haftung

Abbildung 39: Auswahlmatrix für Sortiersysteme in Abhängigkeit von der gewünschten Stundenleistung (eigene Tabelle nach Jodin und ten Hompel 2012, S. 60ff.)

Diese Vorauswahl wird für sämtliche Prozessstränge getroffen und dient als Ausgangsbasis für die Bildung von Grobkonzeptvarianten in Schritt 5.

### 5.4.3 Ergebnisse aus Schritt 4

Die Ergebnisse aus Schritt 4 sind:

- Potenziell geeignete Kommissionierverfahren je Prozessstrang für den jeweiligen Kommissionierbereich
- Potenziell geeignete Lager- und Kommissioniertechnik für die einzelnen Prozessstränge entlang der jeweiligen Funktionsbereiche unterteilt in:
  - Lagereinheiten und Ladungsträger
  - Lagerplätze und Regalsysteme
  - Fördertechnik
  - Sortiertechnik

## 5.5 Schritt 5 | Generierung und Auslegung der Lösungsalternativen

Das Ziel von Schritt 5 ist die Generierung von Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten. Aufbauend auf der getroffenen Vorauswahl in Schritt 4 werden mittels einer Technologiematrix  $n$  Lösungsalternativen entwickelt. Diese Matrix wurde im Zuge von zahlreichen Projekten zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in Zusammenarbeit mit anderen Planerinnen und Planern entwickelt. Anschließend werden die einzelnen Funktionsbereiche für jede Variante dimensioniert und anhand der Materialflussbeziehungen zu einem Gesamtlayout angeordnet.

### 5.5.1 Kombination von Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik zu Lösungsalternativen

Die Generierung der Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten basiert auf den in Schritt 4 ausgewählten Kommissionierverfahren und der zugehörigen Lager- sowie Kommissioniertechnik. Für jeden in Schritt 2 definierten Kommissionierbereich wird eine Variante gebildet. Die Kombination der einzelnen Varianten ergibt  $n$  Grobkonzeptvarianten. Nachfolgend ist ein Beispiel für drei verschiedene Kommissionierbereiche angeführt (z. B. getrennte Kommissioniersysteme für TS, FD und TK). Würde, wie in Tabelle 12 dargestellt, jeder dieser Bereiche gemäß Schritt 4 drei unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der Kombination aus Kommissionierverfahren, Ladungsträgern, Regal-, Förder- und Sortiertechnik ergeben, würde dies eine Summe von 27 Grobkonzeptvarianten bedeuten. Um den Aufwand möglichst überschaubar zu halten, sollte die Anzahl der Ausprägungen der Kommissionierbereiche daher möglichst gering gehalten werden.

Tabelle 12: Beispielhafte Darstellung von drei getrennten Kommissionierbereichen mit je drei unterschiedlichen Ausprägungen

Sub-Funktionsbereich Kommissionierung	Ausprägung		
	PzW in einem Blocklager	PzW in einem Palettenregallager	WzP durch die Kombination von HRL und AKL
Kommissionierung von Gefahrgut	1-1	1-2	1-3
Kommissionierung von Non-Food- Artikeln	2-1	2-2	2-3
Kommissionierung von Lebensmitteln des Trockensortiments	3-1	3-2	3-3

Die Liste potenziell geeigneter Kommissionierverfahren sowie Lager- und Kommissioniertechnik sollte daher bereits vor der Generierung der Kommissionierkonzepte eingegrenzt werden. Im Anhang der Arbeit ist eine Technologiematrix abgebildet (siehe Abbildung 116 und Abbildung 117 in Anhang 9.3). Abhängig von den potenziell geeigneten Kommissionierverfahren je Bereich wird die Technologiematrix befüllt. Diese ist von links nach rechts bzw. von Teil 1 zu Teil 2 zu lesen. Es wird gemäß der in Schritt 4 gemachten Auswahl je eine Variante für den jeweiligen Bereich die jeweilige Ausprägung ausgewählt.

Nach der Bildung der Grobkonzeptvarianten können diese durch Überslagsrechnungen zu groben Überprüfung der Anforderungen (z. B. zu hoher Flächenbedarf für das Grundstück oder zu hohe Kosten für das Projektbudget) bereits vor der Dimensionierung und der in Schritt 6 folgenden Kalkulation der Zielwerte weiter eingegrenzt werden. Auf diese Weise sollten maximal vier bis sechs realistische Grobkonzeptvarianten entstehen, aus denen ohne detailliertere Betrachtung keine eindeutige Präferenz abgeleitet werden kann.

### 5.5.2 Dimensionierung der Funktionsbereiche

Neben diesen Hauptbereichen müssen auch Flächen für die in Schritt 2 erfassten Sonderprozesse (z. B. Retouren) vorgesehen werden. Die Auslegung dieser Bereiche wird im Zuge dieser Arbeit nicht genauer betrachtet. In der Konzeptplanung werden Flächenverluste aufgrund von Grundstückrestriktionen und Säulenraster nicht berücksichtigt, diese werden nach der Entscheidung für ein Grobkonzept im Rahmen der Detailplanungsphase eingeplant. Sollten diese Aspekte eine Auswirkung auf die Wahl des Grobkonzeptes haben, empfiehlt es sich, die errechneten Flächen mit einem individuellen Aufschlagsfaktor hochzurechnen. Die Dimensionierung folgender Funktionsbereiche wird im Zuge dieses Kapitels genauer beschrieben:

- Wareneingang
- Warenausgang
- Lager- und Kommissionierbereich
  - Blocklager
  - Fachbodenlager
  - Palettenregallager/Pick-to-Belt-System
  - Hochregallager/AKL

In diesem Kapitel wird ein Werkzeug zur Dimensionierung des jeweiligen Funktionsbereiches vorgestellt. Je Funktionsbereich und/oder Regal- und Lagertechnik sind eigene Berechnungsblätter vorgesehen. Die Funktionsweise der einzelnen Blätter dieses Planungswerkzeuges wird nachfolgend im Detail beschrieben.

Warenein- und -ausgang werden sich bei gleichen Restriktionen (Schichtmodell, An- und Auslieferfenster etc.) und den gleichen Bestands- und Durchsatzanforderungen nicht voneinander unterscheiden. In Abbildung 38 ist der Aufbau eines Wareneingangs schematisch dargestellt:

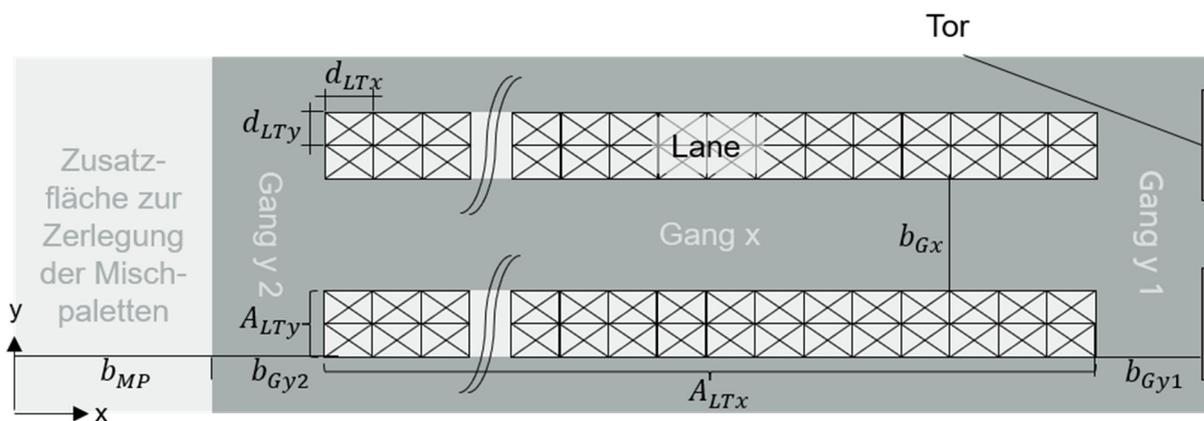


Abbildung 40: Schematische Darstellung des Wareneingangs

Neben den Lanes vor den Toren und den benötigten Zwischengängen wird eine Zusatzfläche zur Zerlegung der gemischt angelieferten Paletten vorgesehen. Abbildung 40 zeigt den schematischen Aufbau eines Wareneingangs zur Zuordnung der einzelnen Parameter. Diese werden in eine Tabelle (siehe Abbildung 41) eingetragen.

Kürzel	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{\text{AAZ}}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	
$p_{zp}$	Zwischenzupuffernder Prozentsatz der Tagesmenge [%]	
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx}$	Breite Gang in x-Richtung [m]	
$b_{Gy1}$	Breite Gang in y-Richtung 1 [m]	
$b_{Gy2}$	Breite Gang in y-Richtung 2 [m]	
$b_{MP}$	zusätzliche Breite zur Zerlegung der Misch-Paletten hinter den Lanes [m]	
	Anzahl Tore/Lanes	
	Dimension WE in y-Richtung [m]	
	Dimension WE in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte WE-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

Abbildung 41: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Wareneingangsfläche

Zur Eingabe wird der in Schritt 3 definierte Auslegungstag herangezogen. Es muss definiert werden, welcher Anteil der Tagesleistung im Wareneingang zwischengepuffert werden soll, was u. a. stark vom verwendeten Arbeitszeitmodell abhängt (z. B. Warenannahme in einer Schicht und Einlagerung in zwei Schichten).

Um die Komplexität der Kalkulation nicht noch zusätzlich zu erhöhen, werden sämtliche angelieferten Ladungsträger auf Ladungsträger-Äquivalente umgerechnet. Hierzu wird ein Bezugsladungsträger (z. B. E-PAL) definiert, auf den alle Ladungsträger gemäß nachfolgender Formel umgerechnet werden:

## Formel 8: Berechnung von LT-Äquivalenten

$$LT_{\text{Äquivalent}} = \frac{\text{Länge}_{LT} * \text{Breite}_{LT}}{\text{Länge}_{LT\_Bezug} * \text{Breite}_{LT\_Bezug}}$$

Überstände auf den angelieferten Ladungsträgern sowie Abstände zwischen den Paletten werden in die Abmaße eingerechnet. Eine Euro-Palette mit 5 cm Überstand je Seite hätte demnach die Abmaße von 1,3 m x 0,9 m. Sollten die Paletten aufgrund einer Seitenentladung quer gestellt werden, sind bei der Eingabe Länge und Breite zu vertauschen. Anschließend kann in der Eingabemaske die Anzahl der Paletten pro Lane definiert werden. In der Praxis ist es sinnvoll, je Lane einen Puffer für die maximale Füllmenge des größten anliefernden Lkws vorzusehen (z. B. 30 E-PAL-Äquivalente in einem 40 t Sattelzug). Nach Angabe der benötigten Gangbreiten (diese sind neben baulichen Restriktionen wie dem Abstand zwischen den Toren auch von dem gewählten Fördermittel zur Einlagerung abhängig) und der Zusatzfläche wird die Gesamtfläche gemäß folgender Formel berechnet:

## Formel 9: Berechnung der Wareneingangsfläche

$$\text{Fläche}_{WE} = \left[ \frac{LT_{\text{AAZ}} * p_{zp}}{A_{LTx} * A_{LTy}} \right] * (d_{LTx} * A_{LTx} + b_{Gy1} + b_{Gy2} + b_{MP}) * (d_{LTy} * A_{LTy} + b_{Gx})$$

Neben der Fläche werden auch die Anzahl der Tore und die Tiefe des Wareneingangs sowie dessen Länge (parallel zu den Toren) vom Dimensionierungswerkzeug errechnet.

Im Warenausgang werden im Lebensmittelgroßhandel meist Rollbehälter und/oder Paletten bereitgestellt. Daher werden, je nachdem, welcher Ladungsträger stärker vertreten ist, entsprechende Europaletten- bzw. Rollbehälter-Äquivalente zur Kalkulation herangezogen. Diese werden gemäß Formel 8 berechnet. In Abbildung 40 ist der Aufbau eines Warenausgangs schematisch dargestellt:

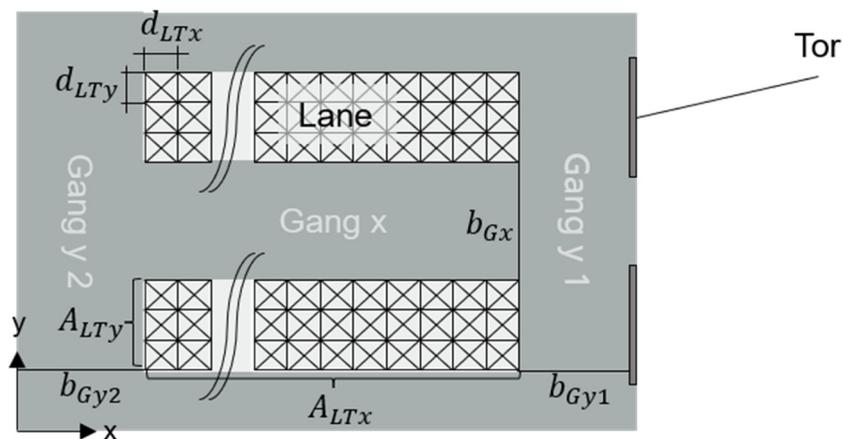


Abbildung 42: Schematische Darstellung des Warenausgangs

Analog zum Wareneingang hat das entwickelte Werkzeug zur Dimensionierung der Funktionsbereiche eine Eingabemaske für die Parameter des Warenausgangs:

Kürzel	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{\ddot{A}AZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	
$p_{zp}$	Zwischenzupuffernder Prozentsatz der Tagesmanege [%]	
$A_{LTT}$	durchschnittliche Anzahl LT pro Tour	
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx}$	Breite Gang in x-Richtung [m]	
$b_{Gy1}$	Breite Gang in y-Richtung 1 [m]	
$b_{Gy2}$	Breite Gang in y-Richtung 2 [m]	
	Anzahl Tore/Lanes	
	Dimension WA in y-Richtung [m]	
	Dimension WA in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte WA-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

Abbildung 43: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Warenausgangsfläche

Die Berechnung erfolgt ähnlich wie im Wareneingang, jedoch wird zusätzlich ein Faktor zur Berücksichtigung des durchschnittlichen Füllgrades der WA-seitigen Lkws inkludiert. Die fertig kommissionierten Ladungsträger werden im Normalfall getrennt pro Tour vor den WA-Toren bereitgestellt. Der Lkw-Fahrer kann auf diese Weise eine komplette Lane verladen. Da die Touren vor den Toren nicht gemischt werden, wird zur Flächenberechnung die Anzahl zu puffernder Paletten ( $EPAL_{\ddot{A}AZ} * p_{zp}$ ) durch die

durchschnittliche Anzahl an PAL/RB pro Tour ( $A_{PT}$ ) anstatt der Kapazität je Lane ( $A_{plb} * A_{pll}$ ) dividiert:

**Formel 10: Berechnung der Warenausgangsfläche**

$$Fläche_{WA} = \left[ \frac{LT_{AAZ} * p_{zp}}{A_{LTT}} \right] * (d_{LTx} * A_{LTx} + b_{Gy1} + b_{Gy2}) * (d_{LTy} * A_{LTy} + b_{Gx})$$

Vor der Dimensionierung der Lager- und Kommissionierbereiche müssen zusätzliche Datenauswertungen durchgeführt werden. Gemäß Abbildung 31 wird der Gesamtbestand jedes Artikels in den Bestand im Kommissionierbereich und den Bestand im Nachschubbereich aufgeteilt. Die in Schritt 4 definierten Ladungsträger werden in die in Abbildung 44 dargestellte Eingabemaske eingetragen. Hierbei sind die genauen Maße (Länge, Breite und Höhe) eines jeden Ladungsträgers zu definieren. Die Eingabemaske bietet die Möglichkeit, vier unterschiedliche Ladungsträger je Bereich zu definieren, wobei darauf zu achten ist, dass die Ladungsträger nach aufsteigendem Volumen eingetragen werden. Die Zuteilung der Ladungsträger ist in Abbildung 42 dargestellt:

Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [m]	Breite [m]	Tiefe [m]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
<b>Stellplätze in Kommissionierbereich</b>							
<b>Variable</b>		$h_{KLTi}$	$b_{KLTi}$	$t_{KLTi}$			$A_{KLTi}$
K-Platz 1	K-Ladungsträger 1						
K-Platz 2	K-Ladungsträger 2						
K-Platz 3	K-Ladungsträger 3						
K-Platz 4	K-Ladungsträger 4						
<b>Stellplätze im Lagerbereich</b>							
<b>Variable</b>		$h_{LLTi}$	$b_{LLTi}$	$t_{LLTi}$			$A_{LLTi}$
L-Platz 1	L-Ladungsträger 1						
L-Platz 2	L-Ladungsträger 2						
L-Platz 3	L-Ladungsträger 3						
L-Platz 4	L-Ladungsträger 4						

**Abbildung 44: Erfassung der Anzahl der in Schritt 5 ausgewählten Ladungsträger für Kommissionierbereich und Lagerbereich**

Zunächst erfolgt die Auslegung des Kommissionierbereiches. Für Artikel, für die gemäß Abbildung 33 ein Lager- bzw. Nachschubplatz vorgesehen wird, wird der in Schritt 3 über die minimal geforderte Reichweite auf den Kommissionierplätzen errechnete Bestand in der Kommissionierzone herangezogen. Für Artikel, die nur im Kommissionierbereich gelagert werden, wird der Gesamtbestand verwendet. Anschließend wird jeder Artikel nach den in Abbildung 44 definierten physischen Restriktionen (Länge, Breite, Höhe, Maximalgewicht und Füllgrad) einem Ladungsträger zugewiesen. Sollte auch der größte Ladungsträger nicht ausreichend Volumen für die im Kommissionierbereich geforderte Reichweite bieten, werden so viele Ladungsträger für einen Artikel zugelassen, bis die Restriktion erfüllt ist. Sollten die Dimensionen Länge, Breite Höhe für gewisse Artikel physisch unterdimensioniert

sein, sind die Dimensionen der Ladungsträger anzupassen, bis jedem Artikel eine Art und eine Anzahl benötigter Kommissionierplätze zugewiesen werden kann.

Die nachfolgenden Berechnungen erfolgen nur für Artikel mit Nachschub (also Bestand in einem separaten Nachschubbereich). Unter der Annahme, dass ein Kommissionierplatz erst nach dem erschöpfenden Griff nachbestückt wird und dass der Abgang zwischen den einzelnen Nachschüben einigermaßen gleichmäßig verläuft, errechnet sich der im Mittel auf den Kommissionierplätzen gelagerte Bestand wie folgt:

**Formel 11: Berechnung des mittleren Bestandes im Kommissionierbereich je Artikel**

$$Bestand_{Komm\_MW} = \frac{Bestand_{Komm\_MAX}}{2}$$

Der maximale Bestand je Artikel im Kommissionierbereich ergibt sich aus dem Fassungsvermögen des zugeordneten Ladungsträgers (unter Berücksichtigung des definierten Füllgrades) mal der Anzahl der Ladungsträger.

**Formel 12: Berechnung des maximalen Bestandes im Kommissionierbereich je Artikel**

$$Bestand_{Komm\_MAX} = Kapazität_{LT\_MAX} * Anzahl_{LT}$$

Demnach errechnet sich der für den Lagerbereich vorzusehende Bestand aus:

**Formel 13: Berechnung des Restbestandes für den Lagerbereich je Artikel**

$$Bestand_{Lager} = Bestand_{Auslegungswert} - Bestand_{Komm\_MW}$$

Die Zuweisung zu einer Art und die Bestimmung der Anzahl der Ladungsträger je Artikel erfolgen analog zu dem Kommissionierbereich, nur dass hier der Restbestand für den Lagerbereich verwendet wird.

Sobald für jeden Lager- und Kommissionierbereich (Unterteilung gemäß Abbildung 25) die genauen Dimensionen und die Anzahl der Ladungsträger sowie die Anzahl der zu lagernden Artikel (siehe Abbildung 31) bekannt sind, kann mit der Dimensionierung dieser Bereiche begonnen werden. Basierend auf der zuvor gebildeten Grobkonzeptvariante wird abhängig von der Regaltechnik die passende Dimensionierung des jeweiligen Funktionsbereiches herangezogen.

Im Blocklager müssen Kommissionierbereich und Lagerbereich (falls getrennt voneinander) – anders als bei Regallagern – separat ausgelegt werden. Der Lagerbereich kann nicht räumlich über dem Kommissionierbereich angeordnet werden, wenn keine Regale im Einsatz sind. Beide Bereiche eines Blocklagers lassen sich wie in Abbildung 45 gezeigt schematisch darstellen:

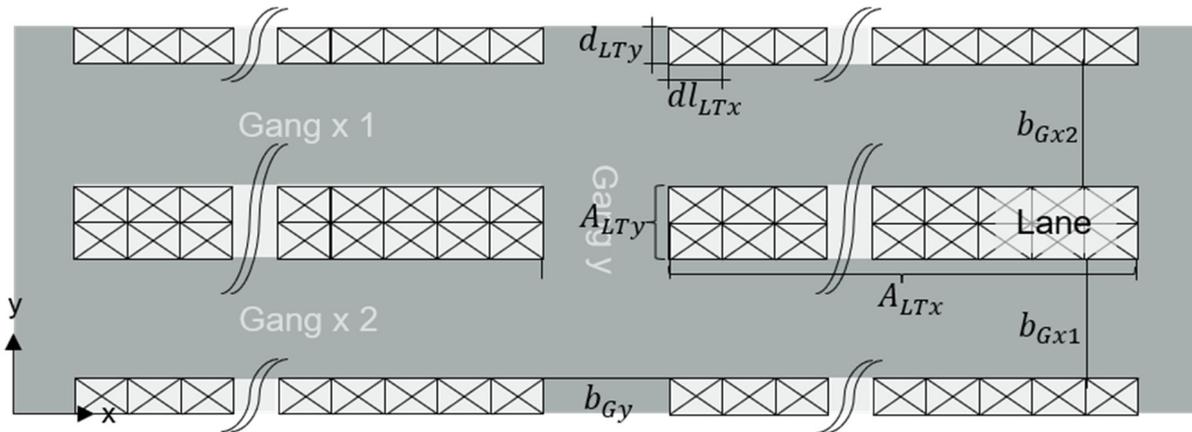


Abbildung 45: Schematische Darstellung eines Blocklagers

Wie in Abbildung 45 dargelegt gibt es in y-Richtung zwei verschiedene Gangbreiten. Dies dient dazu, um im Kommissionierbereich zwischen Kommissioniergassen und Nachschubgassen mit unterschiedlichen Gangbreiten (falls notwendig) unterscheiden zu können. Für den Lagerbereich kann die Anzahl der Ladungsträger in x-Richtung  $A_{LTy}$  höher als 2 gewählt werden, da nicht auf jeden einzelnen Ladungsträger zugegriffen werden muss. Bei der Gestaltung sortenreiner Lanes ist neben der Anzahl der Ladungsträger auf die Anzahl unterschiedlicher Artikel zu achten. Nachfolgend ist die Eingabemaske zur Dimensionierung eines Blocklagers abgebildet:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{\ddot{A}AZ}$	Anzahl LT-Aquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	
$A_A$	Anzahl Artikel	
$STF_d$	durchschnittlicher Stapelfaktor	
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	
	Anzahl erforderlicher Lanes	
	Anzahl Lanes in y-Richtung	
	Anzahl Lanes in x-Richtung	
	Dimension Blocklager in y-Richtung [m]	
	Dimension Blocklager in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte Block-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

Abbildung 46: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Blocklagerfläche

Das Dimensionierungswerkzeug errechnet die Anzahl der definierten Lanes, die Aufteilung der Lanes in x-Richtung in Abhängigkeit von den Lanes in y-Richtung sowie die Dimension des Blocklagers in x- und in y-Richtung. Die Gesamtfläche berechnet sich wie folgt:

Formel 14: Berechnung eines Blocklagers

$$Fläche_{Block} = \left\lceil \frac{LT_{\ddot{A}AZ}}{A_{LTx} * A_{LTy}} \right\rceil * (d_{LTx} * A_{LTx} + b_{Gy}) * (d_{LTy} * A_{LTy} + \frac{b_{Gx1} + b_{Gx2}}{2})$$

Bei der Gestaltung eines Fachbodenlagers gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Horizontale Trennung von Kommissionier- und Lager-/Nachschubbereich (geeignet für Artikel mit niedrigen Beständen, das bedeutet: wenige Paletten im Nachschubbereich)
2. Vertikale Trennung von Lager- und Kommissionierbereich (geeignet für Artikel mit höheren Beständen, das bedeutet: mehr Paletten im Nachschubbereich)

Im ersten Fall wird das Kommissioniersystem oftmals als Fachbodenlager mit mehreren Etagen ausgeführt. Die kommissionierende Person kann die Etage über Treppen bzw. über entsprechende Aufzüge wechseln. Für Artikel, die gemäß Abbildung 33 einen Ladungsträger im Lagerbereich für den Nachschub haben, wird ein separater Lagerbereich (meist in Form eines Palettenregallagers) eingeplant. Die beiden Bereiche werden separat voneinander ausgelegt. In Abbildung 45 ist ein getrennter Kommissionierbereich in Form eines Fachbodenregallagers schematisch dargestellt:

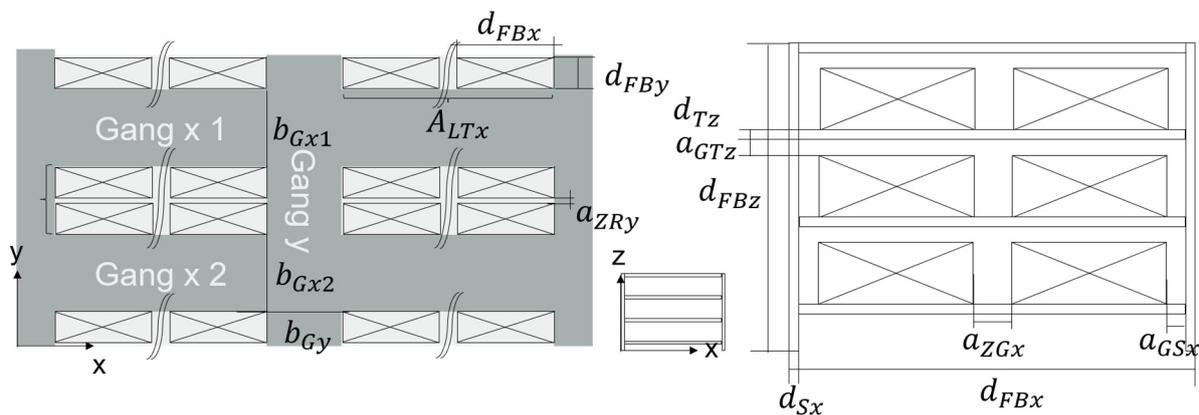


Abbildung 47: Schematische Darstellung eines separaten Fachbodenlagers

Um die Fläche bestimmen zu können, muss zuerst die Anzahl der benötigten Regale aus der Art und Anzahl der zu lagernden Ladungsträger gemäß Abbildung 44 bestimmt werden. Die Eingabemaske für das Fachbodenlager ist in Abbildung 48 dargestellt. Daraus wird zunächst die Anzahl der benötigten Fachbodenregale nach folgender Formel berechnet:

Formel 15: Berechnung der Anzahl der benötigten Fachbodenregale

$$A_{FBR} = \left[ \sum_i^4 (A_{KLTi} / \left( \left[ \frac{d_{FBz} - d_{Tz}}{d_{Tz} + h_{KLTi} + a_{GTz}} \right] * \left[ \frac{(d_{FBx} - 2 * d_{Sx} - 2 * a_{GSx})}{b_{KLTi} + a_{ZGx}} \right] \right)) \right]$$

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$d_{FBz}$	Dimension Fachbodenregal in z-Richtung [m]	
$d_{FBx}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]	
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	
$a_{GSx}$	Abstand zwischen Gut und Steher in x-Richtung [m]	
$a_{ZGx}$	Abstand zwischen den Gütern in x-Richtung [m]	
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	
	Anzahl Regale für Ladungsträger 1	
	Anzahl Regale für Ladungsträger 2	
	Anzahl Regale für Ladungsträger 3	
	Anzahl Regale für Ladungsträger 4	
	Anzahl Regale gesamt	

Abbildung 48: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Fachbodenregale

Die Anzahl der benötigten Regale wird automatisch in die nächste Eingabemaske übertragen, um die Dimensionen des Fachbodenbereiches zu bestimmen:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{FBR}$	Anzahl Regale	
$d_{FBx}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]	
$d_{FBy}$	Dimension Fachbodenregal in y-Richtung [m]	
$a_{ZRY}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	
$A_{FBy}$	Anzahl Fachbodenregale in y-Richtung je Lane	
$A_{FBx}$	Anzahl Fachbodenregale in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	
	Anzahl erforderlicher Lanes	
	Anzahl Lanes in y-Richtung	
	Anzahl Lanes in x-Richtung	
	Dimension Fachbodenregallager in y-Richtung [m]	
	Dimension Fachbodenregallager in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

Abbildung 49: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein separates Fachbodenlager

Die Gesamtfläche errechnet sich gemäß folgender Formel:

Formel 16: Berechnung der benötigten Fläche für ein Fachbodenlager

$$Fläche_{FB} = \left[ \frac{A_{FBR}}{A_{FBx} * A_{FBy}} \right] * (d_{FBx} * A_{FBx} + b_{Gy}) * (d_{FBy} + a_{ZRY}) * (A_{LTy} + \frac{b_{Gx1} + b_{Gx2}}{2})$$

Abhängig von der in den Restriktionen erfassten maximalen Bauhöhe kann ein Fachbodenregallager mit mehreren Etagen ausgeführt werden. Die Gesamtfläche kann durch die Anzahl der Ebenen dividiert werden, um die Grundfläche zu erhalten. Hierbei ist darauf zu achten, dass in der dimensionierten Fläche Zusatzflächen für den Ebenenwechsel von Gütern und Personen (z. B. Aufzüge und Treppen) eingerechnet werden müssen. Die Nachschubpaletten für einen horizontal getrennten Fachbodenbereich müssen in einem eigenen Bereich gelagert werden. Dieser Nachschubbereich kann separat dimensioniert werden oder einem passenden Bereich

(z. B. Palettenlager mit passender Temperaturzone) aufgeschlagen werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass dieselben Ladungseinheiten gewählt werden.

Bei vertikaler Trennung von Fachboden- und Palettenbereich wird zunächst analog zu Abbildung 48 und Formel 15 die Anzahl der benötigten Fachbodenregale bestimmt. Bei der Wahl des Fachbodenregals ist darauf zu achten, dieses an die im Palettenbereich geplanten Traverseninnenmaße anzupassen. Anschließend ist die Anzahl der benötigten Fachbodenregale in die Anzahl dadurch wegfallender Palettenplätze umzurechnen. Die Anzahl der durch die Fachbodenregale blockierten Palettenplätze ( $A_{FBKLT4}$ )<sup>2</sup> ergibt sich aus der Anzahl der benötigten Fachbodenregale ( $A_{FBR}$ ) mal einem Umrechnungsfaktor. Dieser Umrechnungsfaktor ergibt sich aus dem Quotienten der Anzahl der Ladungsträger pro Traverse ( $A_{KLTT4}$ ) und der Anzahl der Fachbodenregale je Traverse ( $A_{FBT}$ ) gemäß folgender Formel:

**Formel 17: Berechnung der durch Fachbodenregale blockierten Palettenstellplätze**

$$A_{FBKLT4} = \left\lceil A_{FBR} * \frac{A_{KLTT4}}{A_{FBT}} \right\rceil$$

Dieser Zuschlagsfaktor ( $A_{FBKLT4}$ ) wird im Zuge der Auslegung eines Palettenregallagers der Anzahl der benötigten größten Ladungsträger im Kommissionierbereich ( $A_{KLTT4}$ ) aufgeschlagen. Dies ermöglicht die Auslegung eines Palettenregalbereiches, in dem auf Kommissionierebene sowohl Paletten als auch KLTs in Fachbodenregalen bereitgestellt werden.

Auch im Palettenbereich ist es möglich, einen separaten Nachschubbereich einzuplanen. Abhängig von der Bestandsmenge und der maximalen Bauhöhe ist es unter Umständen auch möglich, den gesamten Nachschub vertikal über dem Kommissionierbereich zu lagern. Der Kommissionierbereich kann, wie zuvor beschrieben, aus Fachbodenregalen und/oder Paletten bestehen. Der Aufbau eines Palettenregalbereiches ist in Abbildung 50 schematisch dargestellt.

Analog zum Fachbodenbereich wird zunächst die Anzahl der benötigten Regale bestimmt. Diese wird aus der Art und Anzahl der zu lagernden Ladungsträger gemäß der in Abbildung 51 gezeigten Eingabemaske berechnet.

<sup>2</sup> Anmerkung: Hierbei wird der größte Ladungsträger im Palettenbereich „K-Ladungsträger 4“ aufgeschlagen, da Fachböden unter Palettenregalen immer den kompletten Kommissionierbereich bis ca. 2 m ausfüllen.

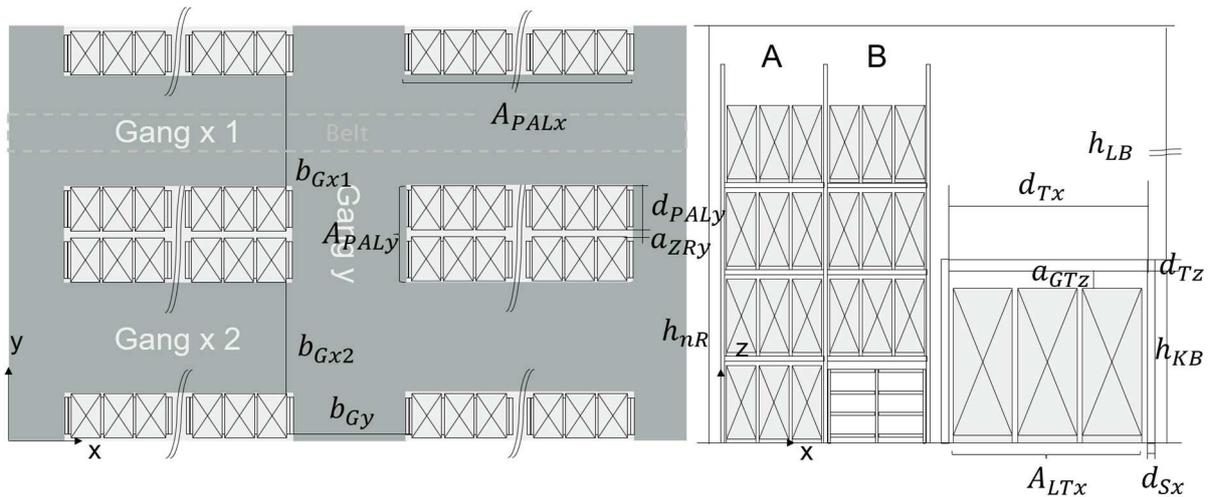


Abbildung 50: Schematische Darstellung eines Palettenregalbereiches mit Paletten und/oder Fachbodenregalen im Kommissionierbereich

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]	
$h_{KB}$	Höhe Kommissionierbereich [m]	
$h_{LB}$	Höhe Lager-/Nachschubbereich [m]	
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger je Traverse in x-Richtung	
	<b>Kommissionierbereich</b>	<b>Lager-/Nachschubbereich</b>
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 1	Anzahl PAL-Regale für L-LT 1
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 2	Anzahl PAL-Regale für L-LT 2
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 3	Anzahl PAL-Regale für L-LT 3
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 4	Anzahl PAL-Regale für L-LT 4
	Anzahl Regale Komm.-Bereich	Anzahl Regale Lager-/NS-Bereich
	Anzahl Regale gesamt	

Abbildung 51: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale

Das Dimensionierungswerkzeug errechnet die Anzahl der benötigten Palettenregale getrennt für den Kommissionierbereich und den Lagerbereich aus. Gemäß der definierten Anzahl an Ladungsträgern im Kommissionierbereich errechnet sich die Anzahl der Regale für den Kommissionierbereich nach dieser Formel:

Formel 18: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Kommissionierbereich

$$A_{KPALR} = \left[ \sum_i^4 (A_{KLTi} / \left( \left\lfloor \frac{h_{KB} + d_{Tz}}{d_{Tz} + h_{KLTi} + a_{GTz}} \right\rfloor * A_{KLTx} \right)) \right]$$

Die Anzahl der benötigten Regale für den Nachschubbereich wird nach folgender Formel berechnet:

Formel 19: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Nachschub-/Lagerbereich

$$A_{LPALR} = \left[ \sum_i^4 (A_{LLTi} / \left( \left\lfloor \frac{h_{LB} + d_{Tz}}{d_{Tz} + h_{LLTi} + a_{GTz}} \right\rfloor * A_{KLTx} \right)) \right]$$

Anschließend wird die Anzahl der erforderlichen Regale im Palettenbereich berechnet, indem der größere der beiden Werte herangezogen wird:

**Formel 20: Berechnung der Anzahl der Regale im Palettenbereich**

$$A_{PALR} = MAX(A_{KPALR}, A_{LPALR})$$

Die beiden Werte sollten allerdings nicht zu weit auseinanderliegen, da Kommissionierbereich und Nachschubbereich möglichst gut aufeinander abgestimmt sein sollten. Um diese beiden Werte ähnlich groß zu dimensionieren, kann die vorgegebene Reichweite im Kommissionierbereich und/oder die Bauhöhe angepasst werden.

Die Anzahl der benötigten Regale wird automatisch in die nächste Eingabemaske (siehe Abbildung 52) übertragen, um die Dimensionen des Fachbodenbereiches zu bestimmen:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{PALR}$	Anzahl Regale	
$d_{Tx}$	Dimension Regal in x-Richtung [m]	
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	
$d_{PALy}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung	
$a_{ZRY}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane	
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	
	Anzahl erforderlicher Lanes	
	Anzahl Lanes in y-Richtung	
	Anzahl Lanes in x-Richtung	
	Dimension Palettenregallager in y-Richtung [m]	
	Dimension Palettenregallager in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

**Abbildung 52: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager**

Die Gesamtfläche eines Palettenregallagers errechnet sich folgendermaßen:

**Formel 21: Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager**

$$F_{PAL} = \left[ \frac{A_{PALR}}{A_{PALx} * A_{FPALy}} \right] * \left( (d_{Tx} + d_{Sx}) * A_{PALx} + b_{Gy} \right) * (d_{PALy} + a_{ZRY}) * (A_{LTy} * \frac{b_{Gx1} + b_{Gx2}}{2})$$

Für die Dimensionierung eines Pick-to-Belt-Systems muss die zusätzliche Fläche für die Fördertechnik in den Gangbreiten eingerechnet werden. Wenn beim dezentralen Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung ein FTS als Fördergerät vorgesehen ist, muss lediglich die für FTS erforderliche Gangbreite berücksichtigt werden.

Bei der Dimensionierung eines Hochregallagers wird wieder nach Funktionalität unterschieden. Häufig werden Hochregallager als reine Nachschubspeicher eingesetzt, um den Kommissionierbereich nachzubestücken. Es besteht allerdings

auch die Möglichkeit, direkt vor dem Lagersystem Pick-Stationen einzuplanen und stationär mit dynamischer Artikelbereitstellung (WzP) zu kommissionieren. Hierbei stellt allerdings die Ladungssicherung ein Problem dar, da angebrochene Paletten nur schwer ohne erneute Sicherung zurück im Hochregallager eingelagert werden können. Häufiger kommt dieses Kommissionierverfahren in Form eines AKL, bei dem die Ware von der Palette auf Tablette abgeschichtet wird, zum Einsatz. Der Aufbau der beiden Systeme ist in Abbildung 51 schematisch dargestellt:

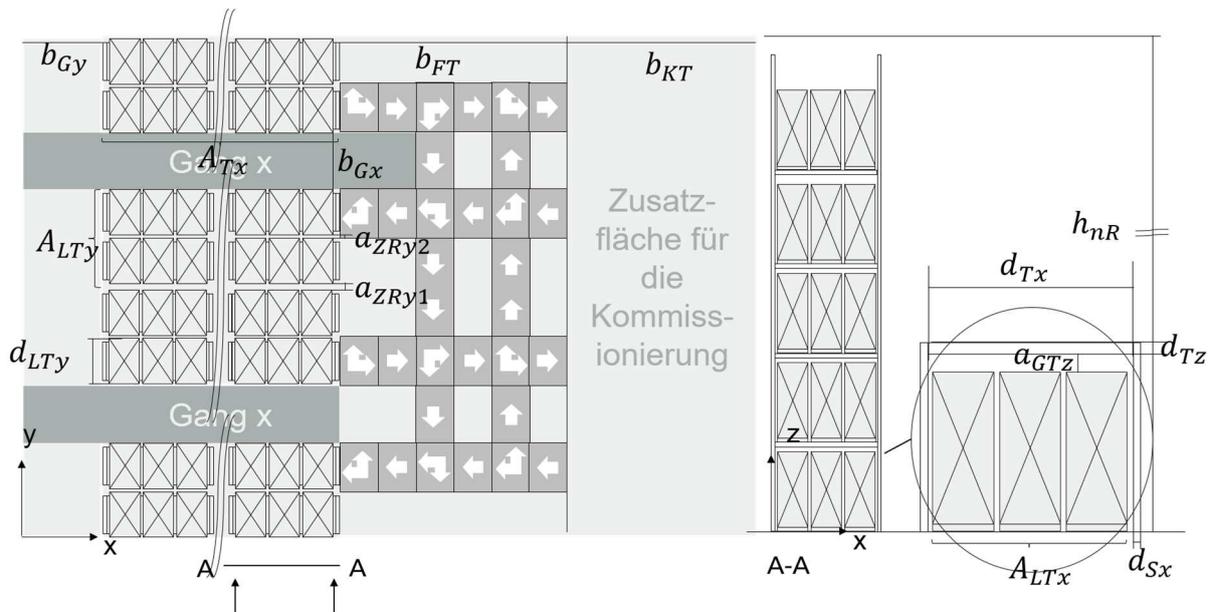


Abbildung 53: Schematische Darstellung eines Hochregallagers (HRL) bzw. eines Automatischen Kleinteilelagers (AKL)

Zunächst wird die Anzahl der benötigten Regale im Hochregallager festgelegt. Bei der Angabe der maximal nutzbaren Raumhöhe ist darauf zu achten, dass Hochregallager häufig zum Teil im Boden versenkt sind. Ggf. ist diese Versenkung der nutzbaren Raumhöhe des Hochregallagers aufzuschlagen. Die Anzahl der benötigten Regale wird gemäß folgender Eingabemaske berechnet:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]	
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger je Traverse in x-Richtung	
	Anzahl PAL-Regale für L-LT 1	
	Anzahl PAL-Regale für L-LT 2	
	Anzahl PAL-Regale für L-LT 3	
	Anzahl PAL-Regale für L-LT 4	
	Anzahl Regale Lager-/NS-Bereich	

Abbildung 54: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Regale im Hochregallager

Die Anzahl der benötigten Regale errechnet sich wie folgt:

**Formel 22: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Hochregallager**

$$A_{PALR} = \left\lceil \sum_i^4 (A_{LTi} / \left( \left\lfloor \frac{h_{nR}}{d_{TZ} + h_{KLTi} + a_{GTZ}} \right\rfloor * A_{LTx} \right)) \right\rceil$$

Die Anzahl der benötigten Regale wird automatisch in die nächste Eingabemaske übertragen, um die Dimensionen des Hochregallagers zu bestimmen:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{PALR}$	Anzahl Regale	
$d_{Tx}$	Dimension Regal in x-Richtung [m]	
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	
$d_{PALy}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung	
$a_{ZRY}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane	
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane	
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	
	Anzahl erforderlicher Lanes	
	Anzahl Lanes in y-Richtung	
	Anzahl Lanes in x-Richtung	
	Dimension Palettenregallager in y-Richtung [m]	
	Dimension Palettenregallager in x-Richtung [m]	
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	

**Abbildung 55: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager**

Die Gesamtfläche errechnet sich aus der Formel:

**Formel 23: Berechnung der benötigten Fläche für ein Hochregallager**

$$F_{PAL} = \left\lceil \frac{A_{HRLR}}{A_{PALx} * A_{Ty}} \right\rceil * \left( (d_{Tx} + d_{Sx}) * A_{PALx} + b_{Gy} + b_{FT} + b_{KT} \right) * \left( (d_{LTy} + b_{Gx} + \frac{a_{ZRY1} + a_{ZRY2}}{2}) * A_{LTy} \right)$$

Für die Auslegung eines AKL kann die Eingabemaske des Hochregallagers herangezogen werden. Meistens gibt es in einem Tablar-Lager jedoch nur einen einzigen Ladungsträger, was die Auslegung vereinfacht. Diese Systeme sind meistens direkt mit einem Kommissionierbereich verbunden. Kommissionierstationen, Fördertechnik und Depalettierstationen sind in der Flächenauslegung einzuplanen.

### 5.5.3 Anordnung der Funktionsbereiche zu einem Gesamlayout je Lösungsalternative

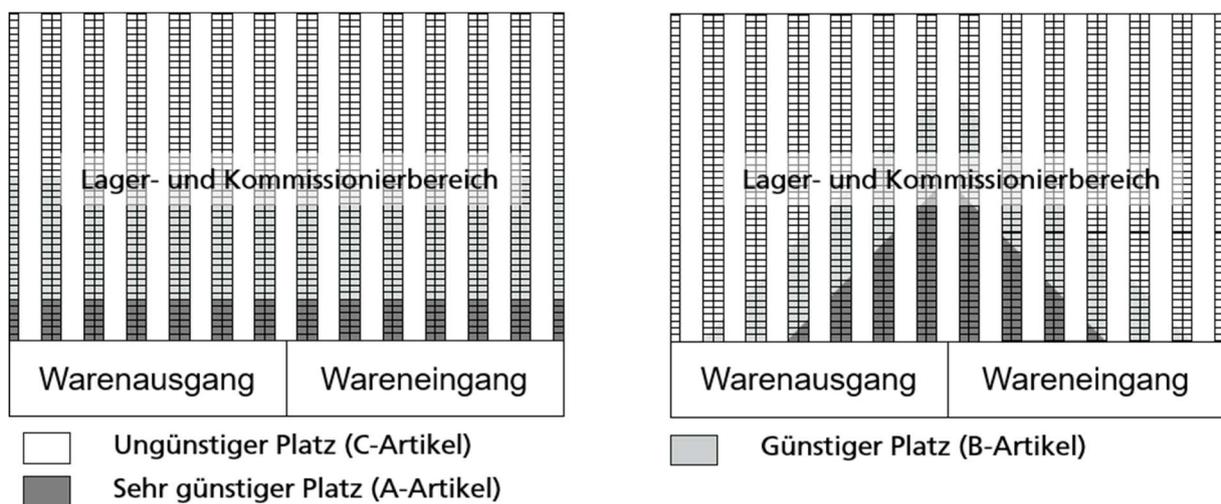
Nach der Dimensionierung der einzelnen Funktionsbereiche müssen diese zu einem Gesamlayout angeordnet werden. Zunächst muss die Anordnung von Warenein- und -ausgang festgelegt werden. Hierzu gibt es folgende Möglichkeiten (vgl. Gudehus 2012, S. 597):

1. Kombiniertes Warenein- und -ausgang

2. Nebeneinanderliegender Warenein- und -ausgang
3. Gegenüberliegender Warenein- und -ausgang

Für die Kombination von Warenein- und -ausgang muss die Anlieferung zeitlich getrennt von der Auslieferung stattfinden. Der Lebensmittelgroßhandel arbeitet meistens zumindest zweischichtig, um die Touren für alle Kundinnen und Kunden zeitgerecht fertigzustellen. Im Wareneingang wird meistens eine komplette Schicht zwischengepuffert, was dazu führt, dass der Warenausgang meistens zumindest teilweise belegt ist. Diese Form der Anordnung ist daher eher unüblich (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

Die Anordnung von Warenein- und -ausgang nebeneinander ermöglicht ggf. die flexible Nutzung von Warenein- und -ausgangstoren zur Abdeckung von Spitzen. Diese Art der Anordnung schafft, wie nachfolgend schematisch dargestellt, einige Lagerplätze mit sehr vorteilhafter Position sowohl für den Warenein- als auch für den Warenausgang.



**Abbildung 56: Vorteile der einzelnen Anfahrpositionen bei der nebeneinanderliegenden Anordnung von Warenein- und -ausgang (eigene Darstellung nach Thomas et al. 2014, S. 930)**

Diese Art der Anordnung eignet sich daher insbesondere (vgl. Bartholdi et al. 2017, S. 67):

- Bei wenigen Artikeln, die einen großen Teil des Aufwandes erzeugen (steile ABC-Kurve)
- Bei starken Schwankungen in den Wareneingangs- und -ausgangsmengen
- Wenn die Erweiterung des Lagers nicht nur in die Breite möglich sein soll

Bei einer gegenüberliegenden Anordnung von Warenein- und -ausgang fließen alle Materialflüsse in eine Richtung. Dadurch kommt es zu geringeren Interferenzen zwischen Warenein- und -ausgang. Wie in Abbildung 55 gezeigt entstehen durch diese Anordnung zahlreiche Stellplätze mit ähnlich vorteilhafter Anfahrposition.

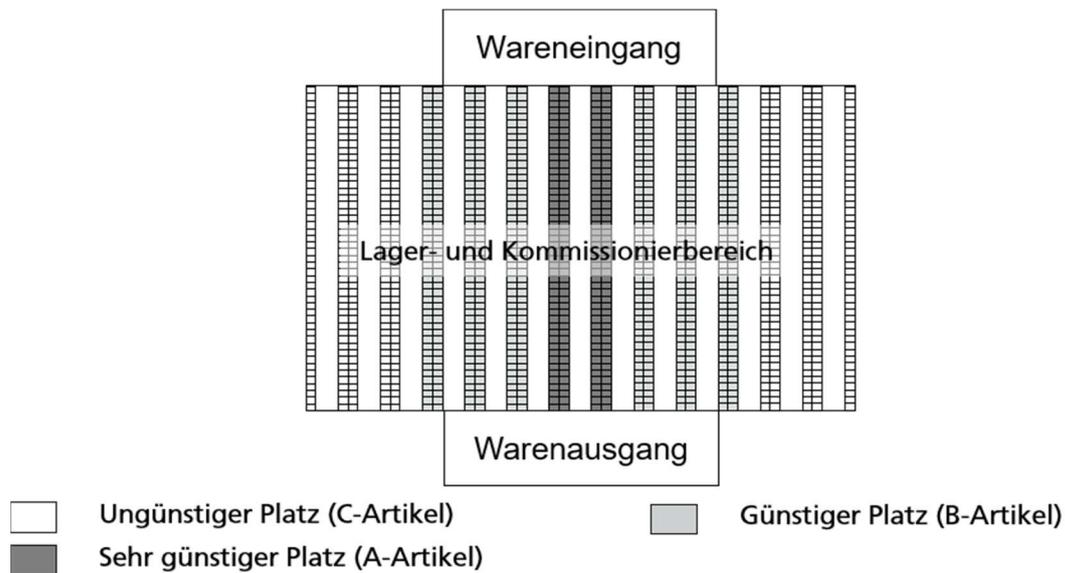


Abbildung 57: Vorteile der einzelnen Anfahrpositionen bei der gegenüberliegenden Anordnung von Warenein- und -ausgang (eigene Darstellung nach Thomas et al. 2014, S. 930)

Diese Anordnung wird gewählt (vgl. Bartholdi et al. 2017, S. 67f.):

- Bei mehreren Artikeln, die einen großen Teil des Aufwandes erzeugen (mittlere bis flache ABC-Kurve)
- Wenn ein sehr hohes Durchsatzvolumen herrscht
- Wenn Grundstücksbegrenzungen keine Anordnung nebeneinander zulassen

Zusätzlich kann die durch die Anordnung entstehende Gebäudeform als Entscheidungsunterstützung herangezogen werden. Gemäß Thomas et al. (2014) ist das optimale Verhältnis von Länge zu Breite 2 : 1. Das bedeutet, dass ein Lagergebäude optimalerweise doppelt so breit wie tief ist. Falls die oben genannten Kriterien zu keiner eindeutigen Entscheidung führen, kann überprüft werden, welche Anordnung diesem Verhältnis am nächsten kommt.

Nachdem die Anordnung von Warenein- und -ausgang feststeht, können die restlichen Funktionsbereiche festgelegt werden. Hierzu werden zunächst sämtliche Flächen gemäß der zuvor erfolgten Dimensionierung der Funktionsbereiche im richtigen Verhältnis dargestellt. Warenein- und -ausgang werden gemäß der gewählten Anordnung positioniert. Die restlichen Funktionsbereiche werden entsprechend dazwischen bzw. darunter eingezeichnet.

Anschließend wird die Anzahl der Transporte zwischen den einzelnen Funktionsbereichen über das gesamte Zielplanungsjahr ausgewertet. Zur Visualisierung der Transportintensitäten zwischen den einzelnen Funktionsbereichen wird in diesem Vorgehensmodell das Programm VisTABLE verwendet. Hierzu wird die folgende Excel-Eingabemaske eingesetzt (Spaltenbezeichnungen sind von VisTABLE vorgegeben; die Spalte „Netz“ entspricht den Prozesssträngen):

Quelle	Senke	Intensität	Netz	Farbe
Wareneingang TS	Lagerbereich 1		Einlagerung TS	
Wareneingang TS	Lagerbereich 2		Einlagerung TS	
Wareneingang TS	Lagerbereich 3		Einlagerung TS	
Wareneingang TS	Lagerbereich 4		Einlagerung TS	
Lagerbereich 1	Kommissionierbereich 1		Nachschub TS	
Kommissionierbereich 1	Warenausgang TS		Kommissionierung TS	
Kommissionierbereich 1	Kommissionierbereich 2		Kommissionierung TS	

Abbildung 58: Inputdaten zur Visualisierung der Materialflussbeziehungen

Entsprechend Abbildung 58 können jeweils eine Quelle des Materialtransportes und eine zugehörige Senke definiert werden. Im Reiter Intensität wird die Anzahl der Transporte im Zielplanungsjahr zwischen der definierten Quelle und Senke gemäß der Datenauswertung eingetragen. Zusätzlich können die jeweiligen Transporte einem Netz und einer Farbe zugeordnet werden, was bei der graphischen Darstellung hilfreich sein kann. In Abbildung 57 sind die Transportintensitäten zwischen den einzelnen Bereichen schematisch dargestellt:

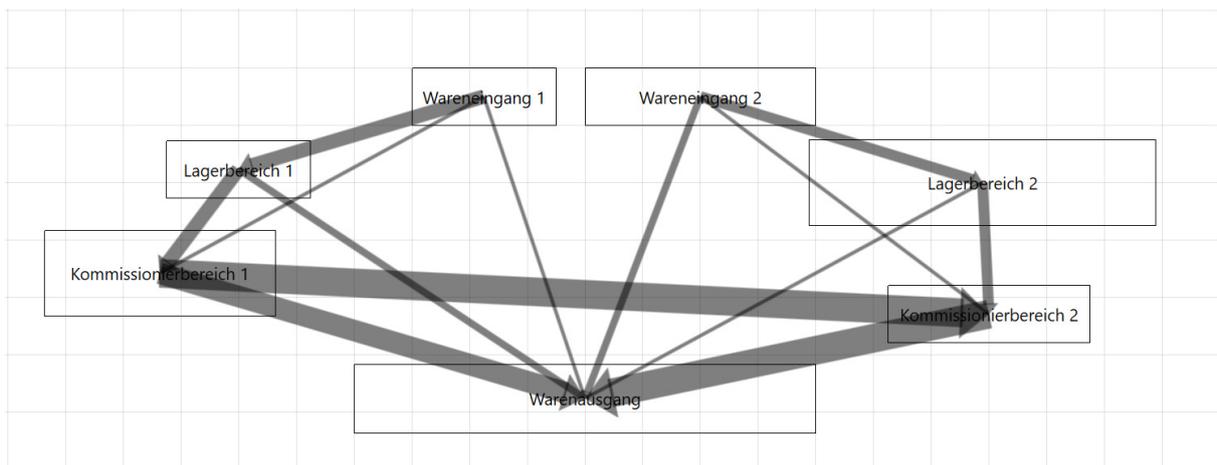


Abbildung 59: Beispielhafte Darstellung der Transportintensitäten zwischen den einzelnen Lagerbereichen in VisTABLE

Wie die graphische Darstellung zeigt, werden die einzelnen Lagerbereiche zunächst grob angeordnet. Anschließend bietet das Programm die Funktion zur Anordnungsoptimierung. Gemäß der Grobanordnung und den hinterlegten Flächen je Bereich errechnet das Programm die Anzahl zurückzulegender Transportkilometer. Die Grobanordnung entspricht zwar nicht dem tatsächlichen Aufwand, da in diesen Grobflächen keine Gänge u. Ä. hinterlegt sind, kann jedoch zur Anordnung der Flächen herangezogen werden. Das Modell startet mit der Bewertung von 0 %. Die Flächen können nun beliebig angeordnet werden und man bekommt über eine sinkende Prozentzahl der Transportkilometer einen Referenzwert, um die jeweilige Anordnung zu bewerten. Ziel ist es, die Anordnung mit der geringsten Anzahl an Transportkilometern zu erreichen.

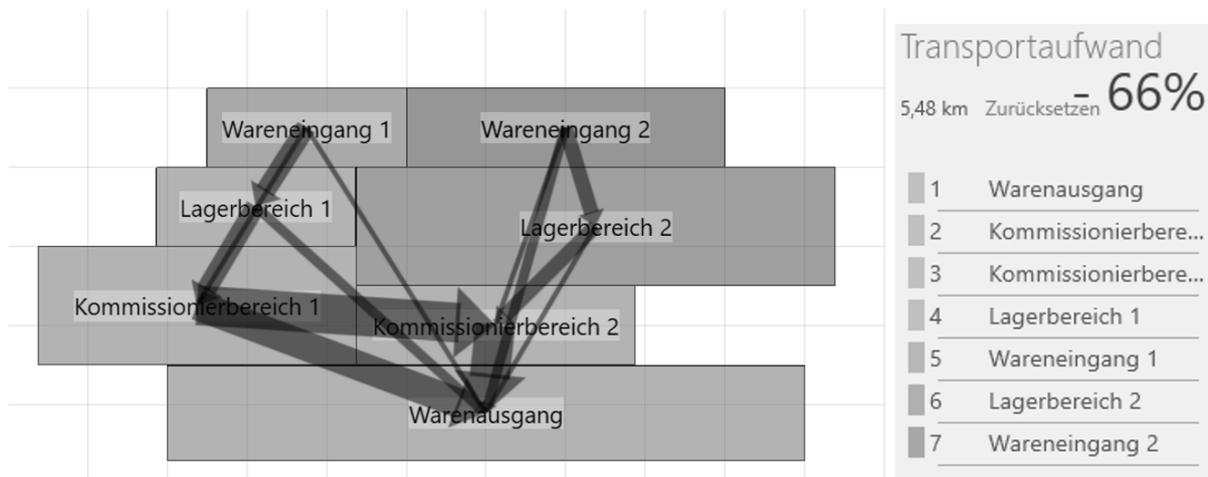


Abbildung 60: Beispielhafte Grobanordnung der Funktionsbereiche zur Minimierung des theoretischen Transportaufwandes

### 5.5.4 Dimensionierung zusätzlicher Flächen für Verkehrswege, Förder- und Sortiertechnik

Sobald die Funktionsbereiche angeordnet sind, kann gemäß der gewählten Fördertechnik zwischen den Bereichen die zusätzlich benötigte Fläche eingerechnet werden. Stetigfördertechnik kann laut Angaben des jeweiligen Herstellers dimensioniert werden. Es ist darauf zu achten, dass die Stetigfördertechnik die Fahrwege der Unstetigförderer (z. B. Schubmaststapler) nicht blockiert, ggf. sind Überbauungen einzuplanen. Die Dimensionen für benötigte Stahlbauten sind an der betreffenden Stelle vorzusehen und einzuzeichnen.

Für Unstetigförderer ist es meistens sinnvoll, sogenannte Hauptverkehrswege einzuplanen. Diese sind breiter als die normalen Gänge und ermöglichen den schnellen Transport zwischen den einzelnen Funktionsbereichen. Im Idealfall sind Hauptverkehrswege sowohl parallel zu, als auch normal auf die Regalreihen vorzusehen, wobei deren Anzahl stark von der Gesamtgröße des Layouts abhängt.

Nachdem sämtliche Zusatzflächen für die Fördertechnik für den Transport zwischen den Funktionsbereichen in die Flächen eingepplant wurden, sind ggf. noch Zusatzflächen für die Sortiergeräte notwendig – insbesondere bei dem Kommissionierverfahren dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung kann ein Sorter notwendig sein. Dieser ist nahe der Position anzusiedeln, an der die sortierte Ware auf die Rollbehälter geschichtet wird. Um den Transportweg an die Tore zu minimieren, bietet sich die Anordnung in der Nähe des Warenausgangs an.

Zuletzt werden sämtliche Zusatzflächen für die Fördertechnik sowie Sonderflächen für Retouren, Müllentsorgung u. Ä. in das in Abbildung 60 dargestellte Groblayout und die Flächenbilanz eingefügt.

### 5.5.5 Ergebnisse aus Schritt 5

Die Ergebnisse aus Schritt 5 sind:

- Lösungsalternativen in Form von Grobkonzeptvarianten als Groblayouts zur Darstellung der Gesamtlagerstruktur mit
  - Dimensionen der einzelnen Funktionsbereiche (Länge, Breite, Höhe)
  - Anordnung der Funktionsbereiche zur Minimierung der Transportaufwände
  - Zusatzflächen für Verkehrswege sowie Förder- und Sortiertechnik zwischen den Funktionsbereichen

## 5.6 Schritt 6 | Kalkulation der Zielwerte je Alternative zur Lösung des Entscheidungsproblems

### 5.6.1 Bewertung diskreter Ausprägungen der Zielplanungsattribute

Das Ziel von Schritt 6 ist die Kalkulation der Zielwerte zu den in Schritt 1 definierten Attributen und in weiterer Folge die Auswahl einer Alternative gemäß der multiattributiven Zielwertefunktion.

Die in Schritt 5 definierten Alternativen ( $A_i$ ) können als Vektor der einzelnen Ausprägungen ( $a_{ij}$ ) der Attribute ( $X_j$ ) beschrieben werden:

$$A_i = (a_{i1}, \dots, a_{im})$$

Diese Ausprägungen sind Variablen, die den Zustand einer Alternative hinsichtlich eines spezifischen Attributs beschreiben (z. B. Anzahl der Lagerplätze einer bestimmten Grobkonzeptvariante). Variablen können diskreter (z. B. Automatisierungsgrad: niedrig, mittel, hoch) oder kontinuierlicher Natur (z. B. Investitionssumme) sein. Kontinuierliche Ausprägungen können (theoretisch) unendlich viele Werte innerhalb eines gewissen Ausprägungsintervalls annehmen. Kategorien für diskrete Ausprägungen sind entweder eindeutig vorgegeben oder müssen in diesem Schritt definiert werden (z. B. Ergonomie: sehr niedrig, niedrig, mittel, hoch, sehr hoch). Für kontinuierliche Attribute ist analog dazu ein Wertebereich, der voraussichtlich alle Ausprägungen der einzelnen Alternativen beinhaltet, zu definieren (z. B. operative Kosten zwischen 1 Mio. € und 2 Mio. €).

Die Berechnung folgender Attribute mit diskreten Ausprägungen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, da hierzu komplexe Hilfs-Rechenmodelle notwendig wären:

- Ergonomie
- Flexibilität
- Liefersicherheit

- Nachhaltigkeit

Stattdessen werden diese Ausprägungen gemäß Tabelle 13 qualitativ bewertet. Diese Bewertung wird in Kapitel 5.6 näher beschrieben.

Tabelle 13: Bewertung von Zielattributen mit diskreter Ausprägung

Ausprägung	Punktwert
Sehr gering	1
Gering	2
Mittel	3
Hoch	4
Sehr hoch	5

### 5.6.2 Kalkulation kontinuierlicher Ausprägungen der Zielplanungsattribute

Folgende Attribute mit kontinuierlichen Ausprägungen müssen im Zuge dieses Vorgehensmodells berechnet werden:

- Flächenbedarf
- Durchsatzleistung
- Lagerkapazität
- Investitionen
- Operative Kosten

Da der Flächenbedarf je Grobkonzeptvariante bereits in Schritt 5 bestimmt wurde, bleiben vier Attribute, deren Ausprägungen je Grobkonzeptvariante zu bestimmen sind. Diese werden entsprechend obiger Auflistung der Reihe nach beschrieben.

Jede der einzelnen Grobkonzeptvarianten wurde gemäß dem erstellten Materialflussbild auf die vorgegebenen Anforderungen hinsichtlich erforderlicher Lagerkapazität und Durchsatzleistung ausgelegt. Da keine halben Regale errichtet werden können bzw. der verfügbare Raum meist vollständig genutzt wird, erfüllen die Grobkonzeptvarianten sowohl die Kapazitäts- als auch die Leistungsanforderungen. Die tatsächliche Lagerkapazität je Grobkonzeptvariante ergibt sich aus der gemäß der Flächendimensionierung errechneten Anzahl an Regalen und Stellplätzen. Die Summe der Lagerplätze über alle Funktionsbereiche und Lagerarten hinweg kann sich in jeder Grobkonzeptvariante unterscheiden.

Die Durchsatzleistung bei automatisierten Systemen ergibt sich aus der Leistung je technischer Komponente mal der Anzahl der technischen Komponenten. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Systemleistung bestimmt wird. Die Durchsatzleistung des Gesamtsystems je Bereich kann nicht über der technischen Komponente mit der niedrigsten Leistung liegen. Bei manuellen Systemen können die Leistungen theoretisch durch mehr Personal stets erhöht werden. Es gibt jedoch einen Punkt, an

dem die Leistungskurve je Mitarbeiterin bzw. Mitarbeiter abflacht – bis zu einem Punkt, an dem sich das System selbst blockiert. Meist gibt es in den Unternehmen Erfahrungswerte, wie viele Personen je Bereich effizient arbeiten können (z. B. Mindestabstand zwischen den Kommissionierenden). Über diese Abschätzungen inkl. der Größenordnung der Flächen (bzw. der Ganglängen je Bereich) kann eine maximale Anzahl an Personen für eine effiziente Arbeitsweise errechnet werden.

Die Arbeitsleistung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an automatisierten Systemen (z. B. Ware-zu-Person-Kommissionierstationen) kann den Herstellerangaben der Techniklieferanten entnommen werden. Für rein manuelle Tätigkeiten (z. B. manueller Transport und Einlagerung einer Palette in ein Palettenregallager mittels Schubmaststapler) ist die Ermittlung der Arbeitsleistung etwas schwieriger, da kein Staplerhersteller Referenzwerte zu diesen hochindividuellen Prozessen geben kann. Teilweise können Referenzwerte aus bestehenden Prozessen herangezogen werden, diese beziehen jedoch die Dimensionen und die Anordnung des neu gestalteten Layouts nicht ein.

Um geplante Prozesse in theoretischen Layouts zeitlich bewerten zu können, eignet sich das Verfahren Methods Time Measurement (MTM) sowie das darauf aufbauende verdichtete Universelle Analysier-System (UAS). Dieses System vorbestimmter Zeiten basiert auf zahlreichen Studien und der Zerlegung menschlicher Bewegungen in kleinste Bausteine. Auf diesen vordefinierten Zeitbausteinen aufbauend wurde ein Werkzeug zur Generierung von Prozesszeiten für manuelle Tätigkeiten entwickelt. Folgende Prozesse können zeitlich bewertet werden:

- Entladung eines Lkws
- Wareneingangskontrolle und Zerlegung von artikelgemischten Paletten
- Einlagerung von Ladungsträgern in den Lagerbereich
- Nachschub von Ware aus dem Lagerbereich in den Kommissionierbereich
- Kommissionierung
- Verpackung der Ware
- Verladung der Ware am Lkw

Der Aufbau des Aufwandskalkulationswerkzeugs wird nachfolgend am Beispiel der Kommissionierung dargestellt. Zur Kalkulation der Zeit für einen Kommissionierauftrag wird folgende Eingabemaske verwendet:

Eingabe:			
Auftrag	Anzahl der anzufahrenden Positionen	$A_{Pos}$	
	Anzahl der einzelnen Picks	$A_{Picks}$	
Sortiment	Artikel Klasse 1 [%]	$p_{A1}$	
	Artikel Klasse 2 [%]	$p_{A2}$	
	Artikel Klasse 3 [%]	$p_{A3}$	
Layout	zu fahrende Strecke [m]	$A_{St}$	
	Anzahl der Kurven	$A_{Ku}$	
	Anzahl der Kreuzungen	$A_{Kr}$	

**Abbildung 61: Eingabemaske zur Kalkulation der Zeit pro durchschnittlichem Kommissionierauftrag im Werkzeug zur Kalkulation manueller Zeitaufwände**

Zunächst muss je Kommissionierbereich aus der Datenanalyse die durchschnittliche Anzahl an Positionen (entspricht der Anzahl an Artikeln) bestimmt werden. Anschließend wird die Zahl mit der durchschnittlichen Menge je Auftragszeile (Picks per Orderline) multipliziert, um die Anzahl der Picks einer Tour zu bestimmen. Die Artikelgruppen sind gemäß MTM in drei Klassen aufgeteilt:

1. Artikelklasse 1: Gewicht unter 1 kg
2. Artikelklasse 2: Gewicht zwischen 1 kg und 8 kg oder Gewicht unter 1 kg und zwei Dimensionen über 30 cm bzw. eine Dimension über 80 cm
3. Artikelklasse 3: Gewicht über 8 kg oder Gewicht zwischen 1 kg und 8 kg und zwei Dimensionen über 30 cm bzw. eine Dimension über 80 cm

Gewichtet über die Anzahl der Picks wird je Bereich eine durchschnittliche prozentuale Aufteilung der Picks in diese drei Klassen angegeben. Die benötigte Zeit pro Pick ist für jede Klasse unterschiedlich.

Die dritte Art an Eingabeparametern ist unter dem Begriff Layout zusammengefasst, um das in Schritt 3 erstellte individuelle Groblayout je Lösungsalternative in der Berechnung zu berücksichtigen. Für eine durchschnittliche Kommissioniertour wird der Streckenverlauf eingezeichnet und es werden die zurückgelegte Strecke, die zu fahrenden Kurven sowie die Verzögerungen an Hauptverkehrswegen eingetragen. Gemäß den gemachten Angaben errechnet das Tool die Dauer eines Auftrags wie in Abbildung 60 gezeigt (die detaillierte Modellierung der Zeiten ist beispielhaft im Anhang A.4 dargestellt):

Tätigkeiten	Kürzel	modellierte Zeit	Faktor	Summe
RB/PAL aufnehmen [sec]	$K_{01}$	11,07 sec		
Komm.-Position ablesen [sec]	$K_{02}$	3,93 sec		
Scanvorgang Ganzpalette [sec]	$K_{03}$	6,84 sec		
Pick Artikel Klasse 1 [sec]	$K_{04}$	13,11 sec		
Pick Artikel Klasse 2 [sec]	$K_{05}$	9,07 sec		
Pick Artikel Klasse 3 [sec]	$K_{06}$	14,49 sec		
Start/Stop Hubwagen [sec]	$K_{07}$	1,78 sec		
Fahren pro Meter [sec]	$K_{08}$	0,66 sec		
Kurven fahren [sec]	$K_{09}$	1,30 sec		
Verzögerung Kreuzung [sec]	$K_{10}$	1,78 sec		
RB/PAL am Zielort abstellen [sec]	$K_{11}$	14,41 sec		
<b>Gesamtzeit [sec]</b>				
<b>Zeit pro Pick [sec]</b>				
<b>Pickleistung [Picks/MA/h]</b>				

Abbildung 62: Kalkulation der mittleren Pickleistung pro Person pro Stunde aus den Angaben in Abbildung 61

Jeder der einzelnen Tätigkeiten ist mit den in Abbildung 61 gemachten Angaben verknüpft und wird entsprechend mit den modellierten Zeiten multipliziert. Anschließend wird die Gesamtsumme der Zeit für eine durchschnittliche Kommissioniertour gebildet. Für die Zeit pro Pick wird die Gesamtzeit durch die Anzahl der Picks dividiert. Die durchschnittliche Pickleistung pro Person pro Stunde errechnet sich nach folgender Formel:

**Formel 24: Berechnung der Kommissionierleistung pro Person pro Stunde**

$$PL_i = 3\,600 / ((K_{01} + A_{Pos} * (K_{02} + K_{03} + K_{07}) + A_{Picks} * (p_{A1} * K_{04} + p_{A2} * K_{05} + p_{A3} * K_{06}) + A_{St} * K_{08} + A_{Ku} * K_{09} + A_{Kr} * K_{10} + K_{11}) / (A_{Picks}))$$

Hinter jeder der einzelnen Tätigkeiten liegt eine detaillierte Modellierung mit den UAS Basis- und Logistikbausteinen. In Abbildung 118 im Anhang 9.4 ist die Modellierung des Greifvorgangs der Artikelklasse 2 im Detail dargestellt. Die Grundzeit ergibt sich aus der reinen Arbeitszeit. Diese Grundzeit wird um eine Verteilzeit erhöht, wobei zwischen sachlicher Verteilzeit (z. B. Abstimmung mit Kolleginnen und Kollegen) und persönlicher Verteilzeit (z. B. WC-Besuche) unterschieden wird.

Neben Lagerkapazität und Durchsatzleistung haben wirtschaftliche Aspekte die größte Auswirkung auf die Auswahl eines Grobkonzeptes. Bevor die Investitionen und Betriebskosten bestimmt werden können, müssen zunächst die benötigten Personen und Ressourcen je Grobkonzeptvariante bestimmt werden. Diese Werte haben einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten (in Form der Personalkosten und Abschreibung) und auf die Investitionen (in Form von Investitionen für Lagertechnik). Die benötigten Personen und Ressourcen können vor allem in wenig automatisierten Lager- und Kommissioniersystemen stark von der Auftragslast des individuellen Tages abhängen. Lebensmittelgroßhändler gleichen diese starken Personalbedarfsschwankungen mittels flexibler Arbeitsmodelle, einem soliden

Grundstock an Mitarbeitern sowie und tlw. mit Leihpersonal aus (F. Zagler, Fa. SPAR Österreichische Warenhandels-AG, persönliche Korrespondenz, Ebergassing, 23.04.2020). Um diese Schwankungen in der Auftragslast zu berücksichtigen, wird jeder potenziell mit Personal verbundene Prozess in folgende drei Tagesprofile entsprechend der Leistungsanforderung eingeteilt:

- **Starktage:** Diese Tage sind nahe oder entsprechen dem Tag, der als Auslegungswert für die Lagertechnik verwendet wurde.
- **Normaltage:** Das sind jene Tage, deren Auftragslast nahe dem Median (ist weniger sensibel gegenüber Ausreißern als der Mittelwert) des Betrachtungszeitraum liegt.
- **Schwachtage:** Diese Tage entsprechen der durchschnittlichen Last jener Tage, die eindeutig unterhalb der durchschnittlichen Arbeitslast liegen.

Für jede manuelle Tätigkeit und jeden Prozessstrang jeder Grobkonzeptvariante wird neben einer Leistungsangabe auch die Anzahl der Tage, die dem jeweiligen Leistungsprofil annähernd entsprechen, analysiert. Bei der Einteilung der Tagesleistungen in die oben genannten Klassen ist darauf zu achten, dass das Summenprodukt ungefähr der Gesamtleistung ( $GL_{BZR}$ ) über den entsprechenden Betrachtungszeitraum entspricht:

**Formel 25: Prüfung der gewählten Werte für die Stark-, Normal- und Schwachtage**

$$L_{SpTPi} * A_{SpTPi} + L_{NoTPi} * A_{NoTPi} + L_{SchTPi} * A_{SchTPi} \sim GL_{BZRi}$$

Anschließend werden die zuvor bestimmten Leistungskennzahlen je Bereich und die Tagesprofile eingetragen. Diese enthalten für jeden in Schritt 3 identifizierten Prozess einen eigenen Abschnitt. Die jeweiligen Prozessstränge werden gemäß der in Abbildung 25 getroffenen Überlagerung je Bereich zusammengefasst. Wird für einen Bereich das Feld technische Lösung auf automatisiert gestellt, werden keine Personalkosten für diesen Bereich kalkuliert.

Im Feld Netto-Arbeitstage wird die durchschnittliche Anzahl an Arbeitstagen pro Mitarbeiterin bzw. Mitarbeiter eingetragen. Diese ergibt sich aus den Brutto-Arbeitstagen minus Urlaubstagen sowie den durchschnittlichen Krankheitstagen pro Person pro Jahr. Das Berechnungswerkzeug kalkuliert die Anzahl der benötigten Personen pro Spitzen-, Normal- und Schwachtage je Bereich. Über die Anzahl der jeweiligen Tagesprofile wird anschließend ein gewichteter Durchschnitt für das Arbeitsjahr gebildet und die Anzahl der erforderlichen Personen pro Bereich aufsummiert. Zur späteren Bestimmung der Personalkosten wird ein Aufschlagsfaktor für Personal über die Netto-Arbeitszeit berechnet, um die Anzahl der Personen, die tatsächlich bezahlt werden müssen, zu bestimmen.

Die Eingabe muss zwei Mal je Grobkonzeptvariante erfolgen: einmal für das Jahr, in dem das Lager- und Kommissioniersystem in Betrieb geht, und einmal für das Zielplanungsjahr. Diese beiden Werte werden sowohl für die Personalkosten als auch für die Bestimmung der Investitionen benötigt.

Die Gesamtinvestition setzt sich gemäß Abbildung 63 und Formel 26 aus der Summe der Investitionen der einzelnen Teilbereiche zusammen:

**Formel 26: Berechnung der Gesamtinvestition**

$$I_{Ges} = I_{GuE} + I_{Geb} + I_{BS} + I_{LuK} + I_{Son}$$

Investitionsbereich	Kürzel	Investition [€]
<b>Grundstück und Erschließung</b>	$I_{GuE}$	
<b>Gebäude</b>	$I_{Geb}$	
<b>Brandschutz</b>	$I_{BS}$	
<b>Lager- und Kommissioniertechnik</b>	$I_{LuK}$	
<b>Sonstiges</b>	$I_{Son}$	
<b>Gesamt</b>	$I_{Ges}$	

**Abbildung 63: Investitionen, gegliedert nach Teilbereichen**

Investitionen im Bereich des Grundstücks und dessen Erschließung hängen sehr stark von regionalen Einflussparametern ab. In dieser Position werden sämtliche Aufwände für den Erwerb (abhängig vom Quadratmeterpreis), für bauliche Maßnahmen (Altlastenbeseitigung, Herrichten der Oberfläche etc.) sowie für die öffentliche Erschließung (Abwasser, Wasser, Gas, Strom etc.) vor der Nutzung des Grundstücks angegeben. Bei der Entscheidung für eine spezifische Grobkonzeptvariante im Zuge der konzeptionellen Planung des Lager- und Kommissioniersystems ist diese Position nur zu berücksichtigen, wenn sich diese zwischen den Varianten unterscheidet. So können bei gewissen Regaltechniken (z. B. Hochregallager in Silo-Bauweise) abhängig von der Bodenqualität zusätzliche Aufbereitungen des Grundstücks anfallen, die bei der Variantenauswahl zu berücksichtigen sind. Die genauen Kosten müssen in Absprache mit Behörden und Expertinnen und Experten für Lagerbau (Architektin bzw. Architekt/Generalplanerin bzw. Generalplaner) ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

Der zweite Investitionsbereich betrifft das Gebäude. Die Höhe dieser Investitionen ist stark von der in Schritt 5 kalkulierten Grundfläche der jeweiligen Variante abhängig. Speziell im Lebensmittelbereich spielt allerdings auch die Größe der Kühlflächen eine wesentliche Rolle, da die zugehörige Kältetechnik teuer und energieintensiv ist. Für die Auswahl der Grobkonzeptvariante ist es ausreichend, einen Kostensatz des Gebäudes pro m<sup>2</sup> für gekühlte und für ungekühlte Flächen anzunehmen und mit der Bruttogrundfläche zu multiplizieren. Die Bruttogrundfläche besteht aus der Summe aller Grundrissebenen des Gebäudes. Büroflächen müssen in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden, da diese unabhängig von der jeweiligen Grobkonzeptvariante ähnlich ausfallen. Zusätzlich können in dieser Position allerdings Außenanlagen (Straßen, Parkplätze, Begrünung etc.) eingerechnet werden, weil beispielsweise die

Anordnung von Warenein- und -ausgang einen wesentlichen Einfluss auf die Verkehrswege am Betriebsgelände haben kann (z. B. bei gemeinsamer Nutzung von Wareneingangs- und -ausgangstoren). Diese Investition wird ebenfalls über einen Kostensatz pro m<sup>2</sup> und Fläche der Außenanlagen je Variante berechnet.

Die Investition für brandschutztechnische Maßnahmen ist stark von regionalen Einflüssen abhängig, weil Brandschutzvorgaben aufgrund regionaler Bestimmungen variieren und häufig sogar von individuellen Einschätzungen des zuständigen Brandschutzbeauftragten abhängig sind. Zusätzlich spielt der Zugang zu öffentlichen Gewässern (z. B. Flüssen) eine zentrale Rolle hinsichtlich der Höhe der Investition (z. B. Errichtung eines eigenen Brandschutzbeckens). Auch die gewählte Lagertechnik hat einen maßgeblichen Einfluss auf die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen. Die Brandlast pro m<sup>2</sup> ist wesentlich von der Lagerdichte abhängig, die wiederum u. a. durch Gangbreiten stark beeinflusst wird. Auch in diesem Fall ist es empfehlenswert, dass die Architektin bzw. der Architekt/die Generalplanerin bzw. der Generalplaner die brandschutztechnischen Maßnahmen sowie deren erforderliches Investitionsvolumen abschätzen (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

Die Bestimmung der Investition für Lager- und Kommissioniertechnik ergibt sich gemäß nachfolgender Abbildung und Formel aus:

Investition   Lager- und Kommissioniertechnik	Kürzel	Investition [€]
Regaltechnik	$I_{RTZ}$	
Unstetigfördertechnik	$I_{UFT}$	
Stetigfördertechnik	$I_{SFT}$	
Sonstige Technik	$I_{ST}$	
Gesamt	$I_{LuK}$	

Abbildung 64: Investition für Lager- und Kommissioniertechnik

Formel 27: Berechnung der Gesamtinvestition

$$I_{LuK} = I_{RT} + I_{UFT} + I_{SFT} + I_{ST}$$

Die Kosten für die Lagertechnik ergeben sich aus der in Schritt 5 bestimmten Anzahl an Lagerplätzen je Bereich mal den jeweiligen Referenzkosten pro Lagerplatz. Im Berechnungstool sind sämtliche gemäß den in Kapitel 2 als relevant definierten Regaltechniken eingetragen. Für jede Grobkonzeptvariante wird die Anzahl der Lagerplätze für die jeweilige Technik eingetragen (siehe Abbildung 63). Sollte eine Technik für eine Variante nicht vorgesehen sein, wird die Zeile frei gelassen.

Investition   Regaltechnik	Anzahl Stellplätze	Kosten/Platz	Investition [€]
Bodenblocklager			
Palettenregal			
Durchlaufregal Paletten			
Paletten-Hochregal			
Fachbodenregal			
Durchlaufregal Fachboden			
Automatisiertes Kleinteilelager			
Gesamt			

Abbildung 65: Investitionen für Regaltechnik je Grobkonzeptvariante

Zur Kalkulation der Unstetigfördertechnik werden die zuvor berechneten Ergebnisse herangezogen. Die Art der jeweiligen Ressource ist durch die in Schritt 4 erfolgte Technikvorauswahl fixiert. Die Anzahl der benötigten Fördergeräte je Bereich ( $A_{USFBi}$ ) wird aus der Anzahl der benötigten Personen an einem Starktag je Prozess ( $A_{PSpTPi}$ ) durch die Anzahl der Schichten des jeweiligen Bereiches ( $A_{SBi}$ ) dividiert:

Formel 28: Berechnung der Anzahl benötigter Geräte je Bereich

$$A_{USFBi} = \left\lceil \frac{A_{PSpTPi}}{A_{SBi}} \right\rceil$$

Investition   Unstetigfördertechnik	Anzahl	Kosten/Element	Investition [€]
Horizontalkommissionierer			
Hochhubwagen			
Schubmaststapler			
Schmalgangstapler			
Regalbediengerät Palette			
Regalbediengerät Kleinteile			
Lifte und Shuttle Palette			
Lifte und Shuttle Kleinteile			
Summe Unstetigfördertechnik			

Abbildung 66: Investitionen für Unstetigfördertechnik je Grobkonzeptvariante

Anschließend werden sämtliche benötigten Geräte über alle Bereiche einer Grobkonzeptvariante aufsummiert und in die in Abbildung 66 dargestellte Auflistung eingetragen. Sollten sich die Geräte je Bereich beispielsweise in der Zusatzausstattung und demnach auch kostentechnisch unterscheiden, müssen sie getrennt angeführt und die in Abbildung 66 dargestellte Tabelle erweitert werden. Anschließend werden die Referenzkosten pro Gerät eingetragen, um die Investitionssumme für die Unstetigfördertechnik je Grobkonzeptvariante zu kalkulieren.

Für die Investition für Unstetigfördertechnik müssen neben der vorausgewählten technischen Lösung der in Kapitel 5.5.4 dargelegte Verlauf der jeweiligen Fördertechnik sowie der in Abbildung 53 skizzierte Verlauf von Förderstrecken vor automatisierten Bereichen herangezogen werden. Die jeweilige Fördertechnik wird unterteilt nach Art des zu transportierenden Ladungsträgers (z. B. Euro-Paletten, Tablare, Rollbehälter), anschließend werden die Kosten für die jeweilige Stetigfördertechnik mit folgender Eingabemaske kalkuliert:

Investition   Stetigfördertechnik	Anzahl	Kosten/Gerät	Investition [€]
Warenaufgabestation			
QS Prüfung			
Scanner			
Umsetzer			
Förderstrecke			
Vertikalförderer			
Warenabgabestation			
Zusatzpositionen			
<b>Summe Stetigfördertechnik</b>			

Abbildung 67: Investitionen für Stetigfördertechnik je Grobkonzeptvariante

Zusätzliche Positionen (z. B. automatisiertes Umpalettieren bzw. Setzen auf eine Trägerpalette) können in der letzten Spalte ergänzt werden. Die einzutragende Anzahl je Position entspricht der Anzahl an Elementen im Gesamtsystem. Die Kosten pro Element sollten inkl. Montage und Inbetriebnahme angegeben werden. Abhängig von der Gesamtinvestition ist ggf. eine Reduktion der Referenzpreise der Einzelkomponenten aufgrund eines Mengenrabatts zu reduzieren. Die Förderstrecke wird im Normalfall in Meterpreisen gerechnet.

Als letzte Position in den Investitionen können sonstige variantenspezifische Investitionen (z. B. Sortiertechnik, Depalettierstationen, zusätzliche Stahlbühnen) berücksichtigt werden, falls diese keinem der anderen Bereiche zugewiesen werden können bzw. getrennt ausgewiesen werden sollen.

Nach den Investitionen je Grobkonzeptvariante werden die Betriebskosten je Variante grob kalkuliert. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben setzen sich die Betriebskosten zusammen aus:

- Kalkulatorische Abschreibung und Verzinsung des Kapitals
- Kosten für Energie
- Kosten für Instandhaltung
- Kosten für Personal

Die Betriebskosten sind eine Funktion der Zeit und ändern sich dementsprechend jährlich abhängig von Abschreibungsdauern sowie von Steigerungsraten einzelner Kosten (z. B. jährliche Lohnkostensteigerung). Die Betriebskosten werden daher zwischen dem Jahr der Planungsgrundlage (PGL) und dem Zielplanungsjahr (ZPJ) jährlich aufgeschlüsselt. Die Summe der Betriebskosten pro Jahr ergibt sich gemäß Formel 29 und Abbildung 68:

**Formel 29: Berechnung der Betriebskosten pro Jahr**

$$BK_{Gesji} = BK_{AfAji} + BK_{Engji} + BK_{Insji} + BK_{PKji}$$

Jahr	Abschreibung	Kosten für Energie	Kosten für Instandhaltung	Personal-kosten	Summe der Betriebskosten/Jahr
PGL					
ZPJ					

Abbildung 68: Eingabemaske zur Kalkulation der Betriebskosten pro Jahr

Da sich die Betriebskosten jährlich ändern, ist es meist nicht sinnvoll, die Kosten eines einzigen bestimmten Jahres (z. B. die des Zielplanungsjahres) als Attribut zur Variantenauswahl heranzuziehen. Zur Gegenüberstellung der Betriebskosten empfiehlt es sich daher, entweder den Mittelwert der Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum oder die Summe der Betriebskosten über diesen Zeitraum gegenüberzustellen.

Die kalkulatorischen Abschreibungen werden für die einzelnen zuvor bestimmten Investitionssummen separat berechnet. Die nachfolgend dargestellte Eingabemaske ermöglicht es, ein Jahr zwischen dem Jahr der Planungsgrundlage (PGL) und dem Zielplanungsjahr (ZPJ) zu wählen, in dem die jeweilige Investition anfällt. Zusätzlich können im Laufe der Zeit zu erwartende Zusatzinvestitionen angegeben werden. Es kann für jede Art der Investition eine individuelle Abschreibungsdauer angenommen werden, da beispielsweise das Gebäude im Normalfall eine längere Abschreibungsdauer aufweist als die Lager- und Kommissioniertechnik. Investitionen für das Grundstück und die Erschließung werden nicht abgeschrieben (vgl. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/basis-fuer-abschreibungen-52822/version-275922> (gelesen am: 25.04.2020)):

Jahr	Invest Gebäude	Abschreibungszeitraum	Invest Brandschutz	Abschreibungszeitraum	Invest Lager- und Kommissioniertechnik	Abschreibungszeitraum	Invest Sonstiges	Abschreibungszeitraum	Abschreibung/Jahr
PGL									
ZPJ									

Abbildung 69: Kalkulation der kalkulatorischen Abschreibung der unterschiedlichen Investitionsklassen

Maßgeblich für die Energiekosten im Lebensmittelgroßhandel sind meist die Kosten zur Kühlung der Lebensmittel, die wiederum von der Größe der gekühlten Flächen abhängen. Hoch automatisierte Lager haben meistens keinen wesentlich höheren Energieverbrauch als Lager- und Kommissioniersysteme ähnlicher Größe, die mit Elektroflurförderzeugen und -staplern bewirtschaftet werden. Mit zunehmendem Automatisierungsgrad ist allerdings ein starker Anstieg der Instandhaltungskosten zu beobachten – so machen Service- und Wartungsverträge für hoch automatisierte

Lager häufig einen nicht unwesentlichen Teil der langfristigen Betriebskosten, - unabhängig von der Nutzung des Lager- und Kommissioniersystems aus (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020). Abbildung 68 zeigt die Eingabemaske zur Bestimmung der Energie- und Instandhaltungskosten. Die Höhe der Kosten pro Jahr ist für das jeweilige Basisjahr anzugeben, in die zweite Spalte können erwartete jährliche Steigerungen eingetragen werden.

Jahr	Kosten für Instandhaltung	Steigerung	Kosten für Energie	Steigerung
PGL				
ZPJ				

Abbildung 70: Kalkulation der Instandhaltungs- und Energiekosten pro Jahr

Insbesondere in weniger automatisierten Lagern machen die Personalkosten den größten Anteil an den Betriebskosten aus. Auch höher automatisierte Systeme sind heute allerdings noch weit davon entfernt, ohne Personal (z. B. für die Instandhaltung) auszukommen. Neben der Anzahl der Beschäftigten sind die Personalkosten stark von den Lohnkosten pro Mitarbeiterin bzw. Mitarbeiter abhängig, die wiederum von dem landesspezifischen Lohnniveau beeinflusst werden. Im Berechnungswerkzeug können bis zu vier unterschiedliche Lohngruppen angeführt werden (z. B. Schichtleiterin bzw. Schichtleiter, Vorarbeiterin bzw. Vorarbeiter, Lagerarbeiterin bzw. Lagerarbeiter im TS, Lagerarbeiterin bzw. Lagerarbeiter im TK).

Zunächst werden die jeweiligen Lohnkosten (inkl. Lohnnebenkosten) für das Basisjahr angegeben. Über die Angabe der Steigerung der Lohnkosten bis zum Zielplanungsjahr können erwartete Zuwächse berücksichtigt werden. Das Berechnungswerkzeug (siehe Abbildung 71) übernimmt für das jeweilige Grobkonzept die benötigten Personen pro Jahr für die Planungsgrundlage und das Zielplanungsjahr. Die Werte zwischen diesen beiden Werten werden linear interpoliert. Anschließend wird die Gesamtanzahl der benötigten Personen pro Jahr über die vier Lohngruppen aufgeteilt. Das Modell berechnet eine gewichtete Summe aus den Lohnkosten und der Anzahl der Personen pro Lohngruppe, um die Personalkosten für das jeweilige Grobkonzept zu bestimmen.

Jahr	LG1	LG2	LG3	LG4	Summe	Gewichtete Summe
PGL						
ZPJ						

Abbildung 71: Kalkulation der Personalkosten pro Jahr

### 5.6.3 Bewertung der Lösungsalternativen und Bestimmung einer Vorzugsvariante

In Schritt 1 des Vorgehensmodells wird die additive multiattributive Zielwertfunktion zur Auswahl einer Vorzugsvariante vorgestellt:

Formel 30: Multiattributive Zielwertfunktion

$$v(A_i) = \sum_{j=1}^m \omega_j v_j(a_{ij})$$

Die Zielgewichte ( $\omega_j$ ) wurden in Schritt 1 mit Hilfe einer Präferenzanalyse bestimmt. Da in Schritt 6 die Ausprägungen der Attribute je Alternative festgelegt wurden, können die fehlenden Einzelwertfunktionen definiert werden. Jedem Attribut ( $A_j$ ) kann eine Einzelwertfunktion ( $v_j(a_{ij})$ ) in Abhängigkeit von dessen Ausprägungen ( $a_{ij}$ ) zugeordnet werden. Diese eindimensionalen Wertfunktionen sind bei diesem Vorgehensmodell auf das Intervall  $[1,5]$  normiert, wobei die Ausprägung mit dem niedrigsten Präferenzwert ( $a_{ij}^-$ ) 1 und die Ausprägung mit dem höchsten Präferenzwert ( $a_{ij}^+$ ) 5 entspricht:

Formel 31: Intervall der Einzelwertfunktionen

$$v_j(a_{ij}^-) = 1 \text{ und } v_j(a_{ij}^+) = 5$$

Alle relevanten Ausprägungen des betrachteten Attributs müssen demnach innerhalb der Grenzen von  $a_{ij}^-$  und  $a_{ij}^+$  liegen. Die Grenzen je Attribut (insbesondere für kontinuierliche Attribute) können nun festgelegt werden, da alle Ausprägungen der Attribute je Alternative berechnet wurden. Die Grenzen können einen größeren Bereich als den der betrachteten Alternativen eingrenzen, um für in späterer Folge neu zu betrachtende Alternativen keine erneute Normierung durchführen zu müssen. Grundsätzlich sollte das Ausprägungsintervall allerdings so klein wie möglich gehalten werden.

Nach der Definition der einzelnen Ausprägungsintervalle muss für jedes Attribut eine Funktion bestimmt werden, die die Präferenz hinsichtlich der Ausprägung eines einzelnen Attributs mathematisch beschreibt. Diese Einzelwertfunktion ( $v_j(a_{ij})$ ) ordnet jeder Ausprägung einer Alternative ( $a_{ij}$ ) eine reelle Zahl derart zu, dass der Wert der Ausprägung der Alternative 1 ( $a_{1j}$ ) größer als der Wert der Ausprägung der Alternative 2 ( $a_{2j}$ ) ist, wenn  $a_{1j}$  gegenüber  $a_{2j}$  zu präferieren ist:

Formel 32: Definition der Ausprägungsintervalle

$$v_j(a_{1j}) > v_j(a_{2j}) \leftrightarrow a_{1j} > a_{2j}$$

Neben der reinen Ordnung der Präferenzen muss die Einzelwertfunktion auch Informationen über die Stärke der Präferenzen beinhalten. Dies erfolgt mit Hilfe einer messbaren Einzelwertfunktion. Zunächst muss je Attribut beurteilt werden, ob ein hoher Wert (z. B. hohe Durchsatzleistung) oder ein niedriger Wert (z. B. niedrige operative Kosten) der Ausprägung zu präferieren ist. Dies geht unmittelbar aus der Betrachtung der zuvor definierten Grenzen der einzelnen Attribute hervor. Die Einzelwertfunktion ist demnach monoton steigend bzw. monoton fallend. Anschließend wird zwischen diskreten und kontinuierlichen Attributen unterschieden. Ggf. können, falls sinnvoll, kontinuierliche Attribute auch diskretisiert werden (z. B. Einteilung der Investitionssumme in diskrete Wertebereiche). Für diskrete Ausprägungen (z. B. Automatisierungsgrad: niedrig, mittel, hoch) können die Wertefunktionen nicht mathematisch errechnet werden (z. B. mittels Methode gleicher Wertedifferenzen oder Halbierungsmethode), stattdessen muss auf ein direktes Punktbewertungsverfahren zurückgegriffen werden.

Zur Bildung der Einzelwertfunktionen für diskrete und diskretisierte Ausprägungen wird in dieser Arbeit auf die sogenannte Direct-Rating-Methode zurückgegriffen. Zunächst wird das definierte Ausprägungsintervall für das zu untersuchende Attribut herangezogen. Der Ausprägung mit dem niedrigsten Präferenzwert ( $a_j^-$ ) wird ein Punkt und der Ausprägung mit dem höchsten Präferenzwert ( $a_j^+$ ) werden fünf Punkte zugeordnet. Anschließend werden die dazwischen liegenden Ausprägungen entsprechend der Präferenz geordnet (z. B. Ergonomie: *sehr hoch* > *hoch* > *mittel* > *niedrig* > *sehr niedrig*). Danach werden die einzelnen möglichen Ausprägungen, die zwischen den Grenzen liegen, mit Punkten zwischen null und fünf bewertet (vgl. Eisenführer und Weber 2010, S. 105).

Für kontinuierliche Ausprägungen wird die Einzelwertfunktion mittels Halbierungsmethode bestimmt. Hierzu wird aus den bereits bekannten Grenzen der wertmäßige Mittelpunkt des Intervalls zwischen  $[a_j^-, a_j^+]$  festgelegt. Eine Verbesserung von der unteren Grenze des Ausprägungsintervalls ( $a_j^-$ ) auf diesen wertmäßigen Mittelpunkt ( $a_j^{0,5}$ ) soll ungefähr der Verbesserung dieses wertmäßigen Mittelpunktes ( $a_j^{0,5}$ ) auf der oberen Ausprägungsgrenze ( $a_j^+$ ) entsprechen (vgl. Eisenführer und Weber 2010, S. 109f.):

**Formel 33: Bestimmung des wertmäßigen Mittelpunktes**

$$(a_j^- \rightarrow a_j^{0,5}) \sim (a_j^{0,5} \rightarrow a_j^+)$$

In analoger Weise werden die subjektiven Mittelwerte für die Intervalle  $[a_j^-, a_j^{0,5}]$  und  $[a_j^{0,5}, a_j^+]$  bestimmt und entsprechend als  $a_j^{0,25}$  und  $a_j^{0,75}$  bezeichnet. Auf diese Weise sind für fünf Ausprägungen ( $a_j^-; a_j^{0,25}; a_j^{0,5}; a_j^{0,75}; a_j^+$ ) die zugehörigen Einzelwerte

bekannt (1; 2; 3; 4; 5). Der Einfachheit halber wird auf die Annäherung einer geeigneten Kurve (z. B. Exponentialfunktion, quadratische Funktion) durch entsprechende statistische Verfahren verzichtet, stattdessen wird die Wertefunktion zwischen den bekannten Ausprägungen und zugehörigen Funktionswerten stückweise linear interpoliert. Zur Festlegung der Einzelwertfunktion einer Ausprägung ( $a_{ij}$ ) wird zunächst bestimmt, zwischen welchen Ausprägungsgrenzen ( $a_j^-; a_j^{0,25}; a_j^{0,5}; a_j^{0,75}; a_j^+$ ) die Ausprägung liegt. Auf diese Weise werden eine untere Grenze ( $a_j^u$ ) und eine obere Grenze ( $a_j^o$ ) des Ausprägungsintervalls festgelegt. Der Einzelwert wird gemäß folgender Formel interpoliert:

Formel 34: Interpolation der Einzelwerte

$$v_j(a_{ij}) \approx v(a_j^u) + \frac{(v(a_j^o) - v(a_j^u)) * (a_{ij} - a_j^u)}{(a_j^o - a_j^u)}$$

Nun können alle Bausteine in die Nutzwertanalyse, die zur Bildung der multiattributiven Zielwertefunktion dient, übertragen werden:

		Alternative 1 ( $A_1$ )			Alternative n ( $A_n$ )			
		Gew.	Ausprägung	Einzelwertfunkt.	Wertfunktion	Ausprägung	Einzelwertfunkt.	WF
1.	Attribut 1 ( $X_1$ )	$\omega_1$	$a_{1,1}$	$v_1(a_{1,1})$	$\omega_1 * v_1(a_{1,1})$	$a_{n,1}$	$v_1(a_{n,1})$	$\omega_1 * v_1(a_{n,1})$
2.	Attribut 2 ( $X_2$ )	$\omega_2$	$a_{1,2}$	$v_2(a_{1,2})$	$\omega_2 * v_2(a_{1,2})$	$a_{n,2}$	$v_2(a_{n,2})$	$\omega_2 * v_2(a_{n,2})$
3.	Attribut 3 ( $X_3$ )	$\omega_3$	$a_{1,3}$	$v_3(a_{1,3})$	$\omega_3 * v_3(a_{1,3})$	$a_{n,3}$	$v_3(a_{n,3})$	$\omega_3 * v_3(a_{n,3})$
4.	Attribut 4 ( $X_4$ )	$\omega_4$	$a_{1,4}$	$v_4(a_{1,4})$	$\omega_4 * v_4(a_{1,4})$	$a_{n,4}$	$v_4(a_{n,4})$	$\omega_4 * v_4(a_{n,4})$
5.	Attribut 5 ( $X_5$ )	$\omega_5$	$a_{1,5}$	$v_5(a_{1,5})$	$\omega_5 * v_5(a_{1,5})$	$a_{n,5}$	$v_5(a_{n,5})$	$\omega_5 * v_5(a_{n,5})$
6.	Attribut 6 ( $X_6$ )	$\omega_6$	$a_{1,6}$	$v_6(a_{1,6})$	$\omega_6 * v_6(a_{1,6})$	$a_{n,6}$	$v_6(a_{n,6})$	$\omega_6 * v_6(a_{n,6})$
7.	Attribut 7 ( $X_7$ )	$\omega_7$	$a_{1,7}$	$v_7(a_{1,7})$	$\omega_7 * v_7(a_{1,7})$	$a_{n,7}$	$v_7(a_{n,7})$	$\omega_7 * v_7(a_{n,7})$
8.	Attribut 8 ( $X_8$ )	$\omega_8$	$a_{1,8}$	$v_8(a_{1,8})$	$\omega_8 * v_8(a_{1,8})$	$a_{n,8}$	$v_8(a_{n,8})$	$\omega_8 * v_8(a_{n,8})$
9.	Attribut 9 ( $X_9$ )	$\omega_9$	$a_{1,9}$	$v_9(a_{1,9})$	$\omega_9 * v_9(a_{1,9})$	$a_{n,9}$	$v_9(a_{n,9})$	$\omega_9 * v_9(a_{n,9})$
m.	Attribut n ( $X_m$ )	$\omega_m$	$a_{1,m}$	$v_m(a_{1,m})$	$\omega_m * v_m(a_{1,m})$	$a_{n,m}$	$v_m(a_{n,m})$	$\omega_m * v_m(a_{n,m})$
			Rang 1		$\Sigma$	Rang n		$\Sigma$

Abbildung 72: Bestimmung der Zielwerte je Alternative nach Logik der Nutzwertanalyse

Gemäß dieser Zielwertefunktion wird jeder Alternative ein Entscheidungswert zugeordnet. Die nach sämtlichen Planungsgrundlagen und Umfeldbedingungen zu präferierende Lösungsalternative enthält aufgrund des höchsten Zielwertes den Entscheidungsrang 1. Diese Vorzugsvariante bildet die Grundlage für die auf die Konzeptplanung folgende Detailplanung.

### 5.6.4 Ergebnisse aus Schritt 6

Die Ergebnisse aus Schritt 6 sind:

- Eine gemäß der multiattributiven Zielwertefunktion zu präferierende Lösungsalternative in Form einer Grobkonzeptvariante inkl.
  - Groblayout

- Grober Lagerkapazität je Bereich
- Grober Durchsatzleistung je Bereich
- Grobes Investitionsvolumen inkl. Fälligkeitszeitraum
- Grobe Entwicklung der Betriebskosten im zeitlichen Verlauf

## 5.7 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Vorgehensmodells zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen beschrieben. Hierbei wird insbesondere auf lebensmittelspezifische Anforderungen eingegangen und es werden praxistaugliche Werkzeuge zur Lösung der fünf Sub-Planungsprobleme vorgestellt. Das Ergebnis des Modells ist eine entsprechend den individuell gewichteten Zielen, Restriktionen, der Datenstruktur sowie den regionalen Einflüssen zu präferierende Lösungsalternative in Form einer Grobkonzeptvariante.

## 6 Demonstration und Evaluierung des Modells anhand eines Fallbeispiels

In diesem Kapitel wird das in Kapitel 5 entwickelte Vorgehensmodell auf ein Fallbeispiel angewandt. Das Ziel besteht darin, das Artefakt zu demonstrieren und zu evaluieren. Hierzu wird basierend auf Daten, Restriktionen und Zielsetzungen aus der Praxis eine zu präferierende Lösungsalternative in Form eines Grobkonzeptes für das entsprechende Lager- und Kommissioniersystem ausgewählt. Anschließend werden die Ergebnisse des Beispiels kritisch betrachtet und interpretiert. Dieses Kapitel ist gemäß den einzelnen Schritten des Vorgehensmodells gegliedert.

### 6.1 Schritt 1 des Vorgehensmodells

Gegenstand des Fallbeispiels ist ein Lebensmittelgroßhändler mit ca. 8 000 unterschiedlichen Artikelnummern im Trockensortiment, Frischdienst und Tiefkühlsortiment. Viele dieser Artikelnummern werden nur saisonal bzw. für gewisse Aktionen im Lager geführt. Im Osten Europas wird ein neues Lager- und Kommissioniersystem geplant, das die Versorgung von ca. 250 Filialen übernehmen soll. Das Grundstück inkl. Bebauungsstudie ist zum Planungsbeginn bereits vorhanden. Bestehende Lager- und Kommissioniersysteme des Händlers arbeiten für alle Sortimentsbereiche nach dem Prinzip der klassischen manuellen Kommissionierung mit reiner Blocklagerung. Die Lager- und Kommissioniertechnik und der damit einhergehende Automatisierungsgrad sowie das zu Grunde liegende Kommissionierverfahren für das neue Planungsprojekt sind nicht festgelegt und sollen im Zuge der Konzeptplanung bestimmt werden.

Da das zu bebauende Grundstück bereits vorhanden ist, ergeben sich folgende Planungsrestriktionen:

Räumlich	Einheit	
Max. Bauhöhe	[m]	20 m (Lichte Raumhöhe 16 m)
Grundstücksfläche	[m <sup>2</sup> ]	240 000 m <sup>2</sup> (ca. 600 m x 400 m)
Bebaubare Fläche	[m <sup>2</sup> ]	120 000 m <sup>2</sup> (50 % der Grundstücksfläche)
Strukturell		
Max. Bodenlast	[kg]	Ohne zusätzliche Bodenaufbereitung nicht für ein HRL (Silo-Bauweise) geeignet
Zeitlich		
Anzahl der Schichten	[1]	Bis 3 Schichten
Stunden pro Schicht	[h]	8
Anzahl der Arbeitstage pro Jahr	[d]	200

Abbildung 73: Restriktionskatalog

Wareneingangsseitig ist ein Betrieb in zwei Schichten (16 h Netto-Arbeitszeit) geplant. Warenausgangsseitig (inkl. Kommissionierung) soll zukünftig im Dreischichtbetrieb

(Netto-Arbeitszeit 21 h) gearbeitet werden. Die Wachstumskennzahlen je Bereich hinsichtlich des Mengen- und Breitenwachstums stehen zu Projektbeginn fest. Die Planungsgrundlage bilden die Daten aus dem Geschäftsjahr 2019, das Zielplanungsjahr ist 2030.

Als letzte Planungsgrundlage werden gemäß dem Vorgehensmodell die Zielsetzungen definiert und entsprechend der Präferenzanalyse gewichtet (siehe Kapitel 5.1.3). Zusätzlich werden die Einzelwertfunktionen für die einzelnen Zielausprägungen gebildet, um die multiattributive Zielwertfunktion zu definieren.

<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Eingaben in weißen Feldern</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Attribut <b>oben</b> ist <b>wichtiger</b></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Attribute sind <b>indifferent</b></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Attribut <b>links</b> ist <b>wichtiger</b></td> </tr> </table>		Eingaben in weißen Feldern		0	Attribut <b>oben</b> ist <b>wichtiger</b>	1	Attribute sind <b>indifferent</b>	2	Attribut <b>links</b> ist <b>wichtiger</b>	Investitionssumme [€]	Betriebskosten [€]	Flächenbedarf [m <sup>2</sup> ]	Flexibilität	Lagerkapazität [Stellplätze]	Durchsatzleistung [Picks/Tag]	Ausfallsicherheit	Gewichtung
		Eingaben in weißen Feldern															
		0	Attribut <b>oben</b> ist <b>wichtiger</b>														
		1	Attribute sind <b>indifferent</b>														
2	Attribut <b>links</b> ist <b>wichtiger</b>																
1.	Investitionssumme [€]	2	2	2	0	0	2	19%									
2.	Betriebskosten [€]	0	2	2	0	0	2	14%									
3.	Flächenbedarf [m <sup>2</sup> ]	0	0	2	0	0	0	5%									
4.	Flexibilität	0	0	0	0	0	0	0%									
5.	Lagerkapazität [Stellplätze]	2	2	2	2	1	2	26%									
6.	Durchsatzleistung [Picks/Tag]	2	2	2	2	1	2	26%									
7.	Ausfallsicherheit	0	0	2	2	0	0	10%									

Abbildung 74: Präferenzanalyse zur Gewichtung der Zielattribute

Die diskreten Ausprägungen der Attribute (Flexibilität und Ausfallsicherheit) werden von „sehr gering“ bis „sehr hoch“ bewertet. Die entsprechenden Einzelwerte werden gemäß Tabelle 13 zugewiesen. Die Einzelwerte für kontinuierliche Ausprägungen werden linear zwischen zwei zuvor festgelegten Grenzen interpoliert. Die genauen Grenzen und zugehörige Zielwerte werden im Zuge der Nutzwertanalyse festgelegt.

## 6.2 Schritt 2 des Vorgehensmodells

Gemäß Schritt 2 des Vorgehensmodells werden anschließend die abzuwickelnden Prozesse analysiert. Folgende Hauptprozesse werden von internem Personal abgewickelt: Warenannahme, Wareneingangskontrolle, Einlagerung, Kommissionierung, Nachschub, Auslagerung und Verpackung. Die Entladung angelieferter Ware und die Verladung kommissionierter Ware erfolgen extern durch einen Logistikdienstleister. Der Ablauf und der Flächenbedarf für sämtliche

Sonderprozesse (Retouren, Müllentsorgung, Leerbehälter und Ladung von FFZ in Abhängigkeit der benötigten Geräte) sind bereits durch Vorstudien bekannt.

Im Zuge des Projektes wird das Gesamtsortiment neu segmentiert. Hierzu werden die in Kapitel 5.2.2 dargestellten Überlegungen hinsichtlich Temperaturbereiche, Kreuzverderblichkeit sowie Hygiene- und Qualitätsanforderungen berücksichtigt. Gemäß diesen Überlegungen wird zwischen neun unterschiedlichen Lebensmittel-Prozesssträngen unterschieden:

Nr.	Kürzel	Beschreibung	Temperatur	Art des Produktes	Zusatzkriterium
1	PS_01	Trockensortiment „Food“	20 °C	Lebensmittel	
2	PS_02	Trockensortiment „Ugly“	20 °C	„Non-Food“	reine Bodenlagerung möglich, manuelles Handling erforderlich
3	PS_03	Trockensortiment „Dangerous Goods“	20 °C	Gefahrgut	separate Lagerung erforderlich, manuelles Handling erforderlich
4	PS_04	Frischdienst „Animal Products“	2 °C	tierische Produkte	
5	PS_05	Frischdienst „Crossdocking“	2 °C	tierische Produkte	keine Zwischenlagerung
6	PS_06	Frischdienst „Produce 1“	2 - 4 °C	pflanzliche Produkte	
7	PS_07	Frischdienst „Produce 2“	8 - 10 °C	pflanzliche Produkte	
8	PS_08	Frischdienst „Produce 3“	14 °C	pflanzliche Produkte	
9	PS_09	Tiefkühlsortiment	- 18 °C	Lebensmittel	

Abbildung 75: Prozessstrangkatalog

Diese Prozessstränge für Lebensmittel und Non-Food werden in ein grobes Flussschema überführt, in dem zusätzlich die logistischen Anforderungen (z. B. Cross-Docking) berücksichtigt werden können. Dieses Schema ist inkl. der Ergebnisse aus der Datenanalyse in Abbildung 76 dargestellt.

### 6.3 Schritt 3 des Vorgehensmodells

Die zur Erstellung des Materialflussbildes erforderlichen Daten wurden entsprechend der Datenanforderungsliste (siehe Tabelle 17) bereitgestellt. Das in Kapitel 5.3.2 präsentierte Integrationswerkzeug zur automatisierten Datenaufbereitung wird über die in Abbildung 29 und Abbildung 30 exemplarisch angeführt Excel-Eingabemaske an die individuelle Datenstruktur angepasst. Nach mehreren iterativen Durchläufen der Rückmeldung der Fehlerprotokolle und der Aktualisierung der Input-Daten ist die Datenbasis ausreichend valide für die weitere Konzeptplanung. Die Daten des Basisjahres werden anschließend mit den zuvor seitens Auftraggeber definierten Wachstumskennzahlen für das Zielplanungsjahr hochskaliert. Aufbauend darauf wird eine detaillierte Datenanalyse gemäß den im schematischen Flussbild definierten Sub-Funktionsbereichen durchgeführt (siehe Abbildung 76). Die Auslegungswerte werden für jeden einzelnen Bereich festgelegt. Für Bereiche, die mehrere Prozessstränge betreffen (z. B. Warenein- und -ausgang), werden vor der Bestimmung des Auslegungswertes die Einzelwerte im Zuge der Analyse überlagert.

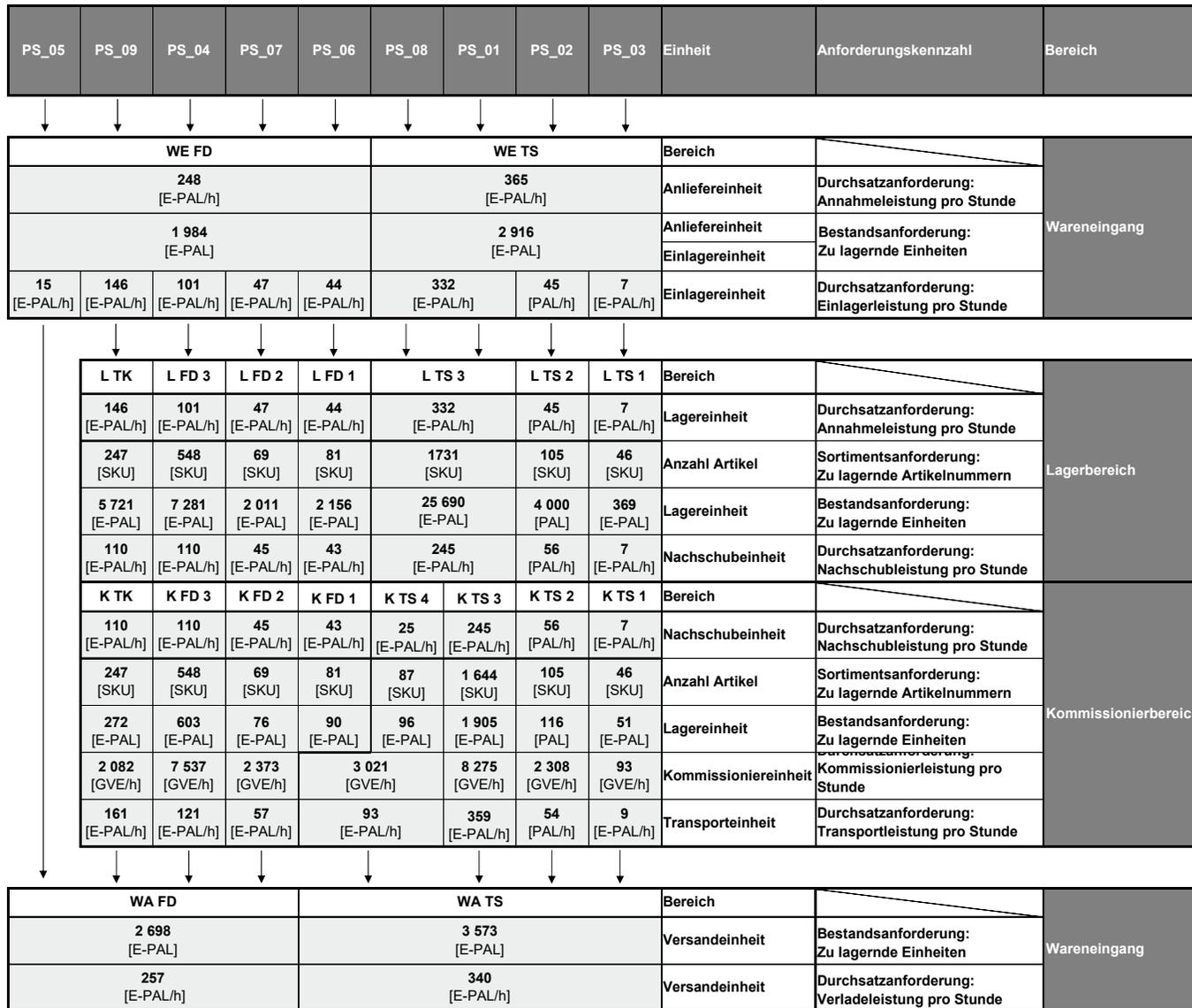


Abbildung 76: Durchsatz- und Bestandsanforderungsflussbild für die Auslegungswerte im Zielplanungsjahr

Der Wareneingang wird in die Bereiche WE TS (Raumtemperatur) und WE FD (ca. 2 C) getrennt. Der Prozessstrang PS\_08 wird über den Wareneingang des Trockensortiments abgewickelt, da der Lieferant diese Ware ungekühlt liefert. Der Prozessstrang PS\_09 wird über den Wareneingang des Frischdienstes abgewickelt, weil kein extra Wareneingang für das Tiefkühlsortiment vorgesehen ist. Produkte dieses Prozessstranges dürfen maximal 60 Minuten im Wareneingang zwischengepuffert werden, bevor sie in den Lagerbereich L TK bei  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert werden. In den Bestandsanforderungen des Lagerbereichs und des Wareneingangs ist ein zusätzlicher WE-Puffer für diese Ware eingerechnet. Sämtliche Waren aller Prozessstränge werden auf sortenreinen Paletten geliefert. Mit Ausnahme des Prozessstranges PS\_02 handelt es sich dabei ausschließlich um Euro-Paletten. Für Warenein- und -ausgang werden diese Ladungsträger gemäß Formel 8 in E-PAL-Äquivalente umgerechnet. Nach der Wareneingangskontrolle können die gelieferten Produkte ohne Vereinzelung der Artikel direkt in den Lager- und/oder Kommissionierbereich transportiert werden.

Die Lagerung der Ware erfolgt für alle Prozessstränge auf dem vom Lieferanten angelieferten Ladungsträger. Die Prozessstränge PS\_01 und PS\_02 können zusammen gelagert werden, da beide bei Raumtemperatur gelagert werden und keine Probleme hinsichtlich Kreuzverderblichkeit bzw. Hygiene bestehen. Da die Anzahl der Arbeitsstunden für die Einlagerung der des Wareneingangs entspricht, sind die Auslagerleistung des Wareneingangs und die Einlagerleistung des Lagerbereichs gleich. Ware des Prozessstranges PS\_05 wird direkt in den Warenausgang transportiert, wo diese dann gemeinsam mit der lagergeführten Ware verladen wird.

Für die Anzahl unterschiedlicher Artikel wird das Wochenmaximum aktiver Artikel je Lagerbereich bestimmt. Die Bestandsmengen ergeben sich aus unternehmensinternen Vorgaben bzgl. der Lagerreichweite für einzelne Sortimente. Die Menge der Ware, die im Kommissionierbereich lagert, wird, wie in Kapitel 5 beschrieben, vom Lagerbereich abgezogen. Der Nachschub aus dem Lagerbereich in den Kommissionierbereich erfolgt unabhängig von der Art der Trennung dieser Bereiche (horizontale oder vertikale Trennung) in Form ganzer Paletten. Bei der Kommissionierung von Paletten entspricht die Nachschubmenge aus dem Lagerbereich genau der einzulagernden Menge für den Kommissionierbereich. Bei der Verwendung eines AKL müssten die Paletten in Tablare umgerechnet werden.

Die Anzahl der Ladungsträger im Kommissionierbereich ergibt sich aus der definierten Reichweite im Kommissionierbereich. Weil gemäß unternehmensspezifischen Vorgaben für sämtliche Artikel ein Platz im Kommissionierbereich einzuplanen ist, entspricht die Anzahl der SKU im Kommissionierbereich der des Lagerbereichs. Die kommissionierte Einheit sind Großverpackungseinheiten (GVE), die ausschließlich auf Paletten kommissioniert werden. Teilweise bestellen Filialen auch sortenreine Paletten

– diese werden in der Nachschubleistung des Lagerbereichs sowie in der Transportleistung des Kommissionierbereichs berücksichtigt. Die Zahl dieser Ganzpaletten wird aus der Menge der zu kommissionierenden Einheiten herausgerechnet.

Um die Einsortierung der Ware in den Einzelfilialen zu erleichtern, müssen alle Prozessstränge auf separate Paletten kommissioniert werden. Eine Ausnahme bilden dabei die Prozessstränge PS\_06 und PS\_08, die beide Obst- und Gemüseartikel beinhalten, die zwar im Zentrallager bei unterschiedlichen Temperaturen lagern, in der Filiale allerdings beide bei Raumtemperatur präsentiert werden. Paletten mit Ware dieser Prozessstränge werden daher über den Warenausgang des Trockensortiments abgewickelt und ungekühlt transportiert. Tiefkühlware PS\_09 wird hingegen über den Warenausgang Frischdienst (ca. 2 °C) abgewickelt. Hier gilt wie im Wareneingang die Restriktion, dass Tiefkühlware maximal 60 Minuten im Warenausgang gepuffert werden darf, bevor sie in Lkws mit eigenen Tiefkühlzonen verladen wird. Die Anzahl an Ladungsträgern, die in den Warenausgang transportiert werden müssen, ergibt sich aus der durchschnittlichen Anzahl an GVE je kommissionierter Palette je Prozessstrang. Diese entspricht nicht der Anzahl der GVE der warenausgangsseitigen Paletten.

## 6.4 Schritt 4 des Vorgehensmodells

Nachdem die Planungsgrundlagen und die Bestands- und Durchsatzanforderungen für das Zielplanungsjahr feststehen, kann mit der Vorauswahl potenziell geeigneter Lager- und Kommissioniertechnik begonnen werden. Die Auswahl und Verknüpfung der gewählten Technik wird beispielhaft in Abbildung 77 dargestellt. Aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Bauhöhe (ca. 20 m) und der schlechten Bodenqualität des Grundstücks (ohne zusätzlicher Aufschüttlast nicht HRL-fähig) ist das stationäre Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung für alle Prozessstränge im konkreten Fallbeispiel eher ungeeignet. Zudem sind die Lohnkosten im betrachteten Land relativ gering, was gegen einen hohen Automatisierungsgrad spricht. Die potenziell geeigneten Kommissionierverfahren sind daher:

- Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung
- Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung

Mit Ausnahme des Prozessstranges PS\_02 werden sämtliche Produkte auf Euro-Paletten relativ guter Qualität, die den automatisierten Transport ermöglichen, angeliefert. Die Kommissionierung erfolgt einheitlich auf Euro-Paletten. Der Großteil der gelieferten Euro-Paletten hat eine Beladehöhe von über 1 800 mm. Nur ca. 20 % der angelieferten Paletten haben eine Beladehöhe von unter 1 050 mm.

Kommissioniersystem								
Kommissionierverfahren	Nachschubgassen	Ladungsträger im Kommissionierbereich		Regaltechnik im Kommissionierbereich	Zufördersystem (ZFS)	Lagergerät	Abfördersystem (AFS)	
KKSAB (konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)	getrennt	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	kein separates ZFS	NHW/Kommissionierer	kein separates AFS
	nicht getrennt		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Niederhubwagen	Hochhubwagen	Schnellläufer
			PAL n	EUL 1	Durchlaufregal	Palettenfördertechnik	Schubmaststapler	Palettenfördertechnik
				EUL 1,4		Verschiebewagen	Schmalgangstapler	Verschiebewagen
				EUL 2		FTS		FTS
		KLT		KLT 1	Fachbodenregal	zu Fuß	Person	kein separates AFS
				KLT 2	Durchlaufregal	Niederhubwagen	NHW/Kommissionierer	Schnellläufer
				KLT n		FTS		FTS

Lagersystem								
Kommissionierverfahren	Ladungsträger im Lagerbereich/ Nachschubbereich		Regaltechnik im Nachschubbereich		Zufördersystem	Lagergerät	Abfördersystem	Sortiertechnik
KKSAB (konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	kein separates AFS	
		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenfördertechnik	Hochhubwagen	Schnellläufer	
		PAL n	EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Palettenfördertechnik	
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	Verschiebewagen	
			EUL 2			Regalbediengerät	FTS	
		kein NS					Life und Shuttle	
	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	kein separates AFS	
		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenfördertechnik	Hochhubwagen	Schnellläufer	
		PAL n	EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Palettenfördertechnik	
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	Verschiebewagen	
		EUL 2			Regalbediengeräte	FTS		
	kein NS							

Abbildung 77: Beispielhafte Generierung einer Grobkonzeptvariante für den Prozessstrang PS\_01 mit Hilfe der Technologiematrix

Um eine möglichst hohe Flexibilität hinsichtlich der Platzbelegung zu ermöglichen und den Handhabungsaufwand gering zu halten, werden – mit Ausnahme der Prozessstranges PS\_02 – Euro-Paletten der Klasse EUL 1 (20 %) und EUL 2 (80 %) für die Auslegung des Lager- und Kommissioniersystems verwendet. Auf diese Weise können die Plätze im Lagerbereich fast vollkommen chaotisch gelagert werden. Im Kommissionierbereich werden ausschließlich Plätze für die Palettenhöhe EUL-2 eingeplant.

Die Lagerung von Paletten kann mit Hilfe unterschiedlicher Regaltechnik erfolgen. Für die einzelnen Prozessstränge ergeben sich die in Abbildung 78 aufgelisteten Möglichkeiten:

Prozessstrang	Lagerbereich	Regaltechnik	Kommissionierbereich	Regaltechnik
PS_03	L TS 1	Palettenregal	K TS 1	Palettenregal
				Durchlaufregal
PS_02	L TS 2	Bodenlager	K TS 2	Bodenlager
PS_01	L TS 3	Palettenregal	K TS 3	Palettenregal
PS_08		Palettenregal	K TS 4	Palettenregal Durchlaufregal
PS_06	L FD 1	Palettenregal	K FD 1	Palettenregal
				Durchlaufregal
PS_07	L FD 2	Palettenregal	K FD 2	Palettenregal
				Durchlaufregal
PS_04	L FD 3	Palettenregal	K FD 3	Palettenregal
				Durchlaufregal
PS_09	L TS	Palettenregal	K TK	Palettenregal
				Durchlaufregal

**Abbildung 78: Potenziell geeignete Regaltechnik je Prozessstrang sowie Lager- und Kommissionierbereich**

Aufgrund der Bauhöhe und der schlechten Bodenqualität wurde ein Hochregallager für alle Lager- und Kommissionierbereiche ausgeschlossen. Wegen des hohen Durchsatzes und der relativ geringen Artikelanzahl sind Durchlaufregale im Kommissionierbereich potenziell gut geeignet. Eine reine Bodenlagerung wurde für die meisten Bereiche im Vorhinein ausgeschlossen, da dies zu einem zu hohen Flächenbedarf führen würde.

Anschließend werden gemäß dem Vorgehensmodell die potenziell geeignete Fördertechnik zur Regalbedienung sowie ein entsprechendes Zu- und Abfördersystem gewählt. Die Kommissionierung sollen aufgrund des bereits getroffenen Ausschlusses von Ware-zu-Person-Systemen mittels Horizontalkommissionierer erfolgen. Diese ermöglichen einen flexiblen Einsatz zwischen den einzelnen Kommissionierbereichen. Für den Nachschub werden Schubmaststapler, Schmalgangstapler und Regalbediengeräte vorausgewählt. Shuttle und Liftsysteme sind für die erforderliche Ein-, Aus- und Nachschubleistung nicht erforderlich zudem sind diese um ca. 20 %

teurer als Regalbediengeräte (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

Sowohl für RGGs, als auch für Shuttle-Systeme besteht die Möglichkeit eines automatisierten Zu- bzw. Abfördersystems. Aufgrund statischer Quellen- und Senkenbeziehungen (Wareneingang – Lagerbereich – Kommissionierbereich – Warenausgang) wird statische Palettenfördertechnik den FTS vorgezogen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Zu- und Abförderung manuell mittels Niederhubwagen (ggf. mit mehrfachtiefer Gabel) zu realisieren.

Im Zuge der Planung werden das dezentrale Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung und ein zweistufiger Kommissionierprozesses seitens des Lebensmittelgroßhändlers aufgrund einer Vorstudie ausgeschlossen. Die Auswahl potenziell geeigneter Sortiertechnik – basierend auf der geforderten Sortierleistung – fällt beim Fallbeispiel daher weg.

Nach der Vorauswahl der Lager- und Kommissioniertechnik werden für jeden Prozessstrang anhand der Technologiematrix die einzelnen Ausgestaltungsmöglichkeiten generiert, wie beispielhaft in Abbildung 79 dargestellt. Um eine möglichst hohe Flexibilität in Bezug auf Veränderungen im Sortiment zu ermöglichen, werden innerhalb der übergeordneten Bereiche Trockensortiment, Frischdienst und Tiefkühlsortiment einheitliche Lösungen eingesetzt. Die Prozessstränge PS\_02 und PS\_03 sind davon ausgenommen, da bei diesen aufgrund von Restriktionen die Lagerung und Handhabung bereits definiert sind. Entsprechend der Technikauswahl werden die in Abbildung 80 dargestellten Ausprägungen je Bereich angeführt. Gemäß Tabelle 12 ergeben sich daraus 24 unterschiedliche Grobkonzeptvarianten:

		Grobkonzeptvariante																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Aus- prägung je Bereich	TS	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	FD	1	1	1	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	3	3	3
	TK	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3

Abbildung 79: Alle Möglichkeiten zur Kombination der einzelnen Bereiche

Da die Lager- und Kommissionierbereiche für Trockensortiment, Frischdienst und Tiefkühlsortiment unabhängig voneinander abgewickelt werden können, ist es für die Planung einfacher, das Entscheidungsproblem in drei Bereiche zu teilen und am Ende die optimalen Lösungen miteinander zu kombinieren. Durch diese Vorgehensweise verringert sich die Anzahl zu untersuchender Grobkonzeptvarianten getrennt nach Trockensortiment und Frischdienst sowie Tiefkühlsortiment zu drei Entscheidungen aus drei Varianten. Die Zusammenführung der Einzelbereiche zu einem Gesamtkonzept erfolgt erst nach der Entscheidung für eine Alternative. Die Auslegung der Funktionsbereiche je Grobkonzept wird nachfolgend am Beispiel des Trockensortiments beschrieben.

Bereich	Ausprägung	Kommissionierverfahren	Nachschubgassen	Kommissioniersystem					Lagersystem				
				Ladungsträger im Kommissionierbereich	Regaltechnik im Kommissionierbereich	Zufördersystem (ZFS)	Lagergerät	Abfördersystem (AFS)	Ladungsträger im Lagerbereich/ Nachschubbereich	Regaltechnik im Nachschubbereich	Zufördersystem	Lagergerät	Abfördersystem
TS	1	KKSAB	nicht getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Palettenregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal einfachtief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
TS	2	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
TS	3	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Palettenfördertechnik	Regalbediengerät	kein separates Abfördersystem
FD	1	KKSAB	nicht getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Palettenregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal einfachtief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
FD	2	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
FD	3	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Palettenfördertechnik	Regalbediengerät	kein separates Abfördersystem
TK	1	KKSAB	nicht getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Palettenregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal einfachtief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
TK	2	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Schnellläufer	Schubmaststapler	kein separates Abfördersystem
TK	3	KKSAB	getrennt	Paletten 100 % EUL 2	Durchlaufregal	kein separates Zufördersystem	Kommissionierstapler	kein separates Abfördersystem	Paletten 20 % EUL 1 80 % EUL 2	Palettenregal doppeltief	Palettenfördertechnik	Regalbediengerät	kein separates Abfördersystem

Abbildung 80: Beispielhafte Generierung einer Grobkonzeptvariante für den Prozessstrang PS\_01 mit Hilfe der Technologiematrix

## 6.5 Schritt 5 des Vorgehensmodells

Zunächst werden Warenein- und -ausgangsflächen, die sich für die einzelnen Grobkonzeptvarianten nicht unterscheiden, bestimmt. Im Wareneingang werden ausschließlich sortenreine Paletten angeliefert, eine Zusatzfläche für die Zerlegung der Mischpaletten ist daher nicht einzuplanen. Ziel ist es, ca. 50 % der Tagesmenge im Wareneingang zwischenpuffern zu können. In Abbildung 81 ist beispielhaft die Berechnung des Wareneingangs TS dargestellt. Die Auslegung des WE FD erfolgt analog.

Kürzel	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{AAZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	2 916
$p_{zp}$	Zwischenzupuffernder Prozentsatz der Tagesmenge [%]	50%
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	1,3
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	0,9
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	2
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	15
$b_{Gx}$	Breite Gang in x-Richtung [m]	3
$b_{Gy1}$	Breite Gang in y-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gy2}$	Breite Gang in y-Richtung 2 [m]	3
$b_{MP}$	zusätzliche Breite zur Zerlegung der Misch-Paletten hinter den Lanes [m]	0
	Anzahl Tore/Lanes	49
	Dimension WE in y-Richtung [m]	235,2
	Dimension WE in x-Richtung [m]	25,5
	<b>Benötigte WE-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>5 998</b>

Abbildung 81: Kalkulation der benötigten Wareneingangsfläche für das Trockensortiment

Die Kommissionierung erfolgt ebenfalls ausschließlich auf Euro-Paletten. Analog zum Wareneingang werden ca. 5 cm Überstand je Seite der Palette für den Ladungsträger eingerechnet. In Abbildung 82 wird die Berechnung der Warenausgangsfläche für das Trockensortiment beispielhaft gezeigt. Die Auslegung des Warenausgangs für den Frischdienst erfolgt analog.

Kürzel	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{AAZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	3 573
$p_{zp}$	Zwischenzupuffernder Prozentsatz der Tagesmenge [%]	40%
$A_{LTT}$	durchschnittliche Anzahl LT pro Tour	28
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	1,3
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	0,9
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	2
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	20
$b_{Gx}$	Breite Gang in x-Richtung [m]	3
$b_{Gy1}$	Breite Gang in y-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gy2}$	Breite Gang in y-Richtung 2 [m]	3
	Anzahl Tore/Lanes	52
	Dimension WA in y-Richtung [m]	249,6
	Dimension WA in x-Richtung [m]	32
	<b>Benötigte WA-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>7 987</b>

Abbildung 82: Kalkulation der benötigten Warenausgangsfläche für das Trockensortiment

Da Warenein- und -ausgang die mögliche Raumhöhe nicht ausnützen, kann das Gebäude an diesen Stellen niedriger gebaut werden, was ggf. auch eine Bauweise ohne Säulen ermöglicht. Alternativ kann diese Fläche auch mit Büroflächen o. Ä.

überbaut werden. Diese Entscheidung ist im Zuge der Konzeptplanung noch nicht zu treffen, insbesondere da sich in diesem konkreten Beispiel Warenein- und -ausgang zwischen den einzelnen Grobkonzepten nicht unterscheiden.

Ebenfalls für alle Varianten gleich ist der Prozessstrang PS\_02. Dieser muss aufgrund der Restriktionen in allen Varianten in Form eines Blocklagers ausgeführt werden. Um Flächen zu sparen, werden Kommissionier- und Lagerbereich räumlich getrennt kalkuliert. Die in diesem Prozessstrang verwendeten Ladungsträger haben die maximalen Maße von 1,4 m x 0,9 m. Um die Blockplätze möglichst flexibel nutzen zu können, werden diese Maße mit 5 cm Überstand je Seite als Auslegungswert für einen Blockplatz herangezogen. Weil im Kommissionierbereich jeder Lagerplatz ohne zusätzlichen Handhabungsaufwand erreichbar sein muss, können in diesem Bereich maximal zwei Ladungsträger in y-Richtung gelagert werden. Die 3 m Gangbreite ergibt sich aus den vorausgewählten Horizontalkommissioniergeräten. Der Kommissionier- und Lagerbereich werden anhand folgender Eingabparameter ausgelegt:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{AAZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	116
$A_A$	Anzahl Artikel	105
$STF_d$	durchschnittlicher Stapelfaktor	1,0
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	1,5
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	1
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	2
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	3
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	3
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	3
	Anzahl erforderlicher Lanes	20
	Anzahl Lanes in y-Richtung	20
	Anzahl Lanes in x-Richtung	1
	Dimension Blocklager in y-Richtung [m]	100
	Dimension Blocklager in x-Richtung [m]	7,5
	<b>Benötigte Block-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>750</b>

Abbildung 83: Kalkulation der benötigten Blocklagerfläche im Kommissionierbereich für den Prozessstrang PS\_02

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$LT_{AAZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr	4 000
$A_A$	Anzahl Artikel	105
$STF_d$	durchschnittlicher Stapelfaktor	1,0
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]	1,5
$d_{LTy}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]	1
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane	105
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane	40
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	0
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]	0
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	6
	Anzahl erforderlicher Lanes	1
	Anzahl Lanes in y-Richtung	1
	Anzahl Lanes in x-Richtung	1
	Dimension Blocklager in y-Richtung [m]	105
	Dimension Blocklager in x-Richtung [m]	66
	<b>Benötigte Block-Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>6 930</b>

Abbildung 84: Kalkulation der benötigten Blocklagerfläche im Lagerbereich für den Prozessstrang PS\_02

Im Lagerbereich wird für jeden Artikel eine separate Blocklane eingeplant. Zwischengänge in x-Richtung sind keine vorgesehen. In y-Richtung wird ein Gang mit 6 m einkalkuliert. Dies berücksichtigt je einen 3-Meter-Gang zur Einlagerung und einen separaten 3-Meter-Gang zur Auslagerung, um dem FIFO-Prinzip zu entsprechen. Ähnlich wie beim Warenein- und -ausgang kann im Zuge der Detailplanung auch für das Blocklager über Konzepte zur optimalen Nutzung der Raumhöhe nachgedacht werden.

Der letzte Bereich, der für alle Grobkonzepte gleich ausfällt, ist das Regallager für den Prozessstrang PS\_03. Da es sich hierbei um Gefahrgut handelt, darf dieses zwar in Regalen gelagert werden, allerdings nur manuell mit Staplern gehandhabt werden. In diesem Bereich erfolgt die Trennung von Lager- und Kommissionierbereich aufgrund der Raumhöhe vertikal, deswegen ist die Gesamtfläche neben den Bestandsanforderungen (Anzahl der Ladungsträger) stark von den Sortimentsanforderungen (Anzahl der Artikel in diesem Bereich) abhängig. Die Ladungsträger des Materialflussbildes in Abbildung 76 müssen detailliert aufgespalten werden. Gemäß der Verteilung der angelieferten Palettenhöhen kann die Anzahl der Ladungsträger unterteilt werden in:

Stellplätze im Kommissionierbereich							
Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
K-Platz 1	E-PAL EUL 1	1 200	800	1 200	1 000	keine Angabe	18
K-Platz 2	E-PAL EUL 2	2 250	800	1 200	1 000	keine Angabe	75
K-Platz 3							
K-Platz 4							
Stellplätze im Lagerbereich							
Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
NS-Platz 1	E-PAL EUL 1	1 200	800	1 200	1 000	keine Angabe	73
NS-Platz 2	E-PAL EUL 2	2 250	800	1 200	1 000	keine Angabe	296
NS-Platz 3							
NS-Platz 4							

Abbildung 85: Verteilung der Ladungsträger des Prozessstranges PS\_03

Wegen der Restriktionen können diese Paletten ausschließlich in Bodenlagerung oder Palettenregalen (ggf. mit voller Auflagefläche je Ebene, z. B. in Form von Gitterböden) gelagert werden. Die Anzahl der Palettenregale ergibt sich aus der Berechnung wie in Abbildung 86 dargelegt.

Zur Lagerung der Platten im Kommissionierbereich werden ca. 31 Regale benötigt. Um die erforderlichen Paletten im Lagerbereich für den Nachschub bereitzuhalten, sind ca. 23. Palettenregale notwendig. Im Rahmen der Detailplanung kann über die Nutzung dieser zusätzlichen Lagerfläche im Nachschubbereich (z. B. Nutzung von Mengenvorteilen im Einkauf bzw. Lagerung sonstiger Non-Food-Ware) nachgedacht bzw. die Bauhöhe der Regale in diesem Bereich reduziert werden.

Regaltechnik Kommissionierbereich		Durchlaufregal	
Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe	
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]	16	
$h_{KB}$	Höhe Kommissionierbereich [m]	2,5	
$h_{LB}$	Höhe Lager-/Nachschubbereich [m]	13,4	
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	0,1	
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	0,1	
$a_{DLz}$	Zusätzlicher Höhenbedarf durch Neigung des Durchlaufregals auf NS-Seite	0,1	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger je Traverse in x-Richtung	3	
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	1	
<b>Kommissionierbereich</b>		<b>Lager-/Nachschubbereich</b>	
	Anzahl Artikel	46	Anzahl Artikel
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 1	6	Anzahl PAL-Regale für L-LT 1
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 2	25	Anzahl PAL-Regale für L-LT 2
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 3	0	Anzahl PAL-Regale für L-LT 3
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 4	0	Anzahl PAL-Regale für L-LT 4
	Anzahl Regale Komm.-Bereich	31	Anzahl Regale Lager-/NS-Bereich
	Anzahl Regale gesamt		31

Abbildung 86: Berechnung der Anzahl benötigter Palettenregale für den Prozessstrang PS\_03

Die Kommissionierung und der Nachschub erfolgen für diesen Bereich mittels Schubmaststapler bzw. Horizontalkommissionierer im selben Gang. Aus der Anzahl der Regale und den erforderlichen Gangbreiten ergibt sich folgender Flächenbedarf:

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{PALR}$	Anzahl Regale	31
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	1
$d_{Tx}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]	2,7
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	0,1
$d_{PALy}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung	1,2
$a_{Zry}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	0,2
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane	2
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane	27
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	3
	Anzahl erforderlicher Lanes	1
	Anzahl Lanes in y-Richtung	1
	Anzahl Lanes in x-Richtung	1,0
	Dimension Palettenregallager in y-Richtung [m]	5,6
	Dimension Palettenregallager in x-Richtung [m]	75,9
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>425</b>

Abbildung 87: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche für den Prozessstrang PS\_03

Die verbleibenden Bereiche im Trockensortiment sind der Lagerbereich L TS 3 sowie die Kommissionierbereiche K TS 4 und K TS 5. Für diese Bereiche gibt es entsprechend der Technikvorauswahl drei verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten (siehe Abbildung 80). Nachfolgend wird beispielhaft die Auslegung der Variante 3 dargelegt.

Analog zur Auslegung des Prozessstranges PS\_03 werden zunächst die Ladungsträger in Klassen unterteilt (siehe Abbildung 88). Auf Basis der zu lagernden Ladungsträger wird die Anzahl der benötigten Regale bestimmt. In dieser Variante werden im Kommissionierbereich Durchlaufregale mit einer Tiefe von zwei Paletten

verwendet. Die Anzahl der benötigten Regale wird so wie in Abbildung 89 gezeigt berechnet.

Stellplätze m Kommissionierbereich							
Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
K-Platz 1	E-PAL EUL 1	1 200	800	1 200	1 000	keine Angabe	800
K-Platz 2	E-PAL-EUL 2	2 250	800	1 200	1 000	keine Angabe	3 202
K-Platz 3							
K-Platz 4							
Stellplätze im Lagerbereich							
Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
L-Platz 1	E-PAL EUL 1	1 200	800	1 200	1 000	keine Angabe	5 138
L-Platz 2	E-PAL-EUL 2	2 250	800	1 200	1 000	keine Angabe	20 552
L-Platz 3							
L-Platz 4							

Abbildung 88: Verteilung der Ladungsträger der Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Regaltechnik Kommissionierbereich			Durchlaufregal	
Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe		
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]	16		
$h_{KB}$	Höhe Kommissionierbereich [m]	2,5		
$h_{LB}$	Höhe Lager-/Nachschubbereich [m]	13,4		
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	0,1		
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	0,1		
$a_{DLz}$	Zusätzlicher Höhenbedarf durch Neigung des Durchlaufregals auf NS-Seite	0,1		
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger je Traverse in x-Richtung	3		
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	2		
	<b>Kommissionierbereich</b>	<b>Lager-/Nachschubbereich</b>		
	Anzahl Artikel	1 731	Anzahl Artikel	1 731
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 1	134	Anzahl PAL-Regale für L-LT 1	96
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 2	534	Anzahl PAL-Regale für L-LT 2	686
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 3	0	Anzahl PAL-Regale für L-LT 3	0
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 4	0	Anzahl PAL-Regale für L-LT 4	0
	Anzahl Regale Komm.-Bereich	<b>668</b>	Anzahl Regale Lager-/NS-Bereich	<b>782</b>
	Anzahl Regale gesamt			<b>782</b>

Abbildung 89: Berechnung der Anzahl benötigter Palettenregale für die Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Anders als im Prozessstrang PS\_03 ist hier die Anzahl der benötigten Regale für den Lagerbereich höher als für den Kommissionierbereich. Zur Optimierung des Konzeptes wird hier mit 668 Regalen gerechnet und ein separater Nachschubbereich für die restlichen Nachschubpaletten vorgesehen. Der Kommissionierbereich mit darüberliegendem Nachschub ergibt sich gemäß Abbildung 90.

Da in dieser Variante Nachschub und Kommissionierung getrennt erfolgen und der Nachschub von Regalbediengeräten übernommen wird, beträgt die Gangbreite der Nachschubgänge nur 1,5 m. Die 6 m Gangbreite in y-Richtung berücksichtigt jeweils einen Gang mit 3 m Breite an beiden Fronten der Regale. Bei der Dimensionierung der Gänge ist zudem stets die Durchsatzanforderung zu berücksichtigen. Für Einlager- und Nachschubleistung müssen gemäß Materialflussbild 332 Doppelspiele geschaffen werden. Das bedeutet, dass die Regalbediengeräte bei der in Abbildung 90 angenommenen Anzahl und Länge der Gänge eine Leistung von ca. 25 Doppelspiele

je Gang erreichen müssen. Bei einer Höhe von 16 m und einer Gassenlänge von ca. 70 m ist diese Leistung durchaus realistisch.

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{PALR}$	Anzahl Regale	668
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	2
$d_{Tx}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]	2,7
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	0,1
$d_{PALy}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung	1,2
$a_{ZRy}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	0,2
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane	2
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane	26
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	3
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	1,5
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	6
	Anzahl erforderlicher Lanes	13
	Anzahl Lanes in y-Richtung	13
	Anzahl Lanes in x-Richtung	1,0
	Dimension Palettenregallager in y-Richtung [m]	94,25
	Dimension Palettenregallager in x-Richtung [m]	76,2
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>7 182</b>

Abbildung 90: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche im Kommissionierbereich für die Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Die Anzahl der Ladungsträger des Nachschubbereichs, die nicht über dem Kommissionierbereich gelagert werden können, ergibt sich aus der Differenz der Ladungsträger lt. Materialflussbild und der Anzahl an Ladungsträgern, die bereits über dem Kommissionierbereich Platz finden. Die Zuordnung der Stellplätze für den Lagerbereich wird in Abbildung 91 dargelegt:

Stellplätze im Lagerbereich							
Bezeichnung	Ladungsträger	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Maximalgewicht [kg]	Füllgrad [%]	Anzahl
L-Platz 1	E-PAL EUL 1	1200	800	1200	1 000	keine Angabe	749
L-Platz 2	E-PAL-EUL 2	2250	800	1200	1 000	keine Angabe	2 996
L-Platz 3							
L-Platz 4							

Abbildung 91: Verteilung der restlichen Ladungsträger für den Nachschubbereich der Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Da in diesem reinen Nachschubbereich die Stellplätze bis auf Bodenhöhe verwendet werden können, wird die Höhe des Kommissionierbereichs auf 0 gesetzt. Die Anzahl der Regale ergibt sich aus der Kalkulation in Abbildung 92. Zur Kalkulation der Fläche für den reinen Nachschub werden ausschließlich Nachschubgassen verwendet. Die Ganglängen werden analog zum Kommissionierbereich gewählt, die Fläche ergibt sich aus der Berechnung in Abbildung 93.

Regaltechnik Kommissionierbereich		Durchlaufregal	
Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe	
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]	16	
$h_{KB}$	Höhe Kommissionierbereich [m]	0	
$h_{LB}$	Höhe Lager-/Nachschubbereich [m]	15,9	
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]	0,1	
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]	0,1	
$a_{DLz}$	Zusätzlicher Höhenbedarf durch Neigung des Durchlaufregals auf NS-Seite	0,1	
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger je Traverse in x-Richtung	3	
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	2	
	<b>Kommissionierbereich</b>	<b>Lager-/Nachschubbereich</b>	
	Anzahl Artikel	Anzahl Artikel	
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 1	Anzahl PAL-Regale für L-LT 1	12
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 2	Anzahl PAL-Regale für L-LT 2	84
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 3	Anzahl PAL-Regale für L-LT 3	0
	Anzahl PAL-Regale für K-LT 4	Anzahl PAL-Regale für L-LT 4	0
	Anzahl Regale Komm.-Bereich	Anzahl Regale Lager-/NS-Bereich	96
	Anzahl Regale gesamt	96	

Abbildung 92: Kalkulation der Anzahl der Regale für den horizontal getrennten Lagerbereich für die Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Variable	Beschreibung	Ein-/Ausgabe
$A_{PALR}$	Anzahl Regale	96
$A_{Ty}$	Tiefe der Lagerung in y-Richtung je Regal	2
$d_{Tx}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]	2,7
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]	0,1
$d_{PALy}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung	1,2
$a_{ZRy}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]	0,2
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane	2
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane	26
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	1,5
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]	1,5
$b_{Gy}$	Breite Gang in y-Richtung [m]	6
	Anzahl erforderlicher Lanes	2
	Anzahl Lanes in y-Richtung	2
	Anzahl Lanes in x-Richtung	1,0
	Dimension Palettenregallager in y-Richtung [m]	13
	Dimension Palettenregallager in x-Richtung [m]	76,2
	<b>Benötigte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>991</b>

Abbildung 93: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche im separaten Lagerbereich für die Prozessstränge PS\_01 und PS\_08

Nach der Auslegung sämtlicher Flächen des Trockensortiments werden diese in eine Flächenbilanz übertragen (siehe Abbildung 94). Die Anordnung und Dimension der einzelnen Funktionsbereiche wird in Abbildung 95 dargestellt. Eine detailliertes Layout des geplanten Lager- und Kommissioniersystems (inkl. Grundstücksgrenzen und Anordnung der Regale innerhalb der Funktionsbereiche) kann in dieser Arbeit nicht abgebildet werden, da keine Freigabe durch den Auftraggeber des Projektes vorliegt.

Bereich	TS		
	Variante		
	Fläche 1 [m <sup>2</sup> ]	Fläche 2 [m <sup>2</sup> ]	Fläche 3 [m <sup>2</sup> ]
WE	5 998	5 998	5 998
L TS 1	0	0	0
L TS 2	6 930	6 930	6 930
L TS 3	0	1 219	991
K TS 1	425	425	425
K TS 2	750	750	750
K TS 3	9 609	7 925	7 182
K TS 4			
WA	7 987	7 987	7 987
<b>Summe</b>	<b>31 699</b>	<b>31 234</b>	<b>30 262</b>

Abbildung 94: Flächenbilanz Trockensortiment

Die Flächen L TS 1 wurden auf 0 gesetzt, weil der Lagerbereich komplett in den Flächen des Kommissionierbereichs inkludiert ist. Nachdem sämtliche Flächen für alle Varianten dimensioniert wurden, können die Flächen zueinander angeordnet werden. Aufgrund der Grundstücksform und der verhältnismäßig geringen Anzahl an Artikeln im Sortiment, die zudem alle einen relativ hohen Durchsatz haben (flache ABC-Verteilung), werden Warenein- und -ausgang gegenüber voneinander angeordnet. Aufgrund der in Abbildung 76 erfassten Materialflussbeziehungen sowie der zuvor dimensionierten Flächen ergibt sich die optimale Flächenanordnung der TS-Grobkonzeptvariante 3 gemäß Abbildung 95:

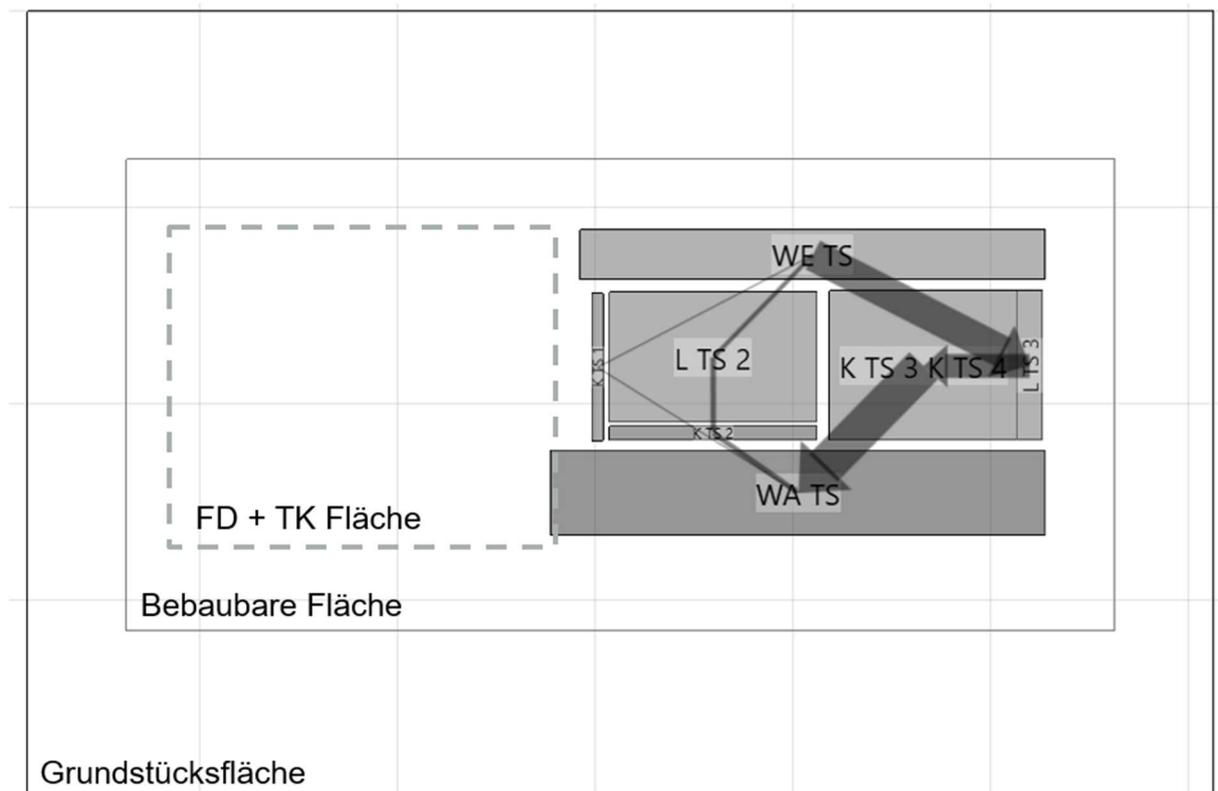


Abbildung 95: Anordnung der Flächen am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Im Zuge der Flächenanordnung wird, wie oben dargestellt, auch der zusätzliche Flächenbedarf für die Fördertechnik zwischen den Bereichen und für die Hauptverkehrswege berücksichtigt.

### 6.6 Schritt 6 des Vorgehensmodells

Entsprechend der anfangs durchgeführten Präferenzanalyse (siehe Abbildung 74) sind neben dem Flächenbedarf folgende kontinuierliche Zielwerte zu bestimmen:

- Lagerkapazität
- Durchsatzleistung
- Investitionen
- Betriebskosten

Die Lagerkapazität der einzelnen TS-Grobkonzepte unterscheidet sich nur in den Bereichen L TS 3 sowie K TS 3 und K TS 4. Die tatsächliche Lagerkapazität unterscheidet sich von der geforderten Lagerkapazität aufgrund der gewählten Ganglänge. In Abbildung 96 sind die tatsächlichen Lagerplätze je Bereich dargestellt.

Bereich	TS		
	Variante		
	1	2	3
L TS 2	4 200	4 200	4 200
L TS 3	0	4 134	4 134
K TS 1	1 056	1 056	1 056
K TS 2	120	120	120
K TS 3	31 381	26 327	26 327
K TS 4			
<b>Summe</b>	<b>36 757</b>	<b>35 837</b>	<b>35 837</b>

Abbildung 96: Anzahl der Lagerplätze je TS-Grobkonzeptvariante

Da in allen Grobkonzeptvarianten das Kommissionierverfahren dasselbe ist, wird die maximal zu erbringende Durchsatzleistung in allen Varianten ähnlich hoch sein. Dieses Zielattribut wird daher in der Nutzwertanalyse nicht bewertet.

TS-Grobkonzept	Prozessstrang	Warenannahme [PAL/h]	Einlagerung [PAL/h]	Nachschub [PAL/h]	Kommissionierung [GVE/h]
1	PS_03	52	28	35	82
	PS_02		32	41	161
	PS_01		51	25	180
	PS_08				210
2	PS_03	52	28	35	82
	PS_02		32	41	161
	PS_01		54	25	185
	PS_08				214
3	PS_03	52	28	35	82
	PS_02		32	41	161
	PS_01		automatisiert	automatisiert	189
	PS_08				218

Abbildung 97: Leistung für manuelle Tätigkeiten je TS-Grobkonzeptvariante und Prozessstrang

Die Leistungen des Personals werden über das MTM-Analysetool berechnet. Aufgrund der verschiedenen Flächen unterscheiden sich diese teilweise je Grobkonzeptvariante. Die Leistungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter je Bereich sind in Abbildung 97 für die drei TS-Grobkonzeptvarianten zusammengefasst.

Zusätzlich könnte sich die Leistung für Stark-, Spitzen- und Schwachtage unterscheiden. Da in diesem Fallbeispiel auch an Schwachtagen ausreichend Aufträge im System sind, wird die Leistung für die einzelnen Tagesprofile nicht verändert. Stark-, Spitzen- und Schwachtage je Bereich werden in Abbildung 98 gezeigt. Da alle Grobkonzeptvarianten eine ähnlich hohe maximale Durchsatzleistung aufweisen, dienen diese Auswertungen primär der Bestimmung der erforderlichen Kapazitäten als Grundlage für Investitionen und Betriebskosten.

Tagesprofil	Prozessstrang	Warenannahme		Einlagerung		Nachschub		Kommissionierung	
		Anzahl Tage	Leistungsanforderung [PAL/d]	Anzahl Tage	Leistungsanforderung [PAL/d]	Anzahl Tage	Leistungsanforderung [PAL/d]	Anzahl Tage	Leistungsanforderung [GVE/d]
Starktag	PS_03	43	5 840	11	112	17	147	17	1 953
	PS_02			42	720	26	1 176	26	48 468
	PS_01			25	5 312	15	5 145	17	173 775
	PS_08							15	31 710
Normaltag	PS_03	206	3 116	54	62	98	79	98	1 050
	PS_02			140	412	82	642	82	26 460
	PS_01			223	2 982	335	2 412	283	76 013
	PS_08							335	14 866
Schwachtag	PS_03	102	1 510	163	34	186	45	186	593
	PS_02			66	196	88	320	88	13 194
	PS_01			103	1 343	0	0	50	30 167
	PS_08							0	0
Summe	PS_03	351	1 047 036	228	10 122	301	18 541	301	246 334
	PS_02			248	100 856	196	111 392	196	4 590 931
	PS_01			351	936 115	350	885 195	350	25 974 204
	PS_08							350	5 455 692

Abbildung 98: Leistungsanforderungen je Prozessstrang und je Tagesprofil für die einzelnen Grobkonzeptvarianten

Da das Grundstück bereits zur Verfügung steht und sich die Grundstücks- sowie die Erschließungskosten je Variante nicht unterscheiden, werden diese bei der Auswahl des Grobkonzeptes nicht näher betrachtet. Die ausgearbeiteten Grobkonzeptvarianten betreffen das Trockensortiment, somit spielt die Grundgebäudefläche je Variante die größte Rolle hinsichtlich der Gebäudekosten. Diese Grundfläche wird mit einem Referenzkostensatz pro m<sup>2</sup> für ungekühlte Lagerflächen multipliziert. Aufgrund derselben Anordnung von Warenein- und -ausgang in sämtlichen Varianten kann von von gleich großen Verkehrsflächen ausgegangen werden. Für die Konzeptauswahl wird lediglich die Lagerfläche herangezogen. Die brandschutztechnischen Vorgaben sind in dieser Projektphase nicht bekannt. Für die TS-Grobkonzeptvarianten wird sich aufgrund der gleichen Brandlast und sehr ähnlicher Grundflächen das Brandschutzkonzept nicht wesentlich unterscheiden. Diese Investition wird daher bei der Konzeptauswahl vernachlässigt.

Da keine sonstigen Investitionen, die rein variantenabhängig sind, entstehen, müssen nur noch die Investitionssummen für die Lager- und Kommissioniertechnik kalkuliert werden. Gemäß dem Vorgehensmodell werden zunächst die Kosten für die Regaltechnik kalkuliert. Hierzu werden die bereits berechnete Anzahl an Stellplätzen und ein Kostenfaktor je Stellplatz herangezogen. Dies ist in Abbildung 99 beispielhaft für die TS-Grobkonzeptvariante 3 dargestellt:

Investition   Regaltechnik	Anzahl Stellplätze	Kosten/Platz [€]	Investition [€]
Bodenblocklager	4 320	0	0
Palettenregal	26 789	50	1 339 473
Durchlaufregal Paletten	4 728	75	354 566
<b>Gesamt</b>			<b>1 694 039</b>

Abbildung 99: Berechnung der Investition für Regaltechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Anschließend wird die Investition für die Unstetigfördertechnik bestimmt. Hierzu werden die ausgewählte Technik je Bereich, die vorgegebenen Schichten je Bereich, die Durchsatzanforderungen und die modellierten Leistungen je Bereich verwendet. Die Kalkulation der Investition für Unstetigfördertechnik wird am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 in Abbildung 100 gezeigt:

Investition   Unstetigfördertechnik	Anzahl	Kosten/Element [€]	Investition [€]
Horizontalkommissionierer	68	15 000	1 020 000
Schubmaststapler	6	25 000	150 000
Regalbediengerät Palette	15	200 000	3 000 000
<b>Summe Unstetigfördertechnik</b>			<b>4 170 000</b>

Abbildung 100: Berechnung der Investition für Unstetigfördertechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Nach der Kalkulation der Investition für Unstetigfördertechnik wird gemäß Vorgehensmodell die Investition für die Stetigfördertechnik berechnet:

Investition   Stetigfördertechnik	Anzahl	Kosten/Gerät [€]	Investition [€]
Warenaufgabestation	2	25 000	50 000
QS Prüfung	2	13 500	27 000
Scanner	2	75 000	150 000
Umsetzer	120	12 000	1 440 000
Förderstrecke	480	3 000	1 440 000
Vertikalförderer	0	15 000	0
Warenabgabestation	2	15 000	30 000
<b>Summe Stetigfördertechnik</b>			<b>3 137 000</b>

Abbildung 101: Berechnung der Investition für Unstetigförderer am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Die Summe der Investitionen für die Lager- und Kommissioniertechnik ist in Abbildung 102 zu sehen.

Investition   Lager- und Kommissioniertechnik	Kürzel	Investition [€]
Regaltechnik	$I_{RTZ}$	1 694 039
Unstetigfördertechnik	$I_{UFT}$	4 170 000
Stetigfördertechnik	$I_{SFT}$	3 137 000
Sonstige Technik	$I_{ST}$	
<b>Gesamt</b>	$I_{LuK}$	<b>9 001 039</b>

Abbildung 102: Berechnung der Investition für Lager- und Kommissioniertechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Die Aufstellung der Investitionen je Bereich wird in Abbildung 103 beispielhaft für die TS-Grobkonzeptvariante 3 dargelegt:

Investitionsbereich	Kürzel	Investition [€]
Grundstück und Erschließung	$I_{GuE}$	
Gebäude	$I_{Geb}$	31 775 405
Brandschutz	$I_{BS}$	
Lager- und Kommissioniertechnik	$I_{LuK}$	9 001 039
Sonstiges	$I_{Son}$	
<b>Gesamt</b>	$I_{Ges}$	<b>40 776 443</b>

Abbildung 103: Investitionssumme für TS-Grobkonzeptvariante 3

Das letzte verbleibende Attribut, dessen Ausprägungen je Grobkonzeptvariante berechnet werden muss, sind die Betriebskosten. Wie im Vorgehensmodell beschrieben, werden zunächst die Kosten für die Abschreibung je Grobkonzeptvariante bestimmt. Da in der Konzeptplanung vorwiegend die Entscheidung für ein Grobkonzept als Grundlage für die Detailplanung im Vordergrund steht, müssen auch hier nicht sämtliche Kosten berücksichtigt werden. Wesentlich sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Konzepten. Analog zur Investition werden für die Abschreibung daher nur jene Positionen berücksichtigt, die sich zwischen den Grobkonzepten unterscheiden. Basierend auf den kalkulierten Investitionen und üblichen Abschreibungsdauern wird in Abbildung 104 die Berechnung der Abschreibung für die TS-Grobkonzeptvariante 3 beispielhaft gezeigt. Die Investitionen fallen voraussichtlich erst im Jahr 2021 an, somit wird der Abschreibungszeitraum auch ab diesem Jahr gestartet.

Jahr	Invest Gebäude [€]	Abschreibungszeitraum [Jahre]	Invest Lager- und Kommissioniertechnik [€]	Abschreibungszeitraum	Abschreibung/Jahr [€]
2019					
2020					
2021	31 775 405	25	9 001 039	10	2 396 146
...					2 396 146
2029					2 396 146
2030					2 396 146

Abbildung 104: Abschreibung für Gebäude sowie Lager- und Kommissioniertechnik über den Planungszeitraum am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Anschließend werden die Kosten für die Instandhaltung und Energie berechnet. Alle TS-Varianten weisen einen relativ niedrigen Automatisierungsgrad auf und es gibt in

diesem Sortimentsbereich keine gekühlten Flächen – aus diesem Grund unterscheiden sich diese beiden Positionen nur unwesentlich zwischen den einzelnen Varianten. Abbildung 105 zeigt eine grobe Kostenabschätzung für Instandhaltungs- und Energiekosten am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3. Hierfür werden Service- und Wartungspakete aus Referenzprojekten für Flurförderzeuge und Stapler, Palettenfördertechnik und Regalbediengeräte herangezogen sowie Referenzpreise für den Energieverbrauch in ungekühlten Lagerbereichen:

Jahr	Kosten für Instandhaltung [€]	Steigerung	Kosten für Energie [€]	Steigerung
2019				
2020				
2021	140 000	2,00%	220 000	2,00%
...	142 800	2,00%	224 400	2,00%
2029	164 032	2,00%	257 765	2,00%
2030	167 313	2,00%	262 920	2,00%

Abbildung 105: Entwicklung der Instandhaltungs- und Energiekosten über den Planungszeitraum für die TS-Grobkonzeptvariante 3

Als finaler Bestandteil der Betriebskosten werden entsprechend dem Vorgehensmodell die Personalkosten je Grobkonzeptvariante kalkuliert. Hierzu werden gemäß den Leistungsprofilen (siehe Abbildung 97) und den Tagesprofilen (siehe Abbildung 98) die Anzahl der benötigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Jahr 2019 (Planungsgrundlage) und das Jahr 2030 (Zielplanungsjahr) ermittelt. Dies ist beispielhaft anhand der TS-Grobkonzeptvariante 3 in Abbildung 107 dargestellt.

Lt. Planungsgrundlagen sind ca. 200 Netto-Arbeitstage pro Jahr verfügbar. Gemeinsam mit den Tagesprofilen und den Leistungskennzahlen je Bereich lassen sich die Vollzeitäquivalente (FTE), die zu bezahlen sind, berechnen. Nachdem die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter je Grobkonzeptvariante für die Jahre 2019 und 2030 berechnet wurden, werden sie in Lohngruppen, die in Abbildung 106 beispielhaft für die TS-Grobkonzeptvariante 3 aufgelistet sind, unterteilt.

Jahr	Lohnkosten Gruppe 1	Lohnkosten Gruppe 2	Lohnkosten Gruppe 3	Lohnkosten Gruppe 4	Steigerung LK 0
2019	18 000 €/MA	28 000 €/MA	61 000 €/MA		8%
2020	19 440 €/MA	30 240 €/MA	65 880 €/MA		8%
2021	20 995 €/MA	32 659 €/MA	71 150 €/MA		6%
...	22 255 €/MA	34 619 €/MA	75 419 €/MA		5%
2029	29 568 €/MA	45 994 €/MA	100 201 €/MA		4%
2030	30 750 €/MA	47 834 €/MA	104 209 €/MA		4%

Abbildung 106: Lohnklassen inkl. erwarteter Steigerung

Tagesprofil	Nachschub						Kommissionierung					
	Prozess- strang	Anzahl Tage	technische Lösung	Anzahl LT	Leistung	Σ MA pro Tag	Prozess- strang	Anzahl Tage	technische Lösung	Anzahl LT	Leistung	Σ MA pro Tag
<b>Spitzentag</b>												
						-						174
	PS_03	17	automat.	147	35	-	PS_03	17	manuell	1 953	82	3,0
	PS_02	26	automat.	1 176	41	-	PS_02	26	manuell	48 468	161	37,6
	PS_01	15	automat.	5 145	25	-	PS_01	17	manuell	173 775	189	114,9
	PS_08						15	manuell	31 710	218	18,2	
<b>Normaltag</b>												
						-						81
	PS_03	98	automat.	79	35	-	PS_03	98	manuell	1 050	82	1,6
	PS_02	82	automat.	642	41	-	PS_02	82	manuell	26 460	161	20,5
	PS_01	335	automat.	2 412	25	-	PS_01	283	manuell	76 013	189	50,3
	PS_08						335	manuell	14 866	218	8,5	
<b>Schwachtag</b>												
						-						32
	PS_03	186	automat.	45	35	-	PS_03	186	manuell	593	82	0,9
	PS_02	88	automat.	320	41	-	PS_02	88	manuell	13 194	161	10,2
	PS_01	-	automat.	-	25	-	PS_01	50	manuell	30 167	189	20,0
	PS_08						-	manuell	-	218	-	
<b>gewichteter Durchschnitt</b>				Σ WE PAL		Σ WE MA				Σ WE PAL		Σ WE MA
<b>161</b>						-						122
<b>Netto-Arbeitstage</b>	PS_03	<b>301</b>	automat.	18 541		-	PS_03	<b>301</b>	manuell	246 334		<b>1,90</b>
<b>200</b>	PS_02	<b>196</b>	automat.	111 392		-	PS_02	<b>196</b>	manuell	4 590 931		<b>17,80</b>
	PS_01	<b>350</b>	automat.	885 195		-	PS_01	<b>350</b>	manuell	25 974 204		<b>85,90</b>
	PS_08						<b>350</b>	manuell	5 455 692		<b>15,60</b>	

Abbildung 107: Berechnung des Personalbedarfs im Zielplanungsjahr für die Bereiche Nachschub und Kommissionierung am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3

Basierend auf der Verteilung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf die einzelnen Lohngruppen pro Jahr ergibt sich ein Mischkostensatz pro Person pro Jahr:

Jahr	LG1	LG2	LG3	LG4	Summe	Gewichtete Summe [€]
2019	76	17	4		97 MA	2 088 000
2020	83	17	4		104 MA	2 391 120
2021	90	17	4		111 MA	2 729 376
...	97	17	4		118 MA	3 048 923
2029	146	17	4		167 MA	5 499 563
2030	140	17	4		161 MA	5 535 044

Abbildung 108: Zuteilung der kalkulierten Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu den einzelnen Lohnklassen zur Bildung der gewichteten Summe am Beispiel des TS-Grobkonzeptes 3

Nun kann die Summe der Betriebskosten pro Jahr berechnet werden. Als Ausprägung des Zielplanungsattributes Betriebskosten wird der Mittelwert zwischen den Jahren 2021 (voraussichtliche Inbetriebnahme) und 2035 (Zielplanungsjahr) herangezogen. In Abbildung 109 wird die Berechnung der mittleren Betriebskosten am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 beispielhaft veranschaulicht:

Jahr	Abschreibung [€]	Kosten für Energie [€]	Kosten für Instandhaltung [€]	Personalkosten [€]	Summe der Betriebskosten/Jahr [€]
2019	0	0	0	2 088 000	2 088 000
2020	0	0	0	2 391 120	2 391 120
2021	2 171 120	220 000	140 000	2 729 376	5 260 496
...	2 171 120	224 400	142 800	3 048 923	5 587 243
2029	2 171 120	257 765	164 032	5 499 563	8 092 480
2030	2 171 120	262 920	167 313	5 535 044	8 136 397
<b>MW</b>					<b>6 762 203</b>

Abbildung 109: Mittlere Betriebskosten über den Planungshorizont für die TS-Grobkonzeptvariante 3

Nachdem sämtliche Ausprägungen der Zielattribute bestimmt wurden, müssen die jeweiligen Einzelwerte (EW) festgelegt werden. Diese werden durch die lineare Interpolation zwischen höchstem und niedrigstem Präferenzwert gebildet:

Attribut	Ausprägung	EW	Ausprägung	EW
Investitionssumme [€]	35 000 000	5	41 000 000	1
Betriebskosten [€]	6 400 000	5	7 000 000	1
Flächenbedarf [m²]	30 000	5	36 000	1
Lagerkapazität [Anzahl Stellplätze]	38 672	5	32 227	1

Abbildung 110: Ausprägungsgrenzen für die Zielplanungsattribute mit Zuweisung des jeweiligen Präferenzwertes

		$\omega$	TS-Grobkonzeptvariante 1			TS-Grobkonzeptvariante 2			TS-Grobkonzeptvariante 3		
			Ausprägung	EFW	WF	Ausprägung	EFW	WF	Ausprägung	EFW	WF
1.	Investitionssumme [€]	16,7%	36 545 443	3,97	0,66	36 114 571	4,26	0,71	40 776 443	1,15	0,19
2.	Betriebskosten [€]	16,7%	6 707 131	2,95	0,49	6 638 539	3,41	0,57	6 762 203	2,59	0,43
3.	Flächenbedarf [m <sup>2</sup> ]	4,8%	31 699	3,87	0,64	31 234	4,18	0,70	30 262	4,83	0,80
4.	Flexibilität	0,0%	hoch	4	0,67	hoch	4	0,67	mittel	3	0,50
5.	Lagerkapazität [Stellplätze]	26,2%	36 757	3,81	0,64	35 837	3,24	0,54	35 837	3,24	0,54
6.	Durchsatzleistung [Picks/Tag]	26,2%			0,00			0,00			0,00
7.	Ausfallsicherheit	9,5%	sehr hoch	5	0,83	sehr hoch	5	0,83	mittel	3	0,50
			Rang 2		3,93	Rang 1		4,01	Rang 3		2,97

Abbildung 111: Gemäß der multiattributiven Zielwertefunktion zu präferierende Grobkonzeptvariante

Die Interpolation zwischen den Ausprägungsgrenzen liefert die Einzelwertfunktionen (EWF) in Abhängigkeit der Ausprägung je Attribut und Lösungsalternative. Aus dem Produkt der Einzelwertfunktionen und der jeweiligen Gewichtung aus der Präferenzanalyse werden die Wertefunktionen (WF) je Attribut und Alternative bestimmt. Die Zielwertfunktion je Grobkonzeptvariante wird aus der Summe dieser Wertefunktionen errechnet. Die Auswahl der zu präferierenden Alternativen ergibt sich gemäß den Zielwerten in Abbildung 111.

Gemäß der multiattributiven Zielwertfunktion ist die zu präferierende Lösungsalternative das TS-Grobkonzept 2. Insbesondere die Flächeneinsparung durch die doppelte Lagerung und die Durchlaufregale im Bereich Trockensortiment Food und Frischdienst Produce 3, die durch die Trennung von Nachschub- und Kommissioniergassen möglich wird, ist ein wesentlicher Vorteil dieser Variante gegenüber TS 1. Die höher automatisierte Version TS 3 rechnet sich aufgrund der im Osten Europas im Verhältnis zu Westeuropa niedrigen Personalkosten in diesem Beispiel nicht.

## 6.7 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 6 wird das in Kapitel 5 entwickelte Artefakt in Form eines Vorgehensmodells auf ein praktisches Fallbeispiel angewandt. Dies dient gemäß dem methodischen Rahmenwerk des Design-Science-Ansatzes der Demonstration und der Evaluierung des Artefaktes. Das Fallbeispiel demonstriert, dass das optimale Lager- und Kommissioniersystem von zahlreichen Parametern, wie etwa von der individuellen Auftragsstruktur, den vorhandenen Restriktionen, der spezifischen Zielsetzung und Gewichtung, den Wachstumskennzahlen und den regionalen Einflussparametern (z. B. Personalkosten des Landes) abhängt. Ohne Vorgehensmodells sind die komplexen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern nicht abschätzbar und die entsprechende Vorzugsvariante kann nicht eindeutig identifiziert werden.

Im Zuge dieses Fallbeispiels wurde mit erfahrenen Planern auf Seite des Auftraggebers (Lebensmittelgroßhändler) sowie Techniklieferanten und Generalplanern zusammengearbeitet. Die in dieser Arbeit beschriebene Vorgehensweise sowie die im Fallbeispiel beschriebenen Ergebnisse wurden vielfach geprüft und verifiziert. Das Ergebnis in Form eines Grobkonzeptes wurde in eine Detailplanungsphase überführt und soll in weiterer Folge umgesetzt werden.

## 7 Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel von Kapitel 7 ist die kritische Betrachtung der Forschungsergebnisse der vorliegenden Arbeit. Hierzu wird zunächst die in Kapitel 1 formulierte allgemeine Zielsetzung diskutiert. Anschließend werden die in Kapitel 4 formulierten Forschungsfragen beantwortet und die Forschungshypothese sowie die gestellten Anforderungen an das Vorgehensmodell werden diskutiert. Zum Abschluss werden die Kernaussagen dieses Kapitels zusammengefasst dargestellt.

### 7.1 Diskussion der allgemeinen Zielsetzung

In Kapitel 1 wird folgende allgemeine Zielsetzung für die vorliegende Arbeit definiert: Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unter Berücksichtigung aller individuellen Zielerfordernungen und in stark reduzierter Durchlaufzeit. Im Zuge der Kapitel 7.3 und 7.4 wird das Vorgehensmodell unter anderem bzgl. der Berücksichtigung individueller Zielerfordernungen sowie der Durchlaufzeit untersucht. Aufbauend darauf wird die Erreichung der allgemeinen Zielsetzung in Kapitel 7.5 diskutiert. Nachfolgend wird die Erfüllung der zugehörigen, praxisrelevanten Sub-Ziele dieser Arbeit untersucht:

- Sicherstellung der Leistungsfähigkeit von Lager- und Kommissioniersystemen im schnelllebigen Umfeld des Lebensmittelgroßhandels und Reduktion nicht zeitgerecht abgeschlossener Kundenaufträge auf unter 2 %

Grund für das Verfehlen einer zeitgerechten Abwicklung von Kundenaufträgen in den meisten Fällen die Minderleistung der Kommissionierbereiche an gewissen Lagerstandorten. Standorte mit ausreichender Kommissionierleistung, um auch saisonale Spitzen abdecken zu können, weisen einen Anteil an nicht zeitgerecht abgeschlossenen Kundenaufträgen von unter 2 % auf (F. Zagler, Fa. SPAR Österreichische Warenhandels-AG, persönliche Korrespondenz, Ebergassing, 23.04.2020). Die Auslegung der Kommissionierbereiche, im Zuge des in dieser Arbeit entwickelten Vorgehensmodells, basiert auf detaillierten Datenauswertungen von zumindest einem gesamten Geschäftsjahr. Durch die Wahl der passenden Durchsatzanforderungen je Kommissionierbereich, kann der Anteil nicht zeitgerecht abgeschlossener Aufträge auf unter 2 % reduziert werden.

- Senkung operativer Lager- und Kommissionierkosten um bis zu 20 % gegenüber bestehenden Systemen

Im Zuge des Fallbeispiels wurde das ursprünglich eingesetzte Konzept auf das Zielplanungsjahr hochskaliert, um die Ergebnisse vergleichen zu können. Die

Ergebnisse dieser Hochrechnung können in der vorliegenden Arbeit nicht im Detail abgebildet werden. Die Gegenüberstellung dieser hochgerechneten Ist-Variante mit dem in Abbildung 111 identifizierten Vorzugsvariante ergab eine Reduktion der Betriebskosten von über 20 %.

- Verbesserung von Flächen- bzw. Raumnutzungsgraden innerhalb der Lagersysteme um bis zu 10 % gegenüber bestehenden Systemen

Die Umstellung der Blocklagerung auf den Einsatz von Palettenregalen im Zuge des Fallbeispiels bewirkt eine Verbesserung des Raumnutzungsgrades von über 15 %. Bei der Neuplanung von Lager- und Kommissioniersystemen ist eine Verbesserung des Flächennutzungsgrades meistens umsetzbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Hallen nicht optimal auf das jeweilige Lager- und Kommissioniersystem abgestimmt ist. Im Idealfall sollte das Gebäude an das Lager- und Kommissioniersystem angepasst werden und nicht umgekehrt (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).

- Absicherung von Investitionsentscheidungen über den Abschreibungszeitraum von mindestens zehn Jahren (Lager- und Kommissioniertechnik) und bis zu 25 Jahren (Gebäude)

Das Werkzeug zur Kalkulation von Investitionen und Betriebskosten, welches in Schritt 6 des Vorgehensmodells zum Einsatz kommt, erlaubt die Betrachtung von über 25 Jahren. In diesem Zeitraum können Abschreibungen, Reinvestitionen und die Änderung der Betriebskosten (z. B. durch Änderungen des Lohnniveaus) berücksichtigt werden. Auf diese Weise wird weder das wirtschaftliche Optimum für das Zielplanungsjahr noch für das Jahr der Inbetriebnahme bestimmt. Stattdessen wird das für den gesamten Betrachtungszeitraum am besten geeignete Lager- und Kommissioniersystem bestimmt. Unter Berücksichtigung dieser Parameter, kann die Investitionsentscheidung über den entsprechenden Betrachtungszeitraum bestmöglich abgesichert werden.

## 7.2 Diskussion der forschungsleitenden Fragen

In Kapitel 4 werden aus der zuvor formulierten spezifischen Zielsetzung drei forschungsleitende Fragen abgeleitet, die in diesem Abschnitt beantwortet werden.

1. In welcher Reihenfolge müssen die fünf Sub-Planungsprobleme der Lagerkonzeptplanung gelöst werden und welche Interdependenzen sind zu beachten?

Die fünf Sub-Planungsprobleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen werden nach Gu et al. (2010) wie folgt gegliedert:

- Festlegen der Gesamtstruktur
- Dimensionierung des Lagers und der Funktionsbereiche
- Bestimmung des Layouts je Funktionsbereich
- Auswahl von Lager- und Kommissioniertechnik
- Auswahl von Lager- und Kommissionierstrategien

Gemäß dem in dieser Arbeit vorgestellten Modell ist das erste Sub-Planungsproblem, das adressiert wird, die Vorauswahl der Lager- und Kommissioniertechnik. In Schritt 4 des Vorgehensmodells werden basierend auf den Planungsgrundlagen, die in den Schritten 1 bis 3 erarbeitet werden, potenziell geeignete Ladungsträger identifiziert. Diese Eingrenzung der Ladungsträger dient unmittelbar der Eingrenzung von potenziell geeigneten Kommissionierverfahren, die einen Teil des Sub-Planungsproblems Auswahl von Lager- und Kommissionierstrategien beinhalten. Ausgehend davon werden die technischen Gestaltungsmöglichkeiten von Regal-, Förder- und Sortiertechnik weiter eingegrenzt. Die finale Festlegung von Technik und Strategie kann erst in Schritt 6 des Modells erfolgen, nachdem die Ausprägungen der Zielplanungsattribute je Lösungsalternative bestimmt wurden.

In Schritt 5 des Vorgehensmodells werden die Planungsprobleme Dimensionierung des Lagers- und der Funktionsbereiche und Bestimmung des Layouts je Funktionsbereich mithilfe des Dimensionierungswerkzeuges adressiert. In iterativen Schritten kann anhand der Eingabeparameter jeder Funktionsbereich so ausgelegt werden, dass die in Schritt 3 festgelegten Bestands- und Durchsatzanforderungen erfüllt werden und der Flächenbedarf gleichzeitig möglichst gering bleibt. Neben der benötigten Fläche je Bereich (Sub-Planungsproblem Dimensionierung des Lagers und der Funktionsbereiche) werden auch die Anzahl der Gassen, der Verkehrswege, der Ebenen und die erforderliche Länge und Breite des jeweiligen Funktionsbereichs kalkuliert (Sub-Planungsproblem Bestimmung des Layouts je Funktionsbereiche). Ebenfalls in Schritt 5 wird anschließend das Sub-Planungsproblem Festlegen der Gesamtstruktur des Lagers adressiert. Beginnend mit der Anordnung von Warenein- und -ausgang werden die Flächen gemäß den Materialflussbeziehungen zu einer optimalen Gesamtstruktur angeordnet.

Die einzelnen Sub-Planungsprobleme beeinflussen sich gegenseitig sehr stark. Die Auswahl der Lagertechnik hat einen großen Einfluss auf die Auswahl der Betriebsstrategien und umgekehrt. Das Kommissionierverfahren Ware-zu-Person bedingt beispielsweise die zugehörige Techniklösung (z. B. Tablar-Lager mit entsprechenden Fördergeräten). Betriebsstrategien und Technik haben wiederum einen sehr großen Einfluss auf die beiden Sub-Planungsprobleme Dimensionierung des Lagers- und der Funktionsbereiche sowie Bestimmung des Layouts je Funktionsbereich – ein Hochregallager hat beispielsweise einen wesentlich geringeren Grundflächenbedarf als ein Bodenblocklager. Beim Hochregallager muss jedoch im

Zuge der Layoutierung speziell auf die Leistungsanforderungen geachtet werden (Anzahl der erforderlichen Regalbediengeräte in Abhängigkeit der Dimensionen des Lagers). Die Anordnung der Gassen (Sub-Planungsproblem Bestimmung des Layouts je Funktionsbereiche) beeinflusst wiederum stark den Flächenbedarf des jeweiligen Funktionsbereichs. Alle bereits erwähnten Sub-Planungsprobleme beeinflussen massiv das Festlegen der Gesamtstruktur. Beispielsweise wirkt sich das Layout der einzelnen Funktionsbereiche massiv auf die optimale Anordnung der Flächen aus.

Die Lösung der Sub-Planungsprobleme Auswahl von Lager- und Kommissioniertechnik sowie Auswahl von Lager- und Kommissionierstrategien kann erst in Schritt 6 erfolgen, da die anderen drei in Schritt 5 adressierten Sub-Planungsprobleme die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Techniklösungen und Betriebsstrategien stark beeinflussen. Abhängig von den entsprechenden Grundstückspreisen und Baukosten kann die entsprechende Technik trotz höherer Investitionen für Lager- und Kommissioniertechnik durch die Einsparung an Grundfläche somit wirtschaftlich attraktiv sein. Die optimale Betriebsstrategie ist stark von den Personalkosten abhängig, die neben den Lohnkostensätzen auch von der Größe und Anordnung des Lagers abhängen. Aufgrund dieser Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sub-Planungsproblemen wurde ein iterativer Lösungsansatz gewählt, im Rahmen dessen die finale Auswahl der Technik- und Betriebsstrategien erst erfolgen kann, wenn die anderen drei Sub-Planungsprobleme für die einzelnen Grobkonzeptvarianten gelöst wurden.

Abbildung 112 stellt die Wechselwirkungen zwischen den Sub-Planungsproblemen sowie deren Zuordnung zu den einzelnen Planungsschritten schematisch dar:

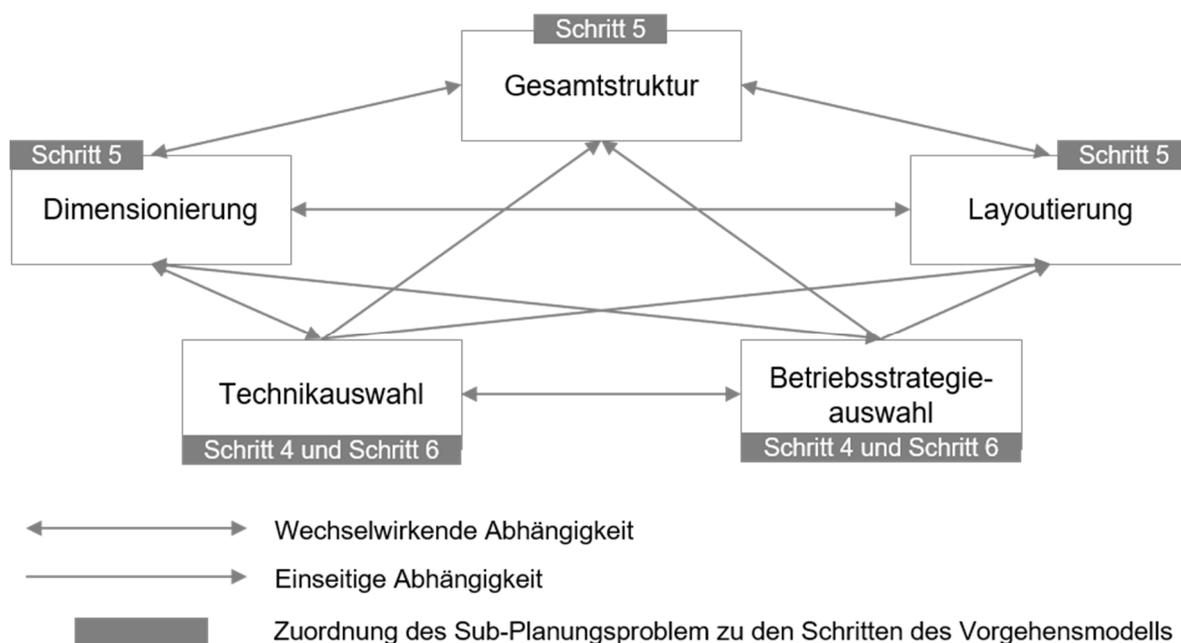


Abbildung 112: Interdependenzen zwischen den fünf Sub-Planungsproblemen, die beim Vorgehensmodell berücksichtigt werden

## 2. Welche praxistauglichen Methoden eignen sich zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte?

Aufgrund der häufig sehr kurzen Planungsdauer für die Konzepte von Lager- und Kommissioniersystemen sind praxistaugliche Werkzeuge, wie in Kapitel 3 und 4 dieser Arbeit näher erläutert, wesentlich für ein relevantes Vorgehensmodell. Folgende praxistaugliche Werkzeuge haben sich im Zuge des Fallbeispiels als essenziell für die rasche und valide Planung erwiesen:

- Werkzeug zur Datenintegration
- Werkzeug zur Dimensionierung der Funktionsbereiche
- Werkzeug zur Kalkulation manueller Arbeitsleistungen
- Werkzeug zur Kalkulation von Investitionen und Betriebskosten
- Werkzeug zur Variantenauswahl

Planungsprojekte, die auf operativen Daten basieren, benötigen viel Zeit für die Aufbereitung der Rohdaten. Um diesen Anteil der Durchlaufzeit möglichst gering zu halten, wird in Schritt 3 des Vorgehensmodells ein standardisiertes Werkzeug zur Integration der Planungsdaten vorgestellt. Dieses kann individuell an die jeweilige Datenstruktur angepasst werden, liefert vorgefertigte Fehlerprotokolle und stellt die Datensätze in einem Datenpool mit standardisierten Feldbezeichnungen zur Verfügung.

Die in Schritt 4 beschriebene Vorauswahl der Lager- und Kommissioniertechnik sowie der zugehörigen Betriebsstrategien führt zu einer hohen Zahl unterschiedlicher Grobkonzeptvarianten. Da jeder Funktionsbereich für jede dieser Grobkonzeptvarianten anhand individueller Parameter dimensioniert werden muss, ist es wichtig, hierfür eine schnelle und valide Möglichkeit zur Verfügung zu haben. Das im Zuge von Schritt 5 vorgestellte Werkzeug zur Flächendimensionierung bietet für sämtliche in Schritt 2 eingegrenzten Techniklösungen diese Möglichkeit. Selbst eine hohe Anzahl unterschiedlicher Varianten kann damit mit geringem Zeitaufwand entsprechend dimensioniert werden.

Bei manuellen Tätigkeiten hängt die Arbeitsleistung (insbesondere Kommissionierleistung) sehr stark vom Layout des jeweiligen Funktionsbereiches ab. Bei der klassischen Kommissionierung entfällt beispielsweise ein Großteil der Kommissionierzeit auf den Fahrweg. Da sich bei der Neuplanung eines Lager- und Kommissioniersystems speziell die Dimensionen und die Anordnung der jeweiligen Funktionsbereiche ändern, sind Referenzleistungen aus dem bestehenden Betrieb nicht aussagekräftig. In Schritt 6 wird daher ein Werkzeug zur raschen Abschätzung manueller Leistungskennzahlen unter Berücksichtigung des neuen Layouts vorgestellt. Die Modellierung mittels des zu Grunde liegende Methods Time Measurement (MTM) und des darauf aufbauenden Universellen Analysier Systems

(UAS) ist zeitaufwendig und würde bei zahlreichen Grobkonzeptvarianten den zeitlichen Rahmen der Konzeptplanungsphase sprengen. Das Werkzeug wird daher über einfache Parameter in einer Eingabemaske gesteuert und generiert auf Basis bereits vorgefertigter Modellierung Prozesszeiten und Leistungskennzahlen.

Die Kalkulation der Investitionen ist an das Werkzeug zur Dimensionierung der Funktionsbereiche gekoppelt. Die Flächenbedarfe je Funktionsbereich sowie die Anzahl an Stellplätzen je Regaltechnik werden automatisch übernommen. Durch die Eingabe der entsprechenden Kostensätze wie beispielsweise der Baukosten pro m<sup>2</sup> wird die Investition für die jeweilige Grobkonzeptvariante rasch berechnet. Das Werkzeug zur Kalkulation der Betriebskosten ist an das Werkzeug zur Kalkulation der Investitionen gekoppelt, somit kann die Abschreibung durch die Angabe des Abschreibungszeitraums automatisch berechnet werden. Die Personalkosten werden durch die Kombination von Tagesprofilen aus den Datenauswertungen und den Ergebnissen aus dem Werkzeug zur Kalkulation manueller Arbeitsleistungen ebenfalls automatisch für den entsprechenden Planungszeitraum kalkuliert.

Die Wahl eines optimalen Lager- und Kommissionierkonzeptes ist im Normalfall nicht von einer einzigen Zielsetzung abhängig. Zur Berücksichtigung einer Vielzahl unterschiedlicher Zielsetzungen, die häufig auch gegensätzlich sein können, wird in ein Werkzeug zur Variantenauswahl vorgestellt. Neben der raschen Bewertung der Varianten steht bei diesem Werkzeug insbesondere die Transparenz des Entscheidungsprozesses im Vordergrund. Hierzu werden die beiden Methoden einer Präferenzanalyse und einer Nutzwertanalyse zur Bildung einer multiattributiven Zielwertefunktion herangezogen. Die Definition der jeweiligen Parameter erfolgt bereits in Schritt 1, um eine subjektive Wahl der Parameter zu vermeiden. Die Zielwerte zur Lösung des Entscheidungsproblems werden allerdings erst in Schritt 6, in dem sämtliche Ausprägungen der in Schritt 1 eingegrenzten Ausprägungen der Zielattribute für sämtliche Grobkonzeptvarianten bereits feststehen, bestimmt.

### 3. In welcher Form müssen lebensmittelspezifische Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung berücksichtigt werden?

Folgende lebensmittelspezifischen Anforderungen haben sich im Zuge dieser Arbeit als relevant für die konzeptionelle Planung des zugehörigen Lager- und Kommissioniersystems herausgestellt:

- Mindesthaltbarkeitsdatum
- Kühlketten
- Kreuzverderblichkeit

Insbesondere im Frischdienstsortiment haben die gelagerten Produkte teilweise sehr kurze Mindesthaltbarkeitsdaten, da es sich um hoch verderbliche Produktgruppen

handelt. Dies stellt die zugehörigen Lager- und Kommissioniersysteme vor große Herausforderungen und erfordert die strenge Einhaltung des FIFO Prinzips. Diese Restriktion macht gewisse Lager- und Kommissioniertechniken (z. B. Einschubregale) ungeeignet für den Lebensmittelgroßhandel.

Eine weitere Besonderheit bei der Lagerung und Kommissionierung von Lebensmitteln in Zusammenhang mit der Verderblichkeit ist die strenge Einhaltung von Kühlketten. Die Unterbrechung dieser führt schnell zu starkem Qualitätsabfall der Ware bis hin zum Verderben dieser. Die hohe Empfindlichkeit des Frischdienstsortiments bezüglich auch nur geringer Temperaturschwankungen führt zu einer großen Anzahl unterschiedlicher Temperaturbereiche, häufig mit nur wenigen Grad Celsius Unterschied. Bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen muss daher die Kühlkette vom Wareneingang über die Lagerfläche und die Kommissionierfläche bis hin zum Warenausgang berücksichtigt werden. Beispielsweise sollte Stetigfördertechnik für Frischware, die auch nur einige Meter durch andere Temperaturzonen verläuft, eingehaust und gekühlt werden, um bei einem Defekt der Fördertechnik einen Qualitätsverfall der Ware zu verhindern.

Die dritte produktspezifische Eigenschaft, die bereits bei der konzeptionellen Planung des entsprechenden Lager- und Kommissioniersystems zu berücksichtigen ist, ist die sogenannte Kreuzverderblichkeit. Die Ausscheidung des Reifegases Ethylen bei Obst und Gemüse sowie die Bildung spezieller Bakterienstämme bei Fleischerzeugnissen können auch bei Einhaltung der entsprechenden Kühlkette zu einem rapiden Abfall der Qualität von angrenzend gelagerten Produkten führen. Aufgrund von Qualitäts- und Hygienevorschriften werden daher trotz teilweise derselben Temperaturzone pflanzliche und tierische Erzeugnisse getrennt voneinander gelagert und an die Filialen – in denen tierische und pflanzliche Produkte ebenfalls getrennt präsentiert werden – ausgeliefert. Die aus der reinen Einhaltung der Kühlketten erwachsende Anzahl unterschiedlicher Funktionsbereiche (vor allem Lager- und Kommissionierbereiche) erhöht sich aufgrund dieser Qualitäts- und Hygienevorschriften.

Insbesondere im Lebensmittelhandel unterliegt das Sortiment großen saisonalen Schwankungen, die innerhalb der unterschiedlichen Produktgruppen jedoch häufig gegenläufig verlaufen (z. B. Speiseeis im Sommer, Weihnachtsware im Winter). Aufgrund der unterschiedlichen Lagertemperaturen und der Kreuzverderblichkeit können die einzelnen Bereiche Spitzen anderer Bereiche nicht abdecken (z. B. ist die Abdeckung der Spitze bei Speiseeis durch die Nutzung freier Flächen wegen des Wegfalls von Weihnachtsware in einem ungekühlten Bereich nicht möglich). Es ist somit bereits im Zuge der Konzeptplanung äußerst wichtig, die Anzahl der benötigten Lagerbereiche zu kennen und die entsprechenden Auslegungswerte (Bestands- und Durchsatzanforderungen) zu bestimmen.

### 7.3 Diskussion der Forschungshypothese

Aus den forschungsleitenden Fragen wird in Kapitel 4 folgende Forschungshypothese abgeleitet:

Die losgelöste Betrachtung der fünf Sub-Planungsprobleme und die Vernachlässigung lebensmittelspezifischer Anforderungen bei der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel führt zu wirtschaftlich und leistungstechnisch ungeeigneten Lösungssystemen.

Abbildung 112 stellt die starken Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sub-Planungsproblemen graphisch dar. Eine losgelöste Betrachtung und ein rein chronologischer Ansatz wird diesen Wechselwirkungen nicht gerecht. Dies resultiert in einer nicht optimal geeigneten Lagertechnik und Betriebsstrategie (weil beispielsweise der Flächenbedarf erst nachfolgend berechnet wird) bzw. in einer falschen Layoutierung der Funktionsbereiche. Dadurch kommt es zu einer Unter- bzw. Überdimensionierung von Flächen sowie der Lager- und Kommissioniertechnik. Das gewählte Lagersystem kann bei einer Unterdimensionierung die geforderten Leistungen nicht erfüllen bzw. die benötigten Bestände nicht bevorraten, wodurch Kundenaufträge nicht erfüllt werden können. Zudem können daraus Nachteile beim Einkauf der Handelsware (z. B. keine Nutzung von Mengenrabatten) entstehen. Eine Überdimensionierung führt hingegen zu unnötig hohen Kapitalbindungskosten aufgrund zu hoher Investitionen sowie erhöhten Betriebskosten (z. B. wegen unnötiger Fahrwege).

Die Vernachlässigung der lebensmittelspezifischen Anforderungen bei der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen resultiert in unterdimensionierten Funktionsbereichen. Da unterschiedliche Temperaturzonen sowie hygiene- und qualitätstechnische Anforderungen den Ausgleich saisonaler Spitzen getrennt zu lagernder Sortimentsbereiche verunmöglichen, kommt es zu einem punktuellen Mangel an Stellplätzen sowie Durchsatzleistungen. Das Resultat eines falsch dimensionierten Lager- und Kommissioniersystem wäre die Nutzung von – aus qualitäts- und hygienetechnischer Sicht – ungeeigneten Lager- und Kommissionierflächen. Sowohl die Unfähigkeit zur Abdeckung von Spitzen als auch die Auslieferung von Ware verminderter Qualität führt insbesondere im Lebensmittelgroßhandel zu unmittelbaren (Umsatzverlust) und langfristigen (Kundenabgang) wirtschaftlichen Nachteilen für das Unternehmen.

## 7.4 Diskussion der Anforderungen an das Vorgehensmodell

Um der Problemstellung gerecht zu werden, werden in Kapitel 4 spezifische Anforderungen an das entwickelte Vorgehensmodell formuliert. Die Ergebnisse der Arbeit werden nachfolgend hinsichtlich dieser sechs Anforderungen diskutiert:

- *Anforderung 1* | Rasche Konzeptplanung: Im industriellen Umfeld besteht wenig Zeit für ausreichend lange Planungsphasen. Zeiträume von nur zwei Wochen von Projektstart bis zur Entscheidung für ein Grobkonzept sind keine Seltenheit. Das komplette Vorgehensmodell muss innerhalb dieser Zeitspanne durchlaufen werden können.

Die in Kapitel 5 vorgestellten praxistauglichen Werkzeuge dienen insbesondere der Ermöglichung eines schnellen Durchlaufes des Vorgehensmodells. Das Werkzeug zur Datenintegration erspart die Aufbereitung der Daten, die inkl. Iterationsschleifen mindesten zwei Wochen in Anspruch nimmt. Das Werkzeug zur Flächendimensionierung sowie die Kalkulation manueller Arbeitsleistungen ersparen – speziell bei zahlreichen Grobkonzeptvarianten – mindestens je eine weitere Woche. Die Durchlaufzeit kann gegenüber bestehenden Modellen somit um mehrere Wochen reduziert werden.

- *Anforderung 2* | Iterative Betrachtung der fünf Planungsprobleme: Die einzelnen Sub-Probleme bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen sind stark interdependent. Die Betrachtung von isolierten und unabhängigen Problemstellungen entspricht nicht der Praxis (vgl. Kapitel 4.1). Um eine adäquate Lösung für das Gesamtsystem zu ermöglichen, ist daher die iterative Betrachtung der fünf Sub-Planungsprobleme erforderlich.

Abbildung 112 stellt die Interdependenzen der einzelnen Sub-Planungsprobleme dar. Bei Beantwortung der zweiten Forschungsfrage (siehe Kapitel 7.2) wird detailliert auf die Zuordnung der Sub-Planungsprobleme zu den einzelnen Planungsschritten sowie auf die notwendigen Iterationsschleifen eingegangen. Diese sind notwendig, um die Teilergebnisse eines Planungsproblems in die Lösungsfindung eines weiteren einfließen zu lassen und umgekehrt.

- *Anforderung 3* | Berücksichtigung weiterer Kommissionierverfahren: Die Entwicklung moderner Lager- und Kommissioniersysteme tendiert stark in Richtung automatisierter Lösungen. Diese Tendenz lässt sich vor allem in Europa aufgrund steigender Grundstückspreise und Personalkosten erkennen. Dieser Trend ist bei der Technikauswahl zu berücksichtigen.

In Schritt 4 werden basierend auf den erarbeiteten Planungsgrundlagen die potenziell geeigneten Kommissionierverfahren vorausgewählt. Neben der konventionellen Kommissionierung mit statischer Artikelbereitstellung werden auch das dezentrale Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung und das stationäre Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung berücksichtigt. Im Zuge der Technikauswahl und der Dimensionierung der Funktionsbereiche werden sämtliche Elemente zur Auslegung von Kommissioniersystemen nach den drei genannten Kommissionierverfahren berücksichtigt.

- *Anforderung 4* | Implementierung praxistauglicher Werkzeuge: Die Wissenschaft hat es verabsäumt, praxistaugliche Werkzeuge für die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen zu entwickeln (vgl. Kapitel 4.1). Um die Planung von Lager- und Kommissioniersystemen in der Praxis beeinflussen zu können, ist es notwendig, praxistaugliche und -erprobte Werkzeuge in die einzelnen Planungsphasen einzubetten.

In Kapitel 7.2 wird im Rahmen der Beantwortung der dritten Forschungsfrage detailliert auf die im Vorgehensmodell vorgestellten praxistauglichen Werkzeuge eingegangen. Diese sind unmittelbar in die Schritte des Modells integriert. Diese Werkzeuge werden im Fallbeispiel anhand von Daten und Vorgaben aus der Praxis getestet.

- *Anforderung 5* | Verarbeitung großer Datenmengen: Die Planung von Lagersystemen ist stark von der Qualität der zu Grunde liegenden Daten abhängig. Logistiksysteme generieren immer größere Mengen an Daten, die zur Planung herangezogen werden können. Das Vorgehensmodell muss daher große Datenmengen verarbeiten und die Qualität dieser Daten validieren können.

Bei der Entwicklung des Werkzeuges zur Datenintegration wurde speziell darauf geachtet, dass die Verarbeitung größerer Datenmengen möglich ist. Es wird daher bewusst auf die Java-basierte Softwarelösung Pentaho Data Integration gesetzt, die bzgl. des Datenvolumens nicht begrenzt ist. Herkömmliche Tabellenkalkulationstools sind für die Datenaufbereitung bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel ungeeignet, da diese hinsichtlich der Größe der zu verarbeitenden Daten stark limitiert sind.

- *Anforderung 6* | Berücksichtigung lebensmittelspezifischer Anforderungen: Mindesthaltbarkeitsdatum, einzuhaltende Kühlketten und Kreuzverderblichkeit von Lebensmitteln stellen die Logistik von Lebensmittelgroßhändlern vor zusätzliche Herausforderungen (vgl. Kapitel 3.6). Diese Anforderungen sind bei der Planung zu berücksichtigen.

In Kapitel 7.2 wird im Rahmen der Beantwortung der ersten Forschungsfrage detailliert auf die einzelnen lebensmittelspezifischen Anforderungen und deren Auswirkungen auf das zugehörige Lager- und Kommissioniersystem eingegangen. Ein großer Teil von Schritt 2 im Vorgehensmodell ist daher der Bildung von Lebensmittelprozesssträngen und der Überführung in ein schematisches Materialflussbild gewidmet. Es werden konkrete Tabellen zur Einteilung des Sortiments gemäß den optimalen Lagertemperaturen sowie der Kreuzverderblichkeit vorgestellt. Das aufgrund des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD) geforderte strenge First-in-First-out (FIFO) Prinzip wird bei der Einschränkung der geeigneten Lagertechnik in Kapitel 2 dieser Arbeit und in Schritt 4 des Vorgehensmodells berücksichtigt.

## 7.5 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit kritisch betrachtet. Die Ergebnisse lassen sich zusammenfassend wie folgt darstellen:

- Die allgemeine Zielsetzung der Arbeit lautet:  
*Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen unter Berücksichtigung aller individuellen Zielerfordernisse und in stark reduzierter Durchlaufzeit.*  
Die Durchlaufzeit des Vorgehensmodells konnte gegenüber anderen Planungsmodellen aufgrund der Integration spezifischer praxistauglicher Werkzeuge reduziert werden. Spezifische Anforderungen bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen können durch die Kombination einer Präferenz- und einer Nutzwertanalyse individuell berücksichtigt werden. Die allgemeine Zielsetzung dieser Arbeit konnte somit erreicht werden. Die praxisrelevanten Sub-Planungsziele wurden gemäß Kapitel 7.1 erfüllt.
- Die drei forschungsleitenden Fragen der Arbeit konnten wie folgt beantwortet werden:
  1. *In welcher Reihenfolge müssen die fünf Sub-Planungsprobleme der Lagerkonzeptplanung gelöst werden und welche Interdependenzen sind zu beachten?*  
Für die einzelnen Lösungsalternativen werden die Sub-Planungsprobleme in folgender Reihenfolge adressiert: Auswahl von Lager- und Kommissioniertechnik, Auswahl von Lager- und Kommissionierstrategien, Layoutierung der Funktionsbereiche, Dimensionierung der Funktionsbereiche und Anordnung der Funktionsbereiche zu einer Gesamtstruktur. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sub-Planungsproblemen sind in Abbildung 112 schematisch dargestellt.

2. *Welche praxistauglichen Methoden eignen sich zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte?*

Folgende praxistaugliche Methoden eignen sich zur Unterstützung der einzelnen Planungsschritte: Werkzeug zur Datenintegration, Werkzeug zur Dimensionierung der Funktionsbereiche, Werkzeug zur Kalkulation manueller Arbeitsleistungen, Werkzeug zur Kalkulation von Investitionen und Betriebskosten und Werkzeug zur Variantenauswahl.

3. *In welcher Form müssen lebensmittelspezifische Anforderungen hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung berücksichtigt werden?*

Lebensmittelspezifische Anforderungen, die hinsichtlich der Lagerung und Kommissionierung im Zuge der konzeptionellen Planung berücksichtigt werden müssen sind das Mindesthaltbarkeitsdatum, die Einhaltung von Kühlketten und die Kreuzverderblichkeit. Diese werden im Zuge von Schritt 4 bei der Bildung von Lebensmittel-Prozesssträngen berücksichtigt.

- Die Forschungshypothese dieser Arbeit lautet:  
*Die losgelöste Betrachtung der fünf Sub-Planungsprobleme und die Vernachlässigung lebensmittelspezifischer Anforderungen bei der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel führt zu wirtschaftlich und leistungstechnisch ungeeigneten Lösungssystemen.*  
Diese Hypothese konnte wie in Kapitel 7.4 dargelegt bestätigt werden.
- Das in Kapitel 5 entwickelte Vorgehensmodell erfüllt die in Kapitel 4 definierten Anforderungen wie folgt:
  - *Anforderung 1:* Die Projektdurchlaufzeit konnte gegenüber anderen Planungsmodellen aufgrund der praxistauglichen Werkzeuge verringert werden. Eine Durchlaufzeit von zwei Wochen ist gemäß dem Durchlaufen des Fallbeispiels möglich.
  - *Anforderung 2:* Die Wechselwirkungen der einzelnen Sub-Planungsprobleme werden berücksichtigt. Entsprechende Iterationen sind im Vorgehensmodell vorgesehen (siehe Abbildung 22).
  - *Anforderung 3:* Neben der klassischen Kommissionierung werden weitere Kommissionierverfahren in Schritt 4 des Vorgehensmodells berücksichtigt (siehe Tabelle 3).
  - *Anforderung 4:* Die entsprechenden praxistauglichen Werkzeuge wurden in den einzelnen Planungsschritten implementiert.
  - *Anforderung 5:* Das Werkzeug zur Datenintegration ermöglicht die Verarbeitung ausreichend großer Datenmengen.
  - *Anforderung 6:* Lebensmittelspezifischer Anforderungen werden im Zuge von Schritt 2 des Vorgehensmodells berücksichtigt.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit ist der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel gewidmet. Basierend auf den Grundlagen in den Kapiteln 1 – 4 wird in Kapitel 5 ein Vorgehensmodell entwickelt, das alle fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen adressiert, lebensmittelspezifische Anforderungen berücksichtigt und praxistaugliche Werkzeuge in die sechs Planungsschritte implementiert. Dieses Modell bildet die Basis für eine schnelle und zuverlässige Planung leistungsfähiger und wirtschaftlicher Lager- und Kommissioniersysteme im Lebensmittelgroßhandel. Nach der Anwendung des Modells auf ein Fallbeispiel in Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Arbeit in Kapitel 7 diskutiert. Kapitel 8 dient der Ableitung des weiteren Forschungsbedarfes hinsichtlich der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen. In Abbildung 113 wird der Erfüllungsgrad des entwickelten Vorgehensmodells gemäß der in Kapitel 3 formulierten Fragestellungen zur Identifikation der Forschungslücke bewertet und mit bestehenden Modellen, die gemäß Kapitel 3 den höchsten Erfüllungsgrad aufweisen, gegenübergestellt.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Ausweitung des Vorgehensmodells auf andere Wirtschaftsbereiche. Hierzu müsste auch die in Kapitel 2 getroffene Eingrenzung von Lager- und Kommissioniertechnik sowie von Kommissionierverfahren erweitert werden. Auch hinsichtlich des Lebensmittelgroßhandels könnten neuartige und innovative Techniklösungen (welche zum Zeitpunkt der Arbeit noch nicht verfügbar sind) sowohl in die Technikvorauswahl als auch in die Dimensionierung des Vorgehensmodells eingearbeitet werden.

Zusätzlich besteht Forschungsbedarf bezüglich der Entwicklung eines Modells zur Detailplanung von Lager- und Kommissioniersystemen. Diese, auf die Auswahl des Grobkonzeptes folgende Planungsphase, ist wiederum von stark interdependenten Sub-Planungsproblemen der Detailplanung geprägt. Für diese Planungsphase existieren zwar Modelle, allerdings immer eingeschränkt auf eine spezifische Kombination aus Kommissionierverfahren und Techniklösung (z. B. klassische Kommissionierung mittels Flurförderzeugen). Im Zuge der Literaturrecherche wurde kein Modell gefunden, das die Detailplanung des gesamten Lösungsraumes des Vorgehensmodells der vorliegenden Arbeit abdecken würde.

Neben der Erweiterung des Modells auf die Behandlung von operativen Planungsproblemen ließe es sich auch um strategische Aspekte erweitern. Die Lagerplanung könnte beispielsweise mit der Standortauswahl bzw. der Netzwerkplanung verknüpft werden. Somit könnten unterschiedliche Supply-Chain-Konzepte verschiedenen Konzepten für Lager- und Kommissioniersysteme gegenübergestellt werden.

Jede oben angeführte Erweiterung des Modells würde zu einer wesentlichen Vergrößerung des untersuchten Lösungsraumes führen. Es wäre relativ schnell ein Punkt erreicht, an dem der Aufwand für das manuelle Durchlaufen des Modells viel zu viel Zeit in Anspruch nehmen und somit die wirtschaftliche Berechtigung verlieren würde. Wesentlicher Forschungsbedarf besteht daher auch bezüglich der Integration der einzelnen praxistauglichen Werkzeuge in ein IT-gestütztes Modell und bezüglich der Automatisierung gewisser Planungsaufgaben.

Legende			1.) Planungsart nach Wirkungszeitraum			2.) Lösungs-methoden			3.) Sub-Planungsprobleme					4.) Kommissionier-verfahren			5.) Praxistaugliche Werkzeuge			6.) Lebensmittel-spezifische Anforderungen		
Nicht erfüllt			Strategisch	Taktisch	Operativ	Heuristische Verfahren	Analytische Kalkulation	Simulation	Festlegung der Gesamtlagerstruktur	Dimensionierung d. Funktionsbereiche	Auswahl der Lagertechnik	Auswahl der Belegungsstrategie	Layoutierung der Funktionsbereiche	KKSAB	DKSAB	SKDAB	Datenaufbereitung und -analyse	Variantenauswahl	Kostenkalkulation	Mindest-haltbarkeitsdatum	Kühnketten	Kreuzverderblichkeit
Großteils nicht erfüllt																						
Teilweise erfüllt																						
Großteils erfüllt																						
Vollständig erfüllt																						
Nr.	Jahr	Verweis																				
1	2020	Ramprecht (2020)	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	2012	vgl. Kostrzewski. (2012)	●	●	○	●	●	●	●	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○
3	2014	vgl. Accorsi et al. (2014)	●	●	○	●	●	●	●	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○
4	2012	vgl. Gudehus (2012)	●	●	○	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
5	2016	vgl. Sprock et al. (2016)	●	●	○	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
6	2010	vgl. Apple et al. (2010)	●	●	○	●	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
7	2018	vgl. Mourtzis et al. (2018)	●	●	○	○	●	●	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
8	2019	vgl. Bottani et al. (2019)	●	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
9	1991	vgl. Gray et al. (1991)	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	2009	vgl. Dallari et al. (2009)	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
11	2009	Baker und Canessa (2009)	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○
12	2000	vgl. Govindaraj et al. (2000)	●	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○	k. A.	k. A.	k. A.	○	○	○	○	○	○
13	2015	vgl. Thomas und Meller (2015)	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
14	2018	vgl. Altarazi und Ammouri (2018)	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15	2014	vgl. Thomas und Meller (2014)	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○

Abbildung 113: Gegenüberstellung des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Vorgehensmodells mit den Planungsmodellen, die gemäß Kapitel 3 den am höchsten bewerteten Erfüllungsgrad hinsichtlich der sechs Themenschwerpunkte aufweisen

## 9 Anhang

### 9.1 A.1: Lagerung von Lebensmitteln

Tabelle 14: Höchsttemperaturen für tiefgefrorene und gefrorene Lebensmittel, Speiseeis sowie für kühlbedürftige Lebensmittel (vgl. DIN 1508:2019-03, Tabelle 1-3)

Lebensmittelgruppen		Temp. [°C]
Gefrorene(s) Hackfleisch / Faschiertes, Fleisch-zubereitungen, Separatorenfleisch		- 18
Gefrorene Fischereierzeugnisse		- 18
Geflügelfleisch, das als gefroren gekennzeichnet ist		- 12
Lebensmittel, die als tiefgefroren gekennzeichnet sind		- 18
Gefrorene Lebensmittel (außer Speiseeis)		- 12
Speiseeis in Fertigpackungen		- 18
Speiseeis zum Ausportionieren		- 10
Butter		+ 10
Frischkäse(-zubereitungen)		+ 10
Weichkäse und geschnittener Käse außer Hartkäse		+ 10
Andere Milcherzeugnisse, kühlbedürftig		+ 10
Lose Milchabgabe im Erzeugerbetrieb	Rohmilch ab Hof aus Milchtank	+ 8
	Über Automat oder auf Vorrat abgefüllte Flaschen	+10
Lagerung von Rohmilch im Erzeugerbetrieb		+ 6
Vorzugsmilch in Fertigpackungen		+ 8
Konsummilch, pasteurisiert		+ 8
Fleisch, frisch (ausgenommen: Nebenprodukte der Schlachtung und Blut)		+ 7
Nebenprodukte der Schlachtung, frisch		+ 3
Geflügelfleisch, frisch		+ 4
Hasentiere, Kleinwild Federwild frisch		+ 4
Großwild (Haarwild, erlegt, frisch), Farmwild		+ 7
Hackfleisch	aus Betrieben nicht am Ort der Abgabe; verpackt oder umhüllt	+ 2
Fleischzubereitungen	aus Betrieben nicht am Ort der Abgabe; verpackt oder umhüllt	+ 4
Geflügelfleischzubereitungen		+ 4
Muscheln, lebend		+ 10
Fischereierzeugnisse, frisch, sowie Krebs- und Weichtiererzeugnisse, unverarbeitet oder gegart		Schmelzeis-temperatur
Fischereierzeugnisse, verarbeitet, wie marinierte, gesäuerte und geräucherte Fischereierzeugnisse		+ 7
Roheihaltige Lebensmittel (wie Frischeimayonnaise)		+ 4
Eiprodukte	Flüssigei, pasteurisierte Eiprodukte	+ 4

**Tabelle 15: Ergänzung der optimalen Temperaturen für kühlbedürftige Lebensmittel pflanzlicher Herkunft (J. Grafeneder, Fa. Kastner GroßhandelsgeSmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020):**

Lebensmittelgruppen	Temp. [°C]
Blattgemüse	2
Kohlgemüse	2
Wurzelgemüse	2
Beerenfrüchte	3
Kernobst	3
Steinobst	3
Trauben	3
Trockenfrüchte	3
Feinkost & Salate	4
Sojaprodukte	4
Stielgemüse	4
Teige & frische Teigwaren	4
Vegane Alternativen für Tierprodukte	4
Zitrusfrüchte	7
Exotische Früchte	10
Fruchtgemüse	10
Kartoffel, Zwiebel & Knoblauch	10
Obst Diverse	10
Bananen	14
Fette und Öle	14
Pflanzen/Samen	14

Tabelle 16: Ethylenabgabe- und Empfindlichkeitsverhalten bei Obst und Gemüse (vgl. Böttcher 1996, S. 181ff.; Osterloh et al. 1996, S.57ff.)

Obst			Gemüse		
Warenart	Ethylen-abgabe	Ethylen-empfind-lichkeit	Warenart	Ethylen-abgabe	Ethylen-empfind-lichkeit
Ananas	+	+	Artischocken	(+)	+
Äpfel	++++	+++	Auberginen	+	+++
Aprikosen	++++	+++	Bohnen	+	++
Avocados	+++	+++	Gurken	+	+++
Bananen	++	+++	Karotten	(+)	++
Birnen	+++	+++	Kohl	(+)	+++
Brombeeren	+	+	Kohlrabi	(+)	+
Erdbeeren	+	+	Lauch	(+)	++
Heidelbeeren	+	+	Paprika	+	+
Himbeeren	+	+	Pilze	(+)	++
Johannisbeeren	+	+	Radieschen	(+)	++
Kirschen	(+)	+	Rettich	(+)	+
Kiwi	+++	+++	Rote Bete	(+)	+
Mandarinen	(+)	++	Salat	+	+++
Mango	++	+++	Sellerie	(+)	+
Pfirsiche/Nektarinen	++++	+++	Spargel	(+)	++
Pflaumen	++	+++	Spinat	(+)	+++
Stachelbeeren	+	+	Tomaten	++	+++
Trauben	(+)	+	Zucchini	+	+
Zitronen	(+)	++			

## 9.2 A.2: Datenanforderung und Datenintegration

Tabelle 17: Datenanforderungsliste zur Durchführung des Vorgehensmodells

Nr.	Datenbeschreibung	Datenintegrations_ID	Status
<b>1</b>	<b>Infrastruktur &amp; Layout-Daten</b>		
<b>1.1</b>	<b>Ist-Layout</b>		
1.1.1	Layout (CAD-Daten)		
<b>1.2</b>	<b>Lagerdaten (Infrastruktur)</b>		
1.2.1	Lager [ID]/[Bezeichnung]		
1.2.2	Internes/Externes Lager		
1.2.3	Anzahl Stellplätze		
1.2.4	Lagerfüllgrad		
1.2.5	Lagergröße [m <sup>2</sup> ]		
1.2.6	Verfügbare Lagerhöhe [m]		
1.2.7	Anzahl Stellplätze je Stelltyp (z. B. Palettenstellplatz)		
<b>2</b>	<b>Statische Daten</b>		
<b>2.1</b>	<b>Artikelstammdaten</b>		
2.1.1	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]	A_Artikel_ID	
2.1.2	Artikelbezeichnung	A_Artikel_Bez	
2.1.3	Waren-/Produktgruppe des Artikels [ID]	A_Warengruppe_ID	
2.1.4	Bezeichnung der Waren-/Produktgruppe des Artikels	A_Warengruppe_Bez	
2.1.5	Artikellänge [mm]	A_Artikel_Laenge	
2.1.6	Artikelbreite [mm]	A_Artikel_Breite	
2.1.7	Artikelhöhe [mm]	A_Artikel_Hoehe	
2.1.8	Gewicht pro Stück [kg]	A_Artikel_Gewicht	
2.1.9	Mindestbestellmenge [Stk]	A_Mindest_Bestellmenge	
2.1.10	Verpackungstyp	A_Verpackung_Typ	
2.1.11	Stück pro Verpackung	A_Stk_pro_Verpackung	
2.1.12	Verpackungslänge [mm]	A_Verpackung_Laenge	
2.1.13	Verpackungsbreite [mm]	A_Verpackung_Breite	
2.1.14	Verpackungshöhe [mm]	A_Verpackung_Hoehe	
2.1.i	Zusatzinformationen zum Artikel (z.B. Bio-Artikel, Cross-Docking-Artikel)	A_Zusatzinfo_i	
<b>2.3</b>	<b>Arbeitsplätze (bezugnehmend auf Organigramm)</b>		
2.3.1	Anzahl Mitarbeiter		
2.3.2	Kostensätze je Mitarbeiter/Mitarbeitergruppe		
2.3.3	Funktionen Mitarbeiter		
2.3.4	Schichtmodelle/-zeiten je Arbeitsbereich		
<b>2.4</b>	<b>Inventurlisten zum Stichtag (Angaben je Artikelnummer)</b>		
2.4.1	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]		
2.4.2	Lagerplatz		
2.4.3	Bestandsmenge [Stk]		
<b>2.5</b>	<b>Ressourcen</b>		
2.5.1	FFZ und Stapler (Art und Anzahl)		

2.5.2	sonstige technische Einrichtungen		
<b>3</b>	<b>Dynamische Daten</b>		
<b>3.1</b>	<b>Wareneingangsdaten</b>		
3.1.1	Auftragsnummer [ID]	WE_Auftrags_ID	
3.1.2	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]	WE_Artikel_ID	
3.1.3	Lieferantenummer [ID]	WE_Lieferanten_ID	
3.1.4	Plan-Lieferzeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WE_Liefer_Zeit_Soll	
3.1.5	Ist-Lieferzeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WE_Liefer_Zeit_Ist	
3.1.6	Geliefertes Gebinde (z. B. sortengemischte Palette)	WE_Liefer_Gebinde	
3.1.7	Angelieferte Menge [Gebinde]	WE_Zugangs_Menge	
3.1.i	Zusatzinformationen zur Wareneingangsbuchung (z.B. Retourware vom Kunden, Korrekturbuchung)	WE_Zusatz_Info_i	
<b>3.2</b>	<b>Wareneinlagerung</b>		
3.1.1	Einlagerungs-Auftragsnummer [ID]	EL_Auftrags_ID	
3.1.2	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]	EL_Artikel_ID	
3.2.1	Einlagerzeitpunkt in das Lager [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	EL_Einlager_Zeit	
3.2.2	In das Lager zu transportierendes Gebinde (z. B. sortenreine Palette)	EL_Einlager_Gebinde	
3.2.3	Eingelagerte Menge [Gebinde]	EL_Einlager_Menge	
3.2.i	Zusatzinformationen zur Wareneingangsbuchung (z.B. Retourware vom Kunden, Korrekturbuchung)	EL_Zusatz_Info_i	
<b>3.3</b>	<b>Warenbestandsdaten</b>		
3.3.1	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]	WB_Artikel_ID	
3.3.2	Bestandszeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WB_Bestands_Zeit	
3.3.3	Lagerplatz	WB_Lagerplatz	
3.3.4	Bestandsmenge [Stk]	WB_Bestandsmenge	
<b>3.4</b>	<b>Warenausgangsdaten</b>		
3.4.1	Auftragsnummer [ID]	WA_Auftrags_ID	
3.4.2	Artikelnummer (im Katalog/Oracle/SAP/ERP-System) [ID]	WA_Artikel_ID	
3.4.3	Kundennummer [ID]	WA_Kunden_ID	
3.4.4	Tourennummer [ID] (bei externer Abbuchung)	WATouren_ID	
3.4.5	Artikelmenge [Stk.]	WA_Abgangs_Menge	
3.4.6	Bestellzeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WA_Betsell_Zeit	
3.4.7	Abbuchungszeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WA_Abbuchungs_Zeit	
3.4.8	Versandzeitpunkt [hh:mm:ss TT.MM.JJJJ]	WA_Versand_Zeit	
3.4.9	Zielgebände (z. B. Rollbehälter)	WA_Zielgebände	
3.4.10	Ist-Lagerplatz [ID]	WA_Lagerplatz_ID	
3.4.i	Zusatzinformationen zur Warenausgangsbuchung (z.B. Bruchware, Korrekturbuchung)	WA_Zusatz_Info_i	
<b>4</b>	<b>Controlling</b>		
<b>4.1</b>	<b>Leistungskennzahlen</b>		
4.1.1	Beispiel des derzeitigen Logistikcontrollings und verfügbaren Kennzahlen.		

**Tabelle 18: Standardisierte Feldnamen der vier zu generierenden Output-Dateien als Ziel der Datenintegration im Zuge des Vorgehensmodells**

Standardisierte Feldnamen der Output-Datei „Out-Wareneingänge“	Standardisierte Feldnamen der Output-Datei „Out-Wareneinlagerungen“	Standardisierte Feldnamen der Output-Datei „Out-Warenbestände“	Standardisierte Feldnamen der Output-Datei „Out-Warenausgänge“
WE_Auftrags_ID	EL_Auftrags_ID	WB_Artikel_ID	WA_Auftrags_ID
WE_Artikel_ID	EL_Artikel_ID	A_Artikel_Bez	WA_Artikel_ID
A_Artikel_Bez	A_Artikel_Bez	A_Warengruppe_ID	A_Artikel_Bez
A_Warengruppe_ID	A_Warengruppe_ID	A_Warengruppe_Bez	A_Warengruppe_ID
A_Warengruppe_Bez	A_Warengruppe_Bez	A_Artikel_Laenge	A_Warengruppe_Bez
A_Artikel_Laenge	A_Artikel_Laenge	A_Artikel_Breite	A_Artikel_Laenge
A_Artikel_Breite	A_Artikel_Breite	A_Artikel_Hoehe	A_Artikel_Breite
A_Artikel_Hoehe	A_Artikel_Hoehe	A_Artikel_Gewicht	A_Artikel_Hoehe
A_Artikel_Gewicht	A_Artikel_Gewicht	A_Mindest_Bestellmenge	A_Artikel_Gewicht
A_Mindest_Bestellmenge	A_Mindest_Bestellmenge	A_Verpackung_Typ	A_Mindest_Bestellmenge
A_Verpackung_Typ	A_Verpackung_Typ	A_Stk_pro_Vverpackung	A_Verpackung_Typ
A_Stk_pro_Vverpackung	A_Stk_pro_Vverpackung	A_Verpackung_Laenge	A_Stk_pro_Vverpackung
A_Verpackung_Laenge	A_Verpackung_Laenge	A_Verpackung_Breite	A_Verpackung_Laenge
A_Verpackung_Breite	A_Verpackung_Breite	A_Verpackung_Hoehe	A_Verpackung_Breite
A_Verpackung_Hoehe	A_Verpackung_Hoehe	A_Zusatzinfo_1	A_Verpackung_Hoehe
A_Zusatzinfo_1	A_Zusatzinfo_1	A_Zusatzinfo_2	A_Zusatzinfo_1
A_Zusatzinfo_2	A_Zusatzinfo_2	A_Zusatzinfo_3	A_Zusatzinfo_2
A_Zusatzinfo_3	A_Zusatzinfo_3	A_Zusatzinfo_4	A_Zusatzinfo_3
A_Zusatzinfo_4	A_Zusatzinfo_4	A_Zusatzinfo_5	A_Zusatzinfo_4
A_Zusatzinfo_5	A_Zusatzinfo_5	WB_Bestands_Zeit	A_Zusatzinfo_5
WE_Lieferanten_ID	EL_Einlager_Zeit	WB_Lagerplatz	WA_Kunden_ID
WE_Liefer_Zeit_Soll	EL_Einlager_Gebinde	WB_Bestandsmenge	WATouren_ID
WE_Liefer_Zeit_Ist	EL_Einlager_Menge		WA_Abgangs_Menge
WE_Liefer_Gebinde	EL_Zusatz_Info_1		WA_Betsell_Zeit
WE_Zugangs_Menge	EL_Zusatz_Info_2		WA_Abbuchungs_Zeit
WE_Zusatz_Info_1	EL_Zusatz_Info_3		WA_Versand_Zeit
WE_Zusatz_Info_2	EL_Zusatz_Info_4		WA_Zielgebinde
WE_Zusatz_Info_3	EL_Zusatz_Info_5		WA_Lagerplatz_ID
WE_Zusatz_Info_4			WA_Zusatz_Info_1
WE_Zusatz_Info_5			WA_Zusatz_Info_2
			WA_Zusatz_Info_3
			WA_Zusatz_Info_4
			WA_Zusatz_Info_5

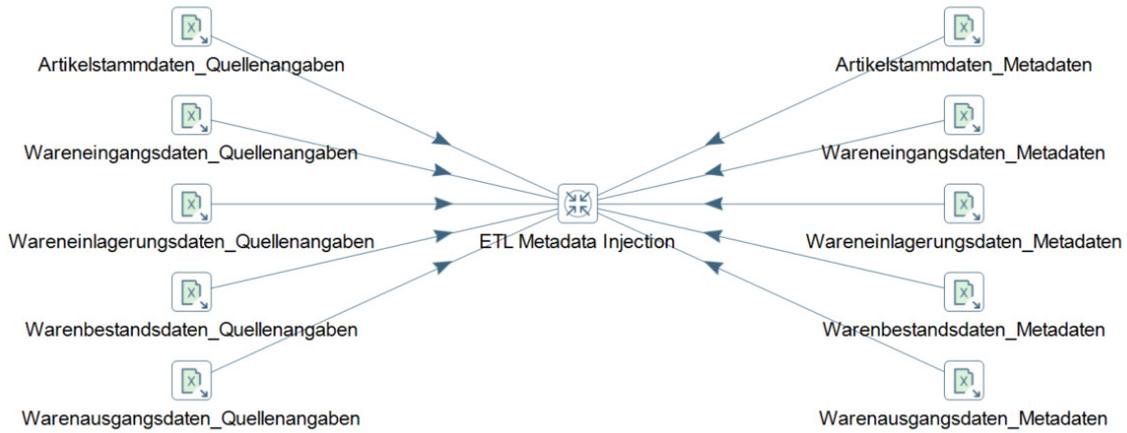


Abbildung 114: Injektions-Transformation in der Pentaho Data Integration Benutzeroberfläche

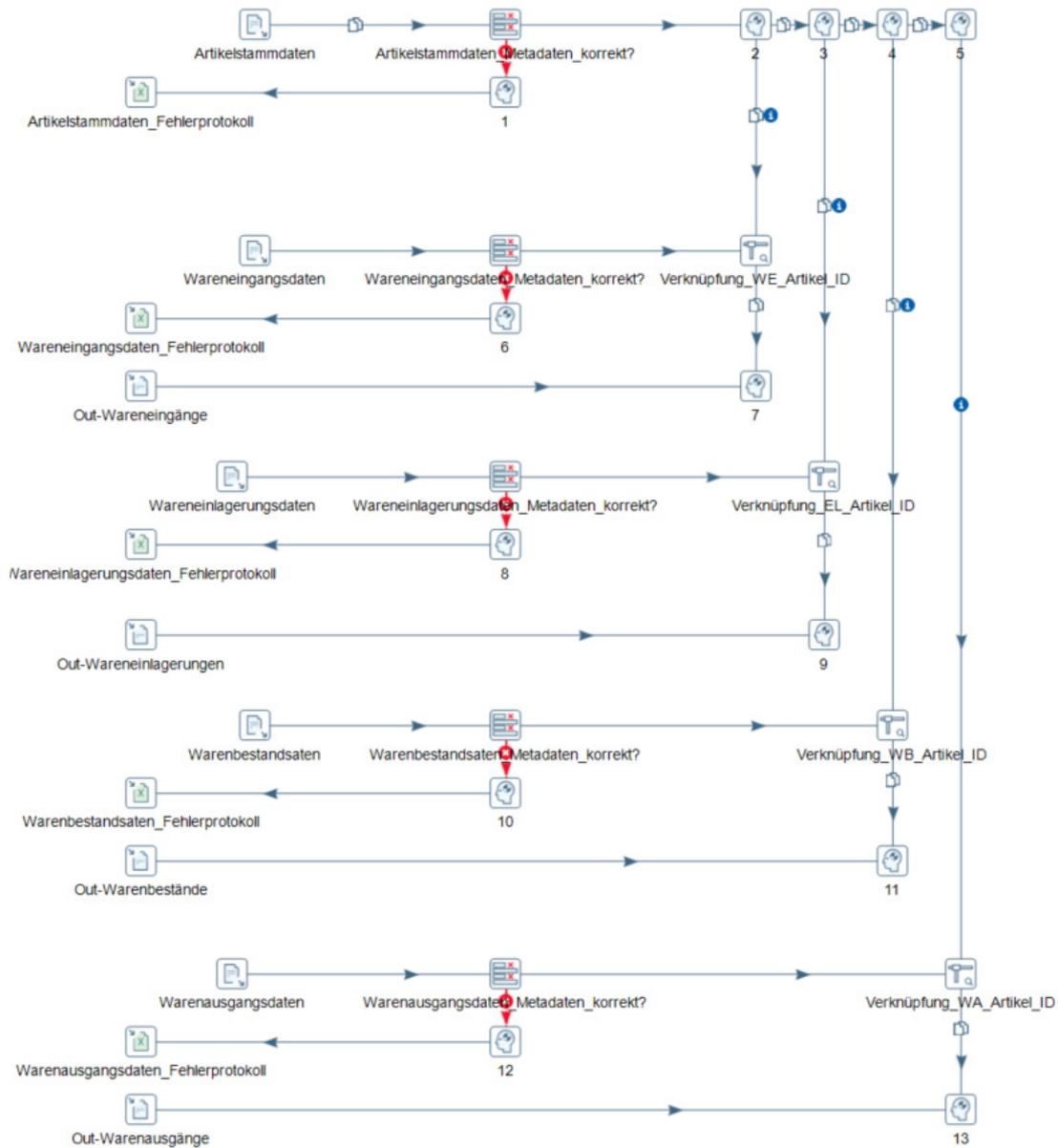


Abbildung 115: Integrations-Transformation in der Pentaho Data Integration Benutzeroberfläche

### 9.3 A.3: Generierung von Lösungsalternativen

Kommissionierverfahren	Nachschubgassen	Kommissioniersystem							
		Ladungsträger im Kommissionierbereich		Regaltechnik im Kommissionierbereich	Zufördersystem (ZFS)	Lagergerät	Abfördersystem (AFS)		
<b>KKSAB</b> (Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)	getrennt	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	kein separates ZFS	NHW/Kommissionierer	kein separates AFS	
	nicht getrennt		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Niederhubwagen	Hochhubwagen	Schnellläufer	
			PAL n	EUL 1	Durchlaufregal	Palettenfördertechnik	Schubmaststapler	Palettenfördertechnik	
				EUL 1,4		Verschiebewagen	Schmalgangstapler	Verschiebewagen	
				EUL 2		FTS		FTS	
			KLT	KLT 1		Fachbodenregal	zu Fuß	Person	kein separates AFS
				KLT 2		Durchlaufregal	Niederhubwagen	NHW/Kommissionierer	Schnellläufer
				KLT n			FTS		FTS
<b>DKSAB</b> (Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikel-bereitstellung)	getrennte Gassen	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Schnellläufer	NHW/Kommissionierer	Palettenfördertechnik	
			DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenfördertechnik	Hochhubwagen	FTS	
			PAL n	EUL 1	Durchlaufregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Bandförder	
				EUL 1,4		FTS	Schmalgangstapler		
				EUL 2			Regalbediengeräte		
			KLT	KLT 1		Fachbodenregal	zu Fuß	Person	Palettenfördertechnik
				KLT 2		Durchlaufregal	Schnellläufer	NHW/Kommissionierer	FTS
				KLT n			FTS		Bandförder
<b>KKSAB</b> (Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)		Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Hochregallager	Niederhubwagen	Regalbediengeräte	Palettenfördertechnik	
			DD-PAL	EUL 1/2		Palettenfördertechnik	Shuttle und Life	Schnellläufer	
			PAL n	EUL 1		Verschiebewagen		FTS	
				EUL 1,4		FTS			
				EUL 2					
			KLT	KLT 1		Shuttle-System	Tablarfördertechnik	Regalbediengeräte	Palettenfördertechnik
				KLT 2			Schnellläufer	Shuttle und Life	Schnellläufer
				KLT n			FTS		FTS

Abbildung 116: Technologiematrix zur Generierung von Grobkonzeptvarianten Teil 1

Kommissionierverfahren	Lagersystem								
	Ladungsträger im Lagerbereich/ Nachschubbereich			Regaltechnik im Nachschubbereich	Zufördersystem	Lagergerät	Abfördersystem	Sortiertechnik	
<b>KKSAB</b> (Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	Niederhubwagen		
		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenförderertechnik	Hochhubwagen	Palettenförderertechnik		
		PAL n	EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Verschiebewagen		
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	FTS		
			EUL 2			Regalbediengeräte			
		kein NS					Life und Shuttle		
	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	Niederhubwagen		
		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenförderertechnik	Hochhubwagen	Palettenförderertechnik		
		PAL n	EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Verschiebewagen		
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	FTS		
			EUL 2			Regalbediengeräte			
		kein NS							
	<b>DKSAB</b> (Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikel-bereitstellung)	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	Niederhubwagen	kein Sorter
			DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenförderertechnik	Hochhubwagen	Palettenförderertechnik	Handsortierung
PAL n			EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Verschiebewagen	Pusher	
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	FTS	Bandabweiser	
			EUL 2			Regalbediengeräte		Gurttransfer	
						Life und Shuttle		Dreharmsorter	
kein NS							Rollenteppich		
Paletten		E-PAL	EUL 1/3	Bodenlager	Niederhubwagen	Niederhubwagen	Niederhubwagen	kein Sorter	
		DD-PAL	EUL 1/2	Palettenregal	Palettenförderertechnik	Hochhubwagen	Palettenförderertechnik	Handsortierung	
		PAL n	EUL 1	Hochregal	Verschiebewagen	Schubmaststapler	Verschiebewagen	Pusher	
			EUL 1,4	Durchlaufregal	FTS	Schmalgangstapler	FTS	Bandabweiser	
			EUL 2			Regalbediengeräte		Gurttransfer	
								Dreharmsorter	
kein NS							Rollenteppich		
<b>KKSAB</b> (Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung)	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Hochregal	Palettenförderertechnik	Regalbediengeräte	Palettenförderertechnik		
		DD-PAL	EUL 1/2		Verschiebewagen	Life und Shuttle	Verschiebewagen		
		PAL n	EUL 1		FTS		FTS		
			EUL 1,4						
			EUL 2						
		kein NS							
	Paletten	E-PAL	EUL 1/3	Hochregal	Niederhubwagen	Niederhubwagen	Niederhubwagen		
		DD-PAL	EUL 1/2		Palettenförderertechnik	Hochhubwagen	Palettenförderertechnik		
		PAL n	EUL 1		Verschiebewagen	Schubmaststapler	Verschiebewagen		
			EUL 1,4		FTS	Schmalgangstapler	FTS		
			EUL 2			Regalbediengeräte			
		kein NS							

Abbildung 117: Technologiematrix zur Generierung von Grobkonzeptvarianten Teil 2

## 9.4 A.4: Lösung des Entscheidungsproblems

Nr.:	Bezeichnung	Kode	TMU	Anzahl	Häufigkeit	AxH	Gesamt TMU	Sekunden
1	gehen von Transporteinheit zu Lagereinheit	S-KVS	17	2,0	1	2	34,00	1,22
2	Aufnehmen 2 Hände vorne (1/3)	S-ALZ-15	13	1	1/3	1/3	4,33	0,16
3	Aufnehmen 2 Hände mittig (1/3)	S-ALZ-45	21	1	1/3	1/3	7,00	0,25
4	Aufnehmen 2 Hände hinten (1/3)	S-ALZ-75	30	1	1/3	1/3	10,00	0,36
5	Vorziehen der Verpackung (25%)	S-PUZ-45	17	1	0,25	0,25	4,25	0,15
6	Umgreifen (25%)	S-ALZ-15	13	2	0,25	0,5	6,50	0,23
7	Bücken beim Aufnehmen (25%)	S-KVB	61	1	0,25	0,25	15,25	0,55
8	Strecken beim Aufnehmen (25%)	S-KVB	61	1	0,25	0,25	15,25	0,55
9	Visuelle Prüfung der Verpackung	S-GBP	7	1	1	1	7,00	0,25
10	Körperdrehung nach Aufnehmen	S-KVS	17	1	1	1	17,00	0,61
11	Gehen von Lagerinheit zu Transporteinheit	S-KVS	17	2,5	1	2,5	42,50	1,53
12	Platzieren 2 Hände mittig	S-PUZ-45	17	1	1	1	17,00	0,61
13	Bücken beim Platzieren (50%)	S-KVB	61	1	0,5	0,5	30,50	1,10
14	Körperdrehung nach Ablegen (50%)	S-KVS	17	1	0,5	0,5	8,50	0,31
Grundzeit							219,08	7,89
Verteilzeit [%] (Standard: 5% persönlich, 10% sachlich)							15,00%	15,00%
Ausführungszeit							251,95	9,07

Abbildung 118: Beispielhafte Modellierung eines Kommissioniervorganges mittels MTM und UAS

## 10 Literaturverzeichnis

Abdoli, S.; Kara, S. (2017): A Review of Modelling Approaches for Conceptual Design of Complex Engineering Systems (CESs). In: Proceedings of the 2017 IEEE IEEM. S. 1266–1270.

Accorsi, R.; Manzini, R.; Maranesi, F. (2014): A decision-support system for the design and management of warehousing systems. In: Computers in Industry 65 (1), S. 175-186.

Accorsi, R.; Gallo, A.; Manzini, R. (2017): A climate driven decision-support model for the distribution of perishable products. In: Journal of Cleaner Production 165. S. 917-929.

Al Ubeed, H.M.S.; Wills, R.B.H.; Bowyer, M. C.; Vuong, Q. V.; Golding, J. B. (2017): Interaction of exogenous hydrogen sulphide and ethylene on senescence of green leafy vegetables. In: Postharvest Biology and Technology 133. S. 81-87.

Altarazi, S. A.; Ammouri, M. M. (2018): Concurrent manual-order-picking warehouse design. A simulation-based design of experiments approach. In: International Journal of Production Research 56 (23). S. 7103-7121.

Apple, J. M., JR.; Meller, R. D.; White, J. A., JR. (2010): Empirically-Based Warehouse Design: Can Academics Accept Such an Approach? In: 11th IMHRC Proceedings.

Amorim, P.; Günther, H.-O.; Almada-Lobo, B. (2012): Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. In: International Journal of Production Economics 138 (1). S. 89-101.

Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (2008): Handbuch Logistik. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Berlin.

Arnold, D.; Furmans, K. (2009): Materialfluss in Logistiksystemen. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Berlin.

Apple, J. M., JR.; Meller, R. D.; White, J. A., JR. (2010): Empirically-Based Warehouse Design: Can Academics Accept Such an Approach? In: 11th IMHRC Proceedings.

Ashayeri, J.; Gelders, L. F. (1985): Warehouse design optimization. In: European Journal of Operational Research 21. S. 285-294.

Azadeh, K.; de Koster, R.; Roy, D. (2018): Robotized Warehouse Systems: Developments and Research Opportunities. Rotterdam School of Management. Rotterdam.

Baker, P. (2008): The design and operation of distribution centres within agile supply chains. In: *International Journal of Production Economics* 111 (1). S. 27-41.

Baker, P.; Canessa, M. (2009): Warehouse design: A structured approach. In: *European Journal of Operational Research* 193 (2). S. 425-436.

Bartholdi, J.; Hackmann, T. (2017): *Warehouse & Distribution Science*. H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering. Atlanta.

Bartholdi, J.; Hackmann, T. (2019): *Warehouse & Distribution Science*. Release 0.98.1. Georgia Institute of Technology. Atlanta.

Baruffaldi, G.; Accorsi, R.; Santi, D.; Manzini, R.; Pilati, F. (2019): The storage of perishable products. A decision-support tool to manage temperature-sensitive products warehouses. In: *Sustainable Food Supply Chains*: Elsevier, S. 131-143.

Bodner, D.; Govindaraj, T.; Karathur, K.; Zerangue, F.; McGinnis, L. (2002): *A Process Model and Support Tools for Warehouse Design*.

Borch, E.; Kant-Muermans, M.-L.; Blixt, Y. (1996): Bacterial spoilage of meat and cured meat products. In: *International Journal of Food Microbiology* 33 (1996). S. 103-120.

Bottani, E.; Montanari, R.; Rinaldi, M. (2017): A flexible tool for warehouse design and picking optimization. In: *XXII Summer School "Francesco Turco" – Industrial Systems Engineering*. S. 348-354.

Böttcher, H.; Belker, N. (1996): *Handbuch der Lebensmittel-Technologie. Frischhaltung und Lagerung von Gemüse*. Ulmer. Stuttgart.

Boysen, N.; Koster, R. de; Weidinger, F. (2018): Warehousing in the e-commerce era: A survey. In: *European Journal of Operational Research*. S. 1-16.

Breinhölder, F.; Fa. Kastner GroßhandelsgeSmbH (23.04.2020), Persönliche Korrespondenz. Zwettl.

Cakmak, E.; Gunay, N. S.; Aybakan, G.; Tanyas, M. (2012): Determining the Size and Design of Flow Type and U-Type Warehouses. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 58. S. 1425-1433.

Cardona, L. F.; Soto, D. F.; Rivera, L.; Martínez, H. J. (2015): Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel. In: *International Journal of Production Economics* 170. S. 825-837.

Caridade, R.; Pereira, T.; Pinto F., L.; Silva, F.J.G. (2017): Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry. In: *Procedia Manufacturing* 13. S. 1096–1103.

Casters, M.; u. a. (2010): Pentaho Kettle solutions: building open source ETL solutions with Pentaho Data Integration. 1. Auflage. John Wiley & Sons. Indianapolis.

Chakraborty, S.; Banik, D. (2006): Design of a material handling equipment selection model using analytic hierarchy process. In: *Int J Adv Manuf Technol* 28 (11-12). S. 1237-1245.

Dallari, F.; Marchet, G.; Melacini, M. (2009): Design of order picking system. In: *Int J Adv Manuf Technol* 42 (1-2). S. 1-12.

Davarzani, H.; Norrman, A. (2015): Toward a relevant agenda for warehousing research. Literature review and practitioners' input. In: *Logist. Res.* 8 (1). S. 78.

De Keizer, M.; Akkerman, R.; Grunow, M.; Bloemhof, J. M.; Haijema, R.; van der Vorst, Jack G.A.J. (2017): Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. In: *European Journal of Operational Research* 262 (2). S. 535-549.

De Koster, R.; Le-Duc, T.; Roodbergen, K. J. (2007): Design and control of warehouse order picking. A literature review. In: *European Journal of Operational Research* 182 (2). S. 481-501.

De Koster, R. B. M.; Johnson, A. L.; Roy, D. (2017): Warehouse design and management. In: *International Journal of Production Research* 55 (21). S. 6327-6330.  
Koster, René B. M. de; Johnson, Andrew L.; Roy, Debjit (2017): Warehouse design and management. In: *International Journal of Production Research* 55 (21). S. 6327-6330.

DIN 1508:2019-03: Lebensmittelhygiene – Temperaturen für Lebensmittel.

Dmitry K.; David D.; Marc B.; Ridha D. (2018): Collaborative Design of Warehousing 4.0 Using the Concept of Contradictions. In: 19th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises 534. S. 396–405.

Eisenführer, F.; Weber, M. (2010): *Rationales Entscheiden*, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

Etemadnia, H.; Goetz, S. J.; Canning, P.; Tavallali, M. S. (2015): Optimal wholesale facilities location within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: An LP-MIP heuristic approach. In: *European Journal of Operational Research* 244 (2). S. 648-661.

Faber, N.; de Koster, R.; van de Velde, S. (2002): Linking warehouse complexity to warehouse planning and control structure. In: *Int Jnl Phys Dist & Log Manage* 32 (5). S. 381-395.

Geraldes, C. A. S.; Carvalho, S. F. B. S.; Pereira, G. A. B. (2008): A Warehouse Design Decision Model – Case Study. Piscataway.

Giannikas, V.; Lu, W.; Robertson, B.; McFarlane, D. (2017): An interventionist strategy for warehouse order picking. Evidence from two case studies. In: International Journal of Production Economics 189. S. 63-76.

Goetschalckx, M.; McGinnis, L.; Sharp, G.; Bodner, D.; Govindaraj, T.; Huang, K. (2001): Development of a design methodology for warehousing systems. Georgia Institute of Technology. Atlanta.

Goetschalckx, M.; Huang, E.; Mital, P. (2012): Robust Material Handling System Design Based on The Risk Versus Cost Tradeoff. In: 12th IMHRC Proceedings 4.

Govindaraj, T.; Blanco, E. E.; Bodner, D. A.; Goetschalckx, M.; McGinnis, L. F.; Sharp, G. P. (2000a): Design of warehousing and distribution systems. An object model of facilities, functions and information. In: SMC 2000 Conference Proceedings. 2000 IEEE International Conference on Systems. S. 1099-1104.

Gray, A.; Karmarkar, U.; Seidmann, A. (1991): Design and operation of an orderconsolidation warehouse: Models and application. In: European Journal of Operational Research 58 1992. S. 14-36.

Grafeneder, J.; Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH (23.04.2020), Persönliche Korrespondenz. Zwettl.

Gu, J.; Goetschalckx, M.; McGinnis, L. F. (2010): Research on warehouse design and performance evaluation. A comprehensive review. In: European Journal of Operational Research 203 (3). S. 539–549.

Gue, K. R.; Ivanović, G.; Meller, R. D. (2012): A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and non-traditional aisles. In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 48 (4). S. 795-806.

Gudehus, T. (2012): Logistik. Grundlagen - Strategien - Anwendungen. 4. Auflage. Berlin. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hassan, M. (2002): A framework for the design of warehouse layout. In: Facilities 20 (13/14), S. 432-440.

Heragu, S. S.; Du, L.; Mantel, R. J.; Schuur, P. C. (2005): Mathematical model for warehouse design and product allocation. In: International Journal of Production Research 43 (2). S. 327-338.

Horta, M.; Coelho, F.; Relvas, S. (2016): Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. In: Computers & Industrial Engineering 101. S. 1-9.

Hu, X.; Wang, Z.; Huang, M.; Zeng, A. Z. (2009): A computer-enabled solution procedure for food wholesalers' distribution decision in cities with a circular transportation infrastructure. In: *Computers & Operations Research* 36 (7). S. 2201-2209.

Jacyna, M.; Lewcuk, K.; Kłodawski, M. (2015): Technical and organizational conditions of designing warehouses with different functional structures. In: *Journal of KONES Powertrain and Transport* 22 (3). S. 49-58.

Jodin, D.; ten Hompel, M (2012).: *Sortier- und Verteilsysteme. Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Johannesson, Paul; Perjons, Erik (2014): *An Introduction to Design Science.* Cham. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.

Karim, N. H.; Abdul R.; Noorul S. F.; Syed J. S., Syed F. S. (2018): Empirical Evidence on Failure Factors of Warehouse Productivity in Malaysian Logistic Service Sector. In: *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 34 (2). S. 151-160.

Karathur, K.; Govindaraj, T.; Bodner, D.; McGinnis, L. F. (2002): *A Computational Model for Warehouse Analysis and Design.*

Kembro, J. H.; Norrman, A.; Eriksson, E. (2018): Adapting warehouse operations and design to omni-channel logistics. In: *Int Jnl Phys Dist & Log Manage* 48 (9). S. 890-912.

Ketzenberg, M.; Bloemhof, J.; Gaukler, G. (2015): Managing Perishables with Time and Temperature History. In: *Prod Oper Manag* 24 (1). S. 54-70.

Kłodawski, M.; Jacyna, M.; Lewczuk, K.; Wasiak, M. (2017): The Issues of Selection Warehouse Process Strategies. In: *Procedia Engineering* 187. S. 451-457.

Knödgen, P. (2017): *Erstellung eines Werkzeugs zur Integration großer Datenmengen für die Lagerplanung.* Wien. Technische Universität. Diplomarbeit.

Kostrzewski, M. (2012): The Procedure of Warehouses Designing as an Integral Part of The Warehouses Designing Method and The Designing Software. In: *International Journal of mathematical models and methods in applied science* 4 (6). S. 535-543.

Kostrzewski, M. (2014): *In search of a unified warehouse designing method.* Warsaw University of Technology. Warsaw.

Kucharavy, D.; Damand, D.; Barth, M.; Derrouiche, R. (2018): Collaborative Design of Warehousing 4.0 Using the Concept of Contradictions. In: *19th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises* 534. 396-405.

Linden, M. (2016): Geschäftsmodellbasierte Unternehmenssteuerung mit Business-Intelligence-Technologien: Unternehmensmodell - Architekturmodell – Datenmodell. 1. Auflage. Springer Fachmedien. Wiesbaden.

Manzini, R.; Bozer, Y.; Heragu, S. (2015): Decision models for the design, optimization and management of warehousing and material handling systems. In: International Journal of Production Economics 170. S. 711-716.

Marchet, G.; Melacini, M.; Perotti, S. (2014): Investigating order picking system adoption. A case-study-based approach. In: International Journal of Logistics Research and Applications 18 (1), S. 82-98.

Martin, H. (2009): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 7. Auflage. Vieweg+Teubner. Wiesbaden.

McGinnis, L.; Goetschalckx, M.; Sharp, G.; Bodner, D.; Govindaraj, T. (2000): Rethinking Warehouse Design. In: Proceedings of the 2000 International Material Handling Research Colloquium.

McGinnis, L. F. (2012): An object oriented and axiomatic theory of warehouse design. In: 12th IMHRC Proceedings.

McGinnis, L. F.; Sprock, T. (2014): XII. INTEGRATING ANALYSIS INTO A WAREHOUSE DESIGN WORKFLOW.

McGinnis, L.; Sprock, T. (2016): Toward an Engineering Discipline of Warehouse Design. In: 14th IMHRC Proceedings.

Mourtzis, D.; Samothrakis, V.; Zogopoulos, V.; Vlachou, E. (2019): Warehouse Design and Operation using Augmented Reality technology: A Papermaking Industry Case Study. In: Procedia CIRP 79. S. 574-579.

Murrenhoff, A.; McGinnis, L. F.; Sprock, T. (2015): Toward a Tool Chain for Warehouse Design Decision Support. In: Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference..

Nitsche, B.; Figiel, A. (2016): Zukunftstrends der Lebensmittellogistik-Herausforderungen und Lösungsimpulse. Universitätsverlag der TU Berlin. Berlin.

Nogués, A.; Valladares, J. (2017): Business Intelligence Tools for Small Companies: A Guide to Free and Low-Cost Solutions - ETL Basics. 1. Auflage. Apress. Berkeley.

Osterloh, E. Eber, G.; Held, W.-H. (1996): Handbuch der Lebensmitteltechnologie. Lagerung von Obsts- und Spdfrüchten. Ulmer Verlag. Stuttgart.

Öztürkoğlu, Ö.; Gue, K. R.; Meller, R. D. (2014): A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points. In: *European Journal of Operational Research* 236 (1). S. 382-394.

Öztürkoğlu, Ö.; Hoser, D. (2018): A discrete cross aisle design model for order-picking warehouses. In: *European Journal of Operational Research* 239 (3).

Pohl, L. M.; Meller, R. D.; Gue, K. R. (2009): Optimizing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse. In: *Naval Research Logistics* 56 (5). S. 389-403.

Pyza, D.; Jachimowski, R.; Jacyna-Golda, I.; Lewczuk, K. (2017): Performance of Equipment and Means of Internal Transport and Efficiency of Implementation of Warehouse Processes. In: *Procedia Engineering* 187. S. 706-711.

Rakesh, V.; Adil, G. K. (2015): Layout Optimization of a Three Dimensional Order Picking Warehouse. In: *IFAC-PapersOnLine* 48 (3). S. 1155-1160.

Ramprecht, P.; Riester, M.; Sihn, W. (2019): Model for the conceptual design of unit load warehouse systems through the integrated solution of five sub-problems. In: Georg Kartnig, Nenad Đ. Zrnić und Srđan Bošnjak (Hg.): *MHCL 2019*. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering, S. 267–266.

Römisch, P. (2011): *Materialflusstechnik, Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen der Frödertechnik*. 10. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag. Wiesbaden.

Roodbergen, K. J.; Sharp, G. P.; Vis, I. F.A. (2008): Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. In: *IIE Transactions* 40 (11). S. 1032–1045.

Roodbergen, K. J.; Vis, I. F.A.; Taylor, G. D. (2014): Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. In: *International Journal of Production Research* 53 (11). S. 3306-3326.

Rouwenhorst, B.; Reuter, B.; Stockrahm, V.; van Houtum, G. J.; Matel, R. J.; Zijm, W. H. M. (1999): Warehouse design and control: Framework and literature review, In: *European Journal of Operational Research* 122. S. 515-533.

Schieweck, S.; Kern-Isberner, G.; ten Hompel, M. (2017): *Planung von Intralogistiksystemen mit Hilfe von Antwortmengenprogrammierung*. Technische Universität Dortmund. Dortmund.

Sooksaksun, N.; Kachitvichyanukul, V.; Gong, D. C. (2012): A class-based storage warehouse design using a particle swarm optimisation algorithm. In: *IJOR* 13 (2). S. 219–236.

Soto-Silva, W.; González-Araya, M.; Oliva-Fernández, M.; Plà, L. (2017). Optimizing fresh food logistics for processing: Application for a large Chilean apple supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*. 136. S. 42-57.

Sprock, T.; Murrenhoff, A.; McGinnis, L. F. (2016): A hierarchical approach to warehouse design. In: *International Journal of Production Research* 55 (21). S. 6331-6343.

Staab, G. (2016): OptiMAL - Optimale Planung manueller Lagersysteme. Forschungsbericht zu dem IGF-Vorhaben der Forschungsstelle Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik. Technische Universität München. München.

Ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Dregger, J. (2018): *Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer. Berlin.

Ten Hompel, M.; Schmidt, T. (2010): *Warehouse Management, Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer. Berlin.

Ten Hompel, M.; Swadowsky, V.; Beck, M. (2011a): *Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. 1. Auflage. Heidelberg: Springer. Berlin.

Ten Hompel, M.; Swadowsky, V.; Beck, M. (2011b): *Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Heidelberg: Springer. Berlin.

Thomas, L. M.; Meller, R. D. (2013): Using Analytical Models to Assess Performance in Overall Warehouse Design. In: *Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference*. S. 1205-1214.

Thomas, L. M.; Meller, R. D. (2014): Analytical models for warehouse configuration. In: *IIE Transactions* 46 (9). S. 928-947.

Thomas, L. M.; Meller, R. D. (2015): Developing design guidelines for a case-picking warehouse. In: *International Journal of Production Economics* 170. S. 741-762.

Vaishnavi, V.; Kuechler, W. (2008): *Design Science Research Methods and Patterns. Innovating information and communication technology*. New York: Auerbach Publications.

Van den Berg, J. P. (1999): A literature survey on planning and control. In: *IIE Transactions*, 31:8. S. 751-762.

Van den Gils, T.; Ramaekers, K.; Caris, A.; de Koster, R. B.M. (2018): Designing efficient order picking systems by combining planning problems. *State-of-the-art*

classification and review. In: European Journal of Operational Research 267 (1). S. 1-15.

VDI 2221:2019-11: Entwicklung technischer Produkte und Systeme | Modell der Produktentwicklung.

VDI 2689:2010-05: Leitfaden für Materialflussuntersuchungen.

VDI 3590 1994-04: Kommissioniersysteme Grundlagen.

VDI 3633 2018-05: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen Begriffe.

VDI 5200 2016-05: Fabrikplanung | Morphologisches Modell der Fabrik zur Zielfestlegung in der Fabrikplanung.

Waters, D. (2003): Logistics. An introduction to supply chain management, Hampshire: Palgrave Macmillan, Mendham.

Weiden, W., Malorg GmbH (03.07.2020): Persönliche Korrespondenz. Wien.

Wieringa, R. (2014): Design Science Methology. for Informsation Systems and Software Engineering. Heidelberg. Springer. Berlineisen.

Yang, Y.; Chi, H.; Tang, O.; Zhou, W. Fan, T. (2019): Cross perishable effect on optimal inventory preservation control. In: European Journal of Operational Research 276 (3). S. 998-1012.

Yener, F.; Yazgan, H. (2019): Optimal warehouse design: Literature review and case study application. In: Computers & Industrial Engineering 129. S. 1-13.

Yoon, C. S.; Sharp, G. P. (1996): A structured procedure for analysis and design of order pick systems. In: IIE Transactions 28 (5).

Yu, M.; Nagurney, A. (2013): Competitive food supply chain networks with application to freh produce. In: European Journal of Operational Research 224 (2013). S. 273-282.

Zagler, F.; SPAR Österreichische Warenhandels-AG (23.04.2020): Persönliche Korrespondenz. Ebergassing.

# 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die fünf Sub-Probleme der konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (eigene Darstellung nach Gu et al. 2010, S. 540) .....	1
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit in sieben Kapiteln.....	6
Abbildung 3: Übersicht über den Aufbau des Kapitels Theoretische Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs .....	7
Abbildung 4: Aufbau und Merkmale eines Systems (eigene Darstellung nach ten Hompel 2011a, S. 5).....	10
Abbildung 5: Lagerstruktur entlang des Materialflusses (eigene Darstellung nach Martin 2009, S. 349; ten Hompel 2018, S. 57).....	11
Abbildung 6: Systematik der Lagerarten (eigene Darstellung nach Arnold 2008, S. 375f.).....	12
Abbildung 7: Technische Gestaltungsmöglichkeiten der Lagerplätze und Regale für Stückgut (eigene Darstellung nach ten Hompel 2018, S. 58).....	14
Abbildung 8: Technische Gestaltungsmöglichkeiten der Lagergeräte und Lastaufnahmemittel sowie Zu- und Abfördersysteme in Form von Fördertechnik (eigene Abbildung nach ten Hompel 2018, S. 129) .....	16
Abbildung 9: Kommissionierprozesse entlang des Materialflusses (eigene Darstellung nach ten Hompel 2010, S. 10).....	22
Abbildung 10: Technische Ausführung von Kommissioniersystemen gegliedert nach Automatisierungsgrad und Kommissionierverfahren (vgl. ten Hompel 2010, S. 66).....	26
Abbildung 11: Phasen eines logistischen Planungsprojektes (eigene Abbildung nach Vorlage von Martin 2009, S. 443) .....	28
Abbildung 12: Planungsprobleme in der Konzeptplanungsphase von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Gu et al. 2010, S. 540) .....	28
Abbildung 13: Übersicht über den Aufbau des Kapitels Stand von Wissenschaft und Technik.....	34
Abbildung 14: Zuordnung von Planungsaufgaben der Lagerplanung zu dem entsprechenden Wirkungszeitraum .....	35
Abbildung 15: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 1 .....	44
Abbildung 16: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 2 .....	45

Abbildung 17: Bewertung der Planungsmodelle aus der Literaturrecherche gemäß Erfüllungsgrad der sechs definierten Themenschwerpunkte, Teil 3 .....	46
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Scientific Method mit den fünf Schritten des Design-Science-Research-Process (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 82) ....	56
Abbildung 19: Forschungsstrategien im methodischen Rahmenwerk des Design-Science-Ansatzes (vgl. Johannesson und Perjons 2014, S. 84) .....	56
Abbildung 20: Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses (eigene Darstellung nach VDI 5200 Blatt 1, S. 8) .....	58
Abbildung 21: Vier Schritte der Konzeptplanung im Zuge des Fabrikplanungsprozesses (eigene Darstellung nach VDI 5200 Blatt 1, S. 8) .....	59
Abbildung 22: Vorgehensmodell zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen im Lebensmittelgroßhandel in sechs Schritten .....	63
Abbildung 23: Bestimmung der Zielgewichte je Alternative nach Logik der Präferenzanalyse.....	67
Abbildung 24: Prozesslandkarte in Form eines Flussdiagramms .....	69
Abbildung 25: Beispielhaftes Materialflussschema für n Prozessstränge durch die Funktionsbereiche .....	73
Abbildung 26: Finale Auswahl eines ETL-Tools als Grundlage zur Datenintegration im Zuge der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen (vgl. Knödgen 2017, S. 57).....	77
Abbildung 27: Schematische Darstellung des Übersetzungsprozesses .....	79
Abbildung 28: Darstellung der Funktionsweise des Datenintegrationswerkzeugs zur konzeptionellen Planung von Lager- und Kommissioniersystemen.....	80
Abbildung 29: MS-Excel-Eingabemaske Tabellenblatt Wareneingangsdaten_Quellenangaben .....	80
Abbildung 30: MS-Excel-Eingabemaske Tabellenblatt Wareneingangsdaten_Metadaten.....	81
Abbildung 31: Zuordnung der zu ermittelnden Durchsatz- und Bestandsanforderungen zu den einzelnen Funktionsbereichen .....	84
Abbildung 32: Matrix zur Vorauswahl potenziell geeigneter Kommissionierverfahren für die einzelnen Funktionsbereiche anhand der Ergebnisse der Schritte 1 bis 3 (W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020) .....	93
Abbildung 33: Auswahlmatrix für potenziell geeignete Ladungsträger in Abhängigkeit vom Kommissionierverfahren, Artikelvolumen,	

Anlieferungsgebäude, Artikelbestand und von der Reichweite im Kommissionierbereich .....	96
Abbildung 34: Auswahlmatrix spezifischer Lager- und Regalarten hinsichtlich genereller Eignung .....	97
Abbildung 35: Matrix zu Auswahl potenziell geeigneter Lagerplätze bzw. Regalsysteme für den entsprechenden Ladungsträger .....	97
Abbildung 36: Matrix zur Vorauswahl der als Lagergeräte eingesetzten Fördertechnik (vgl. Gudehus 2012 S. 589; W. Weiden, Fa. Malorg GmbH, persönliche Korrespondenz, Wien, 03.07.2020).....	98
Abbildung 37: Auswahlmatrix zur Gestaltung des Zu- und Abfördersystems in Abhängigkeit vom gewählten Lagergerät .....	98
Abbildung 38: Auswahlmatrix für potenziell geeignete Zu- und Abfördersysteme in Abhängigkeit vom Ladungsträger .....	99
Abbildung 39: Auswahlmatrix für Sortiersysteme in Abhängigkeit von der gewünschten Stundenleistung (eigene Tabelle nach Jodin und ten Hompel 2012, S. 60ff.).....	99
Abbildung 40: Schematische Darstellung des Wareneingangs .....	102
Abbildung 41: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Wareneingangsfläche .....	103
Abbildung 42: Schematische Darstellung des Warenausgangs .....	104
Abbildung 43: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Warenausgangsfläche .....	104
Abbildung 44: Erfassung der Anzahl der in Schritt 5 ausgewählten Ladungsträger für Kommissionierbereich und Lagerbereich .....	105
Abbildung 45: Schematische Darstellung eines Blocklagers .....	107
Abbildung 46: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Blocklagerfläche .....	107
Abbildung 47: Schematische Darstellung eines separaten Fachbodenlagers .....	108
Abbildung 48: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Fachbodenregale.....	109
Abbildung 49: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein separates Fachbodenlager.....	109
Abbildung 50: Schematische Darstellung eines Palettenregalbereiches mit Paletten und/oder Fachbodenregalen im Kommissionierbereich.....	111
Abbildung 51: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale .....	111

Abbildung 52: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager .....	112
Abbildung 53: Schematische Darstellung eines Hochregallagers (HRL) bzw. eines Automatischen Kleinteilelagers (AKL).....	113
Abbildung 54: Eingabemaske zur Berechnung der Anzahl der benötigten Regale im Hochregallager .....	113
Abbildung 55: Eingabemaske zur Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager .....	114
Abbildung 56: Vorteile der einzelnen Anfahrpositionen bei der nebeneinanderliegenden Anordnung von Warenein- und -ausgang (eigene Darstellung nach Thomas et al. 2014, S. 930).....	115
Abbildung 57: Vorteile der einzelnen Anfahrpositionen bei der gegenüberliegenden Anordnung von Warenein- und -ausgang (eigene Darstellung nach Thomas et al. 2014, S. 930).....	116
Abbildung 58: Inputdaten zur Visualisierung der Materialflussbeziehungen.....	117
Abbildung 59: Beispielhafte Darstellung der Transportintensitäten zwischen den einzelnen Lagerbereichen in VisTABLE .....	117
Abbildung 60: Beispielhafte Grobanordnung der Funktionsbereiche zur Minimierung des theoretischen Transportaufwandes .....	118
Abbildung 61: Eingabemaske zur Kalkulation der Zeit pro durchschnittlichem Kommissionierauftrag im Werkzeug zur Kalkulation manueller Zeitaufwände.....	122
Abbildung 62: Kalkulation der mittleren Pickleistung pro Person pro Stunde aus den Angaben in Abbildung 61.....	123
Abbildung 63: Investitionen, gegliedert nach Teilbereichen.....	125
Abbildung 64: Investition für Lager- und Kommissioniertechnik .....	126
Abbildung 65: Investitionen für Regaltechnik je Grobkonzeptvariante.....	127
Abbildung 66: Investitionen für Unstetigfördertechnik je Grobkonzeptvariante.....	127
Abbildung 67: Investitionen für Stetigfördertechnik je Grobkonzeptvariante.....	128
Abbildung 68: Eingabemaske zur Kalkulation der Betriebskosten pro Jahr.....	129
Abbildung 69: Kalkulation der kalkulatorischen Abschreibung der unterschiedlichen Investitionsklassen.....	129
Abbildung 70: Kalkulation der Instandhaltungs- und Energiekosten pro Jahr.....	130
Abbildung 71: Kalkulation der Personalkosten pro Jahr .....	130

Abbildung 72: Bestimmung der Zielwerte je Alternative nach Logik der Nutzwertanalyse .....	133
Abbildung 73: Restriktionskatalog .....	135
Abbildung 74: Präferenzanalyse zur Gewichtung der Zielattribute .....	136
Abbildung 75: Prozessesstrangkatalog .....	137
Abbildung 76: Durchsatz- und Bestandsanforderungsflussbild für die Auslegungswerte im Zielplanungsjahr .....	138
Abbildung 77: Beispielhafte Generierung einer Grobkonzeptvariante für den Prozessesstrang PS_01 mit Hilfe der Technologiematrix.....	141
Abbildung 78: Potenziell geeignete Regaltechnik je Prozessesstrang sowie Lager- und Kommissionierbereich .....	142
Abbildung 79: Alle Möglichkeiten zur Kombination der einzelnen Bereiche .....	143
Abbildung 80: Beispielhafte Generierung einer Grobkonzeptvariante für den Prozessesstrang PS_01 mit Hilfe der Technologiematrix.....	144
Abbildung 81: Kalkulation der benötigten Wareneingangsfläche für das Trockensortiment.....	145
Abbildung 82: Kalkulation der benötigten Warenausgangsfläche für das Trockensortiment.....	145
Abbildung 83: Kalkulation der benötigten Blocklagerfläche im Kommissionierbereich für den Prozessesstrang PS_02.....	146
Abbildung 84: Kalkulation der benötigten Blocklagerfläche im Lagerbereich für den Prozessesstrang PS_02.....	146
Abbildung 85: Verteilung der Ladungsträger des Prozessesstranges PS_03 .....	147
Abbildung 86: Berechnung der Anzahl benötigter Palettenregale für den Prozessesstrang PS_03.....	148
Abbildung 87: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche für den Prozessesstrang PS_03.....	148
Abbildung 88: Verteilung der Ladungsträger der Prozessesstränge PS_01 und PS_08.....	149
Abbildung 89: Berechnung der Anzahl benötigter Palettenregale für die Prozessesstränge PS_01 und PS_08 .....	149
Abbildung 90: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche im Kommissionierbereich für die Prozessesstränge PS_01 und PS_08 .....	150
Abbildung 91: Verteilung der restlichen Ladungsträger für den Nachschubbereich der Prozessesstränge PS_01 und PS_08 .....	150

Abbildung 92: Kalkulation der Anzahl der Regale für den horizontal getrennten Lagerbereich für die Prozessstränge PS_01 und PS_08 .....	151
Abbildung 93: Kalkulation der benötigten Regallagerfläche im separaten Lagerbereich für die Prozessstränge PS_01 und PS_08 .....	151
Abbildung 94: Flächenbilanz Trockensortiment.....	152
Abbildung 95: Anordnung der Flächen am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	152
Abbildung 96: Anzahl der Lagerplätze je TS-Grobkonzeptvariante .....	153
Abbildung 97: Leistung für manuelle Tätigkeiten je TS-Grobkonzeptvariante und Prozessstrang.....	153
Abbildung 98: Leistungsanforderungen je Prozessstrang und je Tagesprofil für die einzelnen Grobkonzeptvarianten .....	154
Abbildung 99: Berechnung der Investition für Regaltechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	155
Abbildung 100: Berechnung der Investition für Unstetigfördertechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	155
Abbildung 101: Berechnung der Investition für Unstetigförderer am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3.....	155
Abbildung 102: Berechnung der Investition für Lager- und Kommissioniertechnik am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3.....	156
Abbildung 103: Investitionssumme für TS-Grobkonzeptvariante 3.....	156
Abbildung 104: Abschreibung für Gebäude sowie Lager- und Kommissioniertechnik über den Planungszeitraum am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	156
Abbildung 105: Entwicklung der Instandhaltungs- und Energiekosten über den Planungszeitraum für die TS-Grobkonzeptvariante 3.....	157
Abbildung 106: Lohnklassen inkl. erwarteter Steigerung.....	157
Abbildung 107: Berechnung des Personalbedarfs im Zielplanungsjahr für die Bereiche Nachschub und Kommissionierung am Beispiel der TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	158
Abbildung 108: Zuteilung der kalkulierten Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu den einzelnen Lohnklassen zur Bildung der gewichteten Summe am Beispiel des TS-Grobkonzeptes 3 .....	159
Abbildung 109: Mittlere Betriebskosten über den Planungshorizont für die TS-Grobkonzeptvariante 3 .....	159

Abbildung 110: Ausprägungsgrenzen für die Zielplanungsattribute mit Zuweisung des jeweiligen Präferenzwertes .....	159
Abbildung 111: Gemäß der multiattributiven Zielwertefunktion zu präferierende Grobkonzeptvariante .....	160
Abbildung 112: Interdependenzen zwischen den fünf Sub-Planungsproblemen, die beim Vorgehensmodell berücksichtigt werden.....	165
Abbildung 113: Gegenüberstellung des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Vorgehensmodells mit den Planungsmodellen, die gemäß Kapitel 3 den am höchsten bewerteten Erfüllungsgrad hinsichtlich der sechs Themenschwerpunkte aufweisen .....	176
Abbildung 114: Injektions-Transformation in der Pentaho Data Integration Benutzeroberfläche .....	183
Abbildung 115: Integrations-Transformation in der Pentaho Data Integration Benutzeroberfläche .....	183
Abbildung 116: Technologiematrix zur Generierung von Grobkonzeptvarianten Teil 1.....	184
Abbildung 117: Technologiematrix zur Generierung von Grobkonzeptvarianten Teil 2.....	185
Abbildung 118: Beispielhafte Modellierung eines Kommissioniervorganges mittels MTM und UAS.....	186

## 12 Formelverzeichnis

Formel 1: Multiattributive Zielwertefunktion .....	66
Formel 2: Bedingungen für die Zielgewichte.....	67
Formel 3: Kriterien für die Zuordnung der Präferenzen zu Zahlenwerten.....	68
Formel 4: Kalkulation gegengleicher Präferenzwerte .....	68
Formel 5: Gewichtung der Zielattribute.....	68
Formel 6: Lagerreichweite .....	88
Formel 7: Erforderlicher Bestand auf Kommissionierplätzen.....	88
Formel 8: Berechnung von LT-Äquivalenten .....	103
Formel 9: Berechnung der Wareneingangsfläche .....	103
Formel 10: Berechnung der Warenausgangsfläche .....	105
Formel 11: Berechnung des mittleren Bestandes im Kommissionierbereich je Artikel .....	106
Formel 12: Berechnung des maximalen Bestandes im Kommissionierbereich je Artikel .....	106
Formel 13: Berechnung des Restbestandes für den Lagerbereich je Artikel.....	106
Formel 14: Berechnung eines Blocklagers .....	107
Formel 15: Berechnung der Anzahl der benötigten Fachbodenregale .....	108
Formel 16: Berechnung der benötigten Fläche für ein Fachbodenlager.....	109
Formel 17: Berechnung der durch Fachbodenregale blockierten Palettenstellplätze .....	110
Formel 18: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Kommissionierbereich .....	111
Formel 19: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Nachschub-/Lagerbereich.....	111
Formel 20: Berechnung der Anzahl der Regale im Palettenbereich.....	112
Formel 21: Berechnung der benötigten Fläche für ein Palettenregallager.....	112
Formel 22: Berechnung der Anzahl der benötigten Palettenregale im Hochregallager .....	114
Formel 23: Berechnung der benötigten Fläche für ein Hochregallager .....	114
Formel 24: Berechnung der Kommissionierleistung pro Person pro Stunde .....	123

Formel 25: Prüfung der gewählten Werte für die Stark-, Normal- und Schwachtage .....	124
Formel 26: Berechnung der Gesamtinvestition.....	125
Formel 27: Berechnung der Gesamtinvestition.....	126
Formel 28: Berechnung der Anzahl benötigter Geräte je Bereich .....	127
Formel 29: Berechnung der Betriebskosten pro Jahr .....	128
Formel 30: Multiattributive Zielwertefunktion .....	131
Formel 31: Intervall der Einzelwertfunktionen.....	131
Formel 32: Definition der Ausprägungsintervalle .....	131
Formel 33: Bestimmung des wertmäßigen Mittelpunktes .....	132
Formel 34: Interpolation der Einzelwerte .....	133

## 13 Formelzeichen

$A_A$	Anzahl Artikel
$A_i$	Lösungsalternativen
$A_{FBR}$	Anzahl Fachbodenregale
$A_{FBx}$	Anzahl Fachbodenregale in x-Richtung je Lane
$A_{FBy}$	Anzahl Fachbodenregale in y-Richtung je Lane
$A_{KLTi}$	Anzahl Ladungsträger im Kommissionierbereich
$A_{Ku}$	Anzahl Kreuzungen
$A_{Ku}$	Anzahl Kurven
$A_{LLTi}$	Anzahl Ladungsträger im Lagerbereich
$A_{LTT}$	durchschnittliche Anzahl LT pro Tour
$A_{LTx}$	Anzahl Ladungsträger in x-Richtung je Lane
$A_{LTy}$	Anzahl Ladungsträger in y-Richtung je Lane
$A_{PALR}$	Anzahl Palettenregale
$A_{PALx}$	Anzahl Palettenregale in y-Richtung je Lane
$A_{PALy}$	Anzahl Palettenregale in x-Richtung je Lane
$A_{Picks}$	Anzahl Picks
$A_{St}$	Zu fahrende Strecke
$A_{Pos}$	Anzahl Positionen
$a_{GSx}$	Abstand zwischen Gut und Steher in x-Richtung [m]
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]
$a_{ij}$	Ausprägungen der Zielplanungsattribute
$a_{ij}^+$	Ausprägung mit höchstem Präferenzwert
$a_{ij}^-$	Ausprägung mit geringstem Präferenzwert
$a_j^{0,5}$	Wertmäßiger Mittelpunkt des Ausprägungsintervalls
$a_j^o$	Obere Grenze des Ausprägungsintervalls
$a_j^u$	Untere Grenze des Ausprägungsintervalls
$a_{GTz}$	Abstand zwischen Gut und Traverse in z-Richtung [m]
$a_{ZGx}$	Abstand zwischen den Gütern in x-Richtung [m]
$a_{ZRY}$	Abstand zwischen den Regalen in y-Richtung [m]
$Anzahl_{LT}$	Anzahl der Ladungsträger
$b$	Breite
$b_{FT}$	Breite Fördertechnik
$b_{Gx1}$	Breite Gang in x-Richtung 1 [m]
$b_{Gx2}$	Breite Gang in x-Richtung 2 [m]
$b_{Gy1}$	Breite Gang in y-Richtung 1 [m]

$b_{Gy2}$	Breite Gang in y-Richtung 2 [m]
$b_{KLTi}$	Breite Ladungsträger im Kommissionierbereich
$b_{KT}$	Breite für Kommissionierzone
$b_{LLTi}$	Breite Ladungsträger im Lagerbereich
$b_{MP}$	zusätzliche Breite zur Zerlegung der Misch-Paletten hinter den Lanes [m]
$d_{FBx}$	Dimension Fachbodenregal in z-Richtung [m]
$d_{FBy}$	Dimension Fachbodenregal in x-Richtung [m]
$d_{LTx}$	Dimension Ladungsträger in x-Richtung [m]
$d_{LTY}$	Dimension Ladungsträger in y-Richtung [m]
$d_{PALY}$	Dimension LT/Regal in y-Richtung
$d_{Sx}$	Dimension Steher in x-Richtung [m]
$d_{Tx}$	Dimension Regal in x-Richtung [m]
$d_{Tz}$	Dimension Traverse in z-Richtung [m]
$Bestand_{Auslegungswert}$	Auslegungswert des Bestandes
$Bestand_{Komm\_MAX}$	maximaler Bestand je Artikel im Kommissionierbereich
$Bestand_{Komm\_MW}$	durchschnittlicher Bestand je Artikel im Kommissionierbereich
$Bestand_{Lager}$	Bestand im Lagerbereich
$h$	Höhe
$h_{KLTi}$	Höhe Ladungsträger im Kommissionierbereich
$h_{LB}$	Höhe Lager-/Nachschubbereich [m]
$h_{LLTi}$	Höhe Ladungsträger im Lagerbereich
$h_{nR}$	nutzbare Raumhöhe (Unterkante tiefster Träger) [m]
$h_{KB}$	Höhe Kommissionierbereich [m]
$K_i$	Kommissioniertätigkeiten
$Kapazität_{LT\_MAX}$	Maximale Kapazität des Ladungsträgers
$l$	Länge
$LT_{\ddot{A}AZ}$	Anzahl LT-Äquivalente am Auslegungstag im Zielplanungsjahr
$LT_{\ddot{A}equivalent}$	Ladungsträger-Äquivalent
$m$	Anzahl Attribute
$p$	Gewichtungsfunktion
$p_{ZAi}$	Prozentzahl der Artikel der Klasse i
$p_{ZP}$	Zwischenzupuffernder Prozentsatz der Tagesmanege [%]
$STF_d$	durchschnittlicher Stapelfaktor
$t$	Tiefe

$t_{KLTi}$	Tiefe Ladungsträger im Kommissionierbereich
$t_{LLTi}$	Tiefe Ladungsträger im Lagerbereich
$v$	Zielwertfunktion
$v_j$	Einzelwertfunktionen
$\omega_j$	Zielgewichte
$X_j$	Zielplanungsattribute

## 14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Internationale Unterschiede bei Lagersystemen (eigene Tabelle nach Bartholdi und Hackmann 2017, S. 277ff.).....	20
Tabelle 2: Die sechs grundlegenden Kommissionierverfahren und die Gestaltung der Zusammenführung der drei zentralen Elemente der Kommissionierung .....	24
Tabelle 3: Übersicht über die im Kapitel 2 getroffenen Eingrenzungen des Untersuchungsbereiches .....	32
Tabelle 4: Verschiedene in der Praxis angewandte Planungsschritte (vgl. Baker und Canessa 2009, S. 430) .....	48
Tabelle 5: Initialer Restriktionskatalog .....	64
Tabelle 6: Ziele und Beispiele für zugehörige Attribute bei der Planung von Lager- und Kommissioniersystemen.....	66
Tabelle 7: Bei der Ist-Analyse zu erfassende Haupt- und Nebenprozesse.....	70
Tabelle 8: Beispielhafte Darstellung eines Prozessstrangkataloges.....	73
Tabelle 9: Definition der Metadaten (vgl. Casters et al. 2010, S. 27f.).....	78
Tabelle 10: Im Lebensmittelhandel eingesetzte Ladungsträger (vgl. ten Hompel et al. 2018, S. 25f., J. Grafeneder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020).....	95
Tabelle 11: Genormte EUL-Maße für Palettenhöhen (vgl. <a href="https://www.ecr.digital/book/optimierter-warenfluss/eul-empfehlungen/">https://www.ecr.digital/book/optimierter-warenfluss/eul-empfehlungen/</a> (gelesen am: 25.04.2020)) .....	96
Tabelle 12: Beispielhafte Darstellung von drei getrennten Kommissionierbereichen mit je drei unterschiedlichen Ausprägungen.....	101
Tabelle 13: Bewertung von Zielattributen mit diskreter Ausprägung.....	120
Tabelle 14: Höchsttemperaturen für tiefgefrorene und gefrorene Lebensmittel, Speiseeis sowie für kühlbedürftige Lebensmittel (vgl. DIN 1508:2019-03, Tabelle 1-3).....	177
Tabelle 15: Ergänzung der optimalen Temperaturen für kühlbedürftige Lebensmittel pflanzlicher Herkunft (J. Grafeneder, Fa. Kastner GroßhandelsgesmbH, persönliche Korrespondenz, Zwettl, 23.04.2020): .....	178
Tabelle 16: Ethylenabgabe- und Empfindlichkeitsverhalten bei Obst und Gemüse (vgl. Böttcher 1996, S. 181ff.; Osterloh et al. 1996, S.57ff.).....	179
Tabelle 17: Datenanforderungsliste zur Durchführung des Vorgehensmodells .....	180

Tabelle 18: Standardisierte Feldnamen der vier zu generierenden Output-Dateien als Ziel der Datenintegration im Zuge des Vorgehensmodells.....	182
---	-----

## 15 Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
AKL	Automatisches Kleinteilelager
AWA	Auslegungstag der Warenabgänge
B2C	Business to Customer
BA	Bestandsanforderungen
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	cirka
COI	Cube-per-Order-Index
c	Comma separated value
d	Tag
D	Durchführer
DA	Durchsatzanforderungen
DD-PAL	Düsseldorferpaletten
DIN	Deutsches Institut für Normung
Dipl.	Diplom
DLR	Durchlaufregal
DKSAB	Dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung
Dr.	Doktor
E	Entscheider
€	Euro
E-PAL	Europalette
EBK	erforderlicher Bestand auf Kommissionierplätzen
ERP	Enterprise-Ressource-Planning
et al.	und andere
etc.	et cetera
ETL	extract, transform, load
EUL	Efficient Unit Loads
EVE	Einzelverpackungseinheit
f	folgend
Fa.	Firma
FBR	Fachbodenregal
FD	Frischdienstsortiment
ff	folgende
FIFO	First-in-first-out
FTS	Fahrerloses Transportsystem

GmbH	Gesellschaft mit begrenzter Haftung
Ggf.	gegebenenfalls
GRWK	geforderte Reichweite je Artikel am Kommissionierplatz
GVE	Großverpackungseinheit
h	Stunde
HRL	Hochregallager
I	Informationsempfänger
ID	Identifikator
IFCO	Internal Fish Container
IKSAB	Inverses Kommissionieren mit statischer Auftragsbereitstellung
Ing.	Ingenieur
inkl.	inklusive
IT	Informationssystem
K	Kommissionierbereich
kg	Kilogramm
KKSAB	Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung
KLT	Kleinladungsträger
LIFO	Last-in-First-out
L	Lagerbereich
LE	Ladeeinheit
LG	Lagergerät
LRW	Lagerreichweite
LT	Ladungsträger
M	Mitarbeiter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MB	Mittlerer Bestand
MLA	Mittlere Lagerabgänge
mm	Millimeter
mm	Minute
MM	Monat
max.	maximal
Matr.	Matrikel
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
MKSAAB	Mobiles Kommissionieren mit statischer Artikel- und Auftragsbereitstellung
MS	Microsoft

MTM	Methods- Time Measurement
Nr.	Nummer
NS	Nachschub
PAL	Palette
PDI	Pentaho Data Integration
Prof.	Professor
%	Prozent
PS	Prozessstrang
PzW	Person zu-Ware
S.	Seite
ss	Sekunde
SKDAAB	Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikel- und Auftragsbereitstellung
SKDAB	Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung
SKU	Stock Keeping Unit
T	Temperaturzone
TK	Tiefkühlsortiment
Tlw.	Teilweise
TS	Trockensortiment
u. a.	unter anderem
Univ.	Universität
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WA	Warenausgang
WE	Wareneingang
Wirt.	Wirtschaft
WMS	Warehousemanagementsystem
WzP	Ware-zu-Person
yyyy	Jahr
z. B.	zum Beispiel

## 16 Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Dipl. -Ing. Philip Ramprecht  
 Geburtsdatum und Geburtsort: 18.09.1989, Klagenfurt  
 Staatsangehörigkeit: Österreich

### Berufserfahrung

07/2020 – Heute: Gruppenleiter Logistikzentren und Netzwerkplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Logistik und Supply Chain Management, Wien

01/2020 – 07/2020: Projektleiter, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien

10/2016 – 01/2020 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien

04/2016 – 10/2016 Techniker, Technisches Büro Pfrimer GesmbH, Klagenfurt

### Akademische Laufbahn

2018 – 2020: Doktoratsstudium der Technischen Wissenschaften Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau, Technische Universität Wien

2009 – 2016 Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau, Technische Universität Wien  
 Bachelorstudium Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau, Technische Universität Wien