



Lehrstuhl für Industrielogistik

Masterarbeit

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am
Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH

Fabian Hübl, BSc

März 2021



EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

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

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 04.03.2021

Unterschrift Verfasser/in
Fabian Hübl

Kurzfassung

Die Automatisierung von Materialflüssen und Lagersystemen hat in den letzten Jahren und besonders auch im vergangenen Jahr immer mehr an Bedeutung gewonnen. Das wird auch bei einer Betrachtung der Umsätze von Firmen in dieser Branche sichtbar, welche Jahr für Jahr neue Rekorde erzielen.

Bei der Planung und Auslegung von Lagerautomatisierungslösungen steht man unweigerlich vor der Herausforderung Technologieentscheidungen treffen zu müssen, welche wesentlich die Eignung zur Zweckerfüllung eines Systems mitbestimmen.

Im Kern der Anforderungen und damit auch der Auswahlkriterien stehen immer die unternehmerischen Ziele und Geschäftsprozesse der jeweiligen Organisation. Diese Arbeit versucht einen Vorschlag für eine Vorgehensweise zu machen, wie man diese Organisationsziele in lager- bzw. automatisierungsrelevante Kennzahlen übersetzt und auf die am Markt verfügbaren Technologien anwenden kann.

Wesentlich dabei ist es, die Anforderungen von Geschäftsvorgängen wie Produktionsversorgung, Versandkommissionierung, etc. in Kenngrößen zu übersetzen, die sinnvolle Schlüsse über logistische Auslegungsfaktoren zulassen.

Die theoretisch aufgearbeiteten Themen werden in Form der entworfenen Vorgehensweise im praktischen Teil der Arbeit am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH getestet.

Abstract

The importance of the automation of material flows and storage systems has increased in recent years and especially in the past year. This is also seen when looking at the sales of companies in this industry, which achieve new records year after year.

When planning and designing warehouse automation solutions, one is inevitably confronted with the challenge of having to make technological decisions that essentially determine the suitability of a system for fulfilling its purpose.

At the core of the requirements and thus also of the selection criteria are always the business goals and business processes of the respective organization. This thesis tries to make a proposal for a procedure how to translate these organizational goals into warehouse or automation relevant metrics and how to apply them to the technologies available on the market.

It is essential to translate the requirements of business processes such as production supply, shipping picking, etc. into metrics that allow meaningful conclusions about logistics design factors.

The theoretically elaborated topics are tested in the form of the designed approach in the practical part of the thesis using the example of Knorr-Bremse Mödling GmbH.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis.....	V
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	9
1 Einleitung	12
1.1 Ausgangssituation.....	12
1.2 Problemstellung.....	13
1.3 Zielsetzung	14
1.4 Methodische Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	14
2 Begriffsklärung	15
2.1 Logistik.....	15
2.1.1 Flussorientierte Definition	16
2.1.2 Koordinierungs- und dienstleistungsorientierte Definition	17
2.2 Logistiksystem	18
2.3 Logistikleistung.....	21
2.4 Logistikziele	22
3 Lagerhaltung.....	25
3.1 Funktionen und Aufgaben des Lagers.....	25
3.1.1 Vorratslager.....	27
3.1.2 Umschlagslager.....	28
3.1.3 Verteilungslager	28
3.2 Transport und Ladung.....	30
3.2.1 Transport	31
3.2.2 Transportgut und Lagergut	31
3.2.3 Transportmittel.....	33

3.2.4	Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel	36
3.2.5	Verpackung	37
3.3	Lagermittel.....	38
3.3.1	Bodenlager.....	41
3.3.2	Statische Regallagerung	41
3.3.3	Dynamische Regallagerung	42
3.3.4	Transportmittel mit Pufferfunktion	42
3.4	Lagerbetriebsstrategien	43
3.4.1	Belegungsstrategien	43
3.4.2	Bewegungsstrategien.....	44
3.5	Lagermanipulation	45
3.5.1	Kommissionieren.....	47
3.5.2	Konsolidieren	61
3.5.3	Umschlagen	62
3.5.4	Sortieren.....	62
3.5.5	Cross-docking.....	63
3.6	Produktionsbelieferung und Fertigteilager	64
3.7	Versand.....	65
3.8	Zwischenfazit	66
4	Messbarkeit von Lagersystemen.....	67
4.1	Definition und Aufgaben von Kennzahlen	68
4.2	Kennzahlensysteme	68
4.3	Relative und absolute Kennzahlen.....	70
4.4	Entwicklung von Kennzahlensystemen	71
4.4.1	Formulierung der Ziele	72
4.4.2	Festlegung der zu untersuchenden Logistikprozesse	72
4.4.3	Hypothesenbildung über Ursache-Wirkungszusammenhänge.....	72
4.4.4	Auswahl der Kennzahlen.....	73

4.4.5	Bestimmung der Messmethoden und der Dokumentation	75
4.4.6	Anpassung der Anreizsysteme	75
4.4.7	Laufende Überprüfung, Weiter- und Neuentwicklung der Kennzahlen ...	76
4.4.8	Diagnostische und interaktive Kennzahlensysteme	76
4.5	Lagerkennzahlen	78
4.6	Zwischenfazit	84
5	Lagerautomatisierung	85
5.1	Automatisierung.....	86
5.2	Vorhandene Technologien.....	89
5.2.1	Automated storage/retrieval systems (AS/RS).....	89
5.2.2	Umlaufregale und Liftregale	94
5.2.3	AutoStore.....	96
5.2.4	Kommissioniersysteme	97
5.2.5	Automatisierte Transportfahrzeuge	103
5.3	Bewertung und Zusammenfassung der Eckdaten	104
5.3.1	AS/RS Regalbediengerät	105
5.3.2	AS/RS Shuttle	106
5.3.3	Umlaufregale und Liftregale	108
5.3.4	AutoStore.....	110
5.3.5	Vollautomatisierte Kommissioniersysteme	111
5.3.6	Kommissionierführungen	113
5.3.7	Automatisierte Transportfahrzeuge	114
5.4	Zwischenfazit	115
6	Lagerplanung (Warehouse Design)	116
6.1	Literaturzusammenfassung.....	116
6.2	Hierarchischer Ansatz	121
6.3	Zwischenfazit	123
7	Vorgehensweise zur Technologieauswahl in der Lagerautomatisierung.....	123

	Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH	Inhaltsverzeichnis
7.1	Kennzahlensystem zur Lagerautomatisierung	124
7.1.1	Logistische Anforderungen	125
7.1.2	Nicht-logistische Anforderungen	128
7.2	Vorgehensweise.....	129
7.2.1	Erfassung der IST-Situation	129
7.2.2	Anforderungen definieren	129
7.2.3	SOLL-Prozesse erarbeiten	131
7.2.4	Technologieauswahl	131
8	Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH.....	131
8.1	Knorr-Bremse Mödling GmbH.....	132
8.2	Vorgehensweise.....	133
8.2.1	Erfassung der IST-Situation	133
8.2.2	Anforderungen definieren	140
8.2.3	SOLL-Prozesse definieren	150
8.2.4	Technologieauswahl	154
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	155
	Literaturverzeichnis.....	157

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Unterscheidung der Lagerhausarten nach ihrer Funktion	27
Tabelle 2: Vergleich diagnostische und interaktive Nutzung von Kennzahlensystemen	78
Tabelle 3: 11 von Top 20 Materials Handling Systems Supplier	88
Tabelle 4: Übersicht des innerbetrieblichen Verkehrs.....	138
Tabelle 5: Stellplätze und technische Informationen des Hochregallagers	138
Tabelle 6: Stellplätze und technische Informationen des Kleinteilelagers.....	139
Tabelle 7: Greifzeiten nach zu kommissionierender Menge im Fachboden	147
Tabelle 8: Greifzeiten nach zu kommissionierender Menge am Liftregal	148
Tabelle 9: Umrechnung der Lagerleistung in Ladungsträgerbewegungen	151
Tabelle 10: Erweiterung der Leistung durch Automatisierung des Konsolidierungsprozesses.....	151
Tabelle 11: Berechnung der Ladungsträgerbewegungen für vier Kommissionierstationen	153
Tabelle 12: Ladungsträgerbewegungen für automatischen Konsolidierungsprozess	153
Abbildung 1: institutionelle Abgrenzung von logistischen Systemen	19
Abbildung 2: Grundstrukturen von Logistiksystemen.....	21
Abbildung 3: Komponenten der Logistikziele	23
Abbildung 4: Beispiele für Lagerstandorte im inner- und außerbetrieblichen Materialfluss	29
Abbildung 5: Einteilung von Stückgut.....	33
Abbildung 6: Systematik der Stetigförderer.....	35
Abbildung 7: Systematik der Unstetigförderer	36
Abbildung 8: Systematik der Lagermittel für Stückgut	40
Abbildung 9: Funktionsbereiche in einem Lager	46
Abbildung 10: Beispiele verschiedener Bereitstellungskonzepte.....	50
Abbildung 11: Beispiele verschiedener Abgabekonzepte	52
Abbildung 12: Typisierung der Ablauforganisation	54

Abbildung 13: Zusammensetzung der Kommissionierzeit	59
Abbildung 14: Systematik zur Kennzahlerfassung	81
Abbildung 15: Regalbediengerät für KLT (Hersteller Viastore).....	92
Abbildung 16: Beispiele einer Shuttleanlage (Hersteller TGW).....	94
Abbildung 17: Auto-Store Lagersystem	97
Abbildung 18: Abgabearten von Schachtkommissionierern in einstöckiger Ausführung (Hersteller Dematic)	100
Abbildung 19: Stärken-Schwächen-Analyse von Regalbediengerät.....	106
Abbildung 20: Stärken-Schwächen-Analyse von Shuttlelager.....	108
Abbildung 21: Stärken-Schwächen-Analyse von Umlauf- und Liftregalen.....	109
Abbildung 22: Stärken-Schwächen-Analyse vom AutoStore.....	110
Abbildung 23: Stärken-Schwächen-Analyse der automatischen Fachbodenregal-Kommissionierung.....	112
Abbildung 24: Stärken-Schwächen-Analyse von stationären Kommissionierrobotern.....	112
Abbildung 25: Stärken-Schwächen-Analyse von Schachtkommissionierern.....	113
Abbildung 26: Stärken-Schwächen-Analyse von Kommissionierführungen.....	114
Abbildung 27: Stärken-Schwächen-Analyse von automatisierten Transportfahrzeugen.....	115
Abbildung 28: Beschaffenheit eines Intralogistiksystems	127
Abbildung 29: schematische Anordnung von Lagerautomatisierungstechnologien	130
Abbildung 30: Produktportfolio der Knorr-Bremse für Zugsysteme	132
Abbildung 31: Lagerbereiche im Lagerhaus	134
Abbildung 32: Aufteilung des Lagers in Teilbereiche	136
Abbildung 33: Leistungsdaten der Lagerbereiche.....	140
Abbildung 34: quittierte Kommissionierzeilen im zeitlichen Verlauf.....	142
Abbildung 35: ABC-Analyse aller Artikel.....	143
Abbildung 36: Zeitlicher Verlauf von A-Drehern	144
Abbildung 37: Zeitlicher Verlauf von B-Drehern.....	144
Abbildung 38: Zeitlicher Verlauf von C-Drehern	145
Abbildung 39: zu kommissionierende Stückzahlen pro Kommissionierzeile	147

Abbildung 40: Vergleich der Kommissionierzeiten am Liftregal	148
Abbildung 41: Vergleich der Kommissionierzeiten im Fachbodenregal	149
Abbildung 42: Technologieübersicht mit erwartetem Wirkungsbereich	150
Abbildung 43: Prognostizierte Arbeitszeiten am System	152

1 Einleitung

Kapitel 1 liefert einen Überblick über die Ausgangssituation, Problemstellung und methodische Vorgehensweise dieser Masterarbeit. Des Weiteren dient dieser Abschnitt zur Darlegung des Forschungsrahmens.

1.1 Ausgangssituation

Unter industrieller Automation von Werken und Prozessen wird die Steuerungskontrolle von Prozessen und die Anwendung von Informationssystemen verstanden. Die Welt der Automatisierung ist in den vergangenen vier Jahrzehnten in einem rasanten Tempo vorangeschritten. Das Wachstum und die Ausgereiftheit sind getrieben durch den Fortschritt der Technologie, wachsende Erwartungen der UserInnen (Benutzerinnen und Benutzer) und Stand der industriellen Fertigungstechnik. Industrielle Automatisierung ist eine unüberschaubare und diversifizierte Disziplin, welche Prozesse, Maschinen, Elektronik, Software und Informationssysteme umfasst, die zusammen an gemeinsamen Zielen wie Steigerung der Produktion, Verbesserung der Qualität, Kostensenkung und erhöhter Flexibilität arbeiten.¹

Der Umbruch in der Automatisierungstechnik gerade in den Bereichen Materialfluss und Logistik ist deutlich zu sehen. Die Automatisierung von manuellen Vorgängen sowie die Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit hat im Sektor Produktionstechnik bereits stattgefunden und überträgt sich auf Materialfluss und Logistik. Dies wird auch im Sektor Transportdienste und in der betriebsübergreifenden Wertschöpfungskette deutlich und wird durch die informationstechnische Verknüpfung aller Tätigkeiten in Produktion, Fertigung und Dienstleistung erreicht. Die Bedeutung der Automatisierung reicht jedoch weiter bis ins Lager und den internen Zusammenhang von Maschinen in der Produktion.²

Govindaraj et al. (2000) bezeichnen die Gestaltung von Lager- und Distributionssystemen mehr als Kunst als eine Wissenschaft, welche die Kulturen bestimmter Designteams widerspiegelt. Lagerhäuser werden oft von Drittlogistikunternehmen entworfen und mit knappen Margen betrieben. Weiters mangelt es den Designern oft an kohärenten und expliziten Modellen für den Informations- und Funktionsfluss.³

¹ Vgl. Mehta, B. R.; Reddy, Y. J. (2014), S. 1

² Vgl. Krämer, K. (2002), S. 1

³ Vgl. Govindaraj, T. et al. (2000), S. 1099

Deshalb besteht ein erhöhter Druck, Lagerhäuser so zu konzipieren, dass sie flexibel und anpassungsfähig sind, auch wenn die verfügbaren Informationen unvollständig sind.⁴

1.2 Problemstellung

Die Logistikkosten, die innerhalb eines Lagers anfallen, werden zu einem großen Teil bereits in der Entwurfsphase festgelegt. Typischerweise verläuft ein Entwurf von der Funktionsbeschreibung über die technische Spezifikation bis hin zur Auswahl und Festlegung der Ausrüstung eines Layouts. Der Entwurf eines Lagers ist eine hochkomplexe Aufgabe, bei der in jeder Phase Kompromisse zwischen oftmals widersprüchlichen Zielen eingegangen werden müssen.⁵

In einer von Govindaraj et al. (2000) durchgeführten Untersuchung mit Lagerhausdesignern werden ebenso Kompromisse beschrieben, die die Designer bei ihrer Arbeit eingehen.⁶

Da die meisten Probleme, die bei der Lagergestaltung auftreten, leider nicht klar definiert sind und sich oft nicht auf mehrere isolierte Teilprobleme reduzieren lassen, erfordert die Gestaltung häufig eine Mischung aus analytischen Fähigkeiten und Kreativität.⁷

Begriffe wie „die Daten flüchtig begutachten“ und „einige erste Designentscheidungen treffen basierend auf Intuition, Erfahrung und Urteilsvermögen treffen“ sind typisch für den beschriebenen Prozess.⁸

Auf eine ad-hoc-Lösung ohne Struktur und ohne intensive Störanalyse hat schon zu oft die Ernüchterung in Form teurer Überarbeitungen von Teilanlagen bis zur Stilllegung von Gesamtanlagen geführt. Beim Entwurf von automatisierten Anlagen dürfen keine übereilten Entscheidungen getroffen werden, die nur die billigste Variante berücksichtigen. Einer effizienten Automatisierung des innerbetrieblichen wie auch des außerbetrieblichen Materialflusses in Handel, Dienstleistungen und in der Industrie wird auch in Zukunft wesentlich mehr Bedeutung beigemessen werden. „Effizient“ heißt in diesem Fall nicht immer die Manifestierung einer Vollautomatisierung, sondern

⁴ Vgl. Govindaraj, T. et al. (2000), S. 1099

⁵ Vgl. Rouwenhorst, B. et al. (2000), S. 515 f.

⁶ Vgl. Govindaraj, T. et al. (2000), S. 1099

⁷ Vgl. Rouwenhorst, B. et al. (2000), S. 516

⁸ Vgl. Govindaraj, T. et al. (2000), S. 1100

gerade entgegengesetzt, eine Optimierung zwischen manueller Arbeit und teilautomatischer oder automatischer Unterstützung des Menschen.⁹

Trotz der Bedeutung des Lagerdesigns sind Baker und Canessa (2009) nach einer Literaturübersicht zu dem Schluss gekommen, dass in akademischen Zeitschriften relativ wenig über den systematischen Ansatz geschrieben worden ist, der von Lagerhausdesignern verfolgt werden sollte.¹⁰

1.3 Zielsetzung

Unter diesen Bedingungen ist das Ziel der hier vorliegenden Arbeit, eine Vorgehensweise zu entwickeln, welche eine Technologieauswahl auf Kennzahlenbasis im Bereich der Lagerautomatisierung ermöglicht. Dazu soll grundlegend folgende Forschungsfrage mit genannten Unterfragen beantwortet werden:

- Welche möglichen Technologien zur Lagerautomatisierung stehen der Firma Knorr-Bremse GmbH in Mödling zur Auswahl?
 - Was sind die wesentlichen Aufgaben und Bestandteile des Lagers?
 - Welche Kennzahlen zur Messbarkeit von Lagersystemen gibt es?
 - Welche Technologien zur Automatisierung von Lagersystemen sind verfügbar und worin unterscheiden sich diese?
 - Was sind die bekannten Methoden zur Gestaltung von Lagern?

1.4 Methodische Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, einen Überblick über die für die Auslegung eines neuen automatisierten Lagerkonzepts erforderlichen Lagerkennzahlen, vorhandenen Automatisierungstechniken und Grundkonzepte des Lagerdesigns zu geben. Daraus soll eine Vorgehensweise entstehen, die es ermöglicht mittels geeigneter Kennzahlen und Werkzeugen des Lagerdesigns eine Technologieauswahl vornehmen zu können.

Aufbau der Arbeit:

Der erste Teil der Arbeit liefert einige grundlegende Begriffserklärungen rund um das Thema Logistik. Gefolgt von theoretischen Aufarbeitungen der Themen Lagerhaltung und Messbarkeit von Lagersystemen.

Die darauffolgenden Abschnitte geben einen Überblick über die aktuellen am Markt angebotenen Systeme zur Lagerautomatisierung. Weiters werden die in der Literatur

⁹ Vgl. Krämer, K. (2002), S. 12

¹⁰ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009), S. 426

gängigsten Methoden zum Lagerdesign und die dabei verwendeten Werkzeuge erläutert.

Anschließend werden die theoretisch erarbeiteten Kapitel in einer Zusammenfassung vereint und eine Vorgehensweise entwickelt, welche als Entscheidungshilfe für die Technologieauswahl von Lagerautomatisierungssystemen herangezogen werden kann.

In der letzten Passage wird die Vorgehensweise anhand von Daten der Knorr-Bremse Mödling GmbH getestet und ein Resümee daraus gezogen.

2 Begriffsklärung

Logistik geht in der Geschichte als praktisches Handeln und Geschehen weit zurück. In den Bereichen Transport, Verkehr, Umschlag und Lagern wurde die operative Logistik und anderen Namen wie z.B.: Handel, Spedition, Schifffahrt und Eisenbahn; Stapelplätze, Silos, Lagerhäuser und Stauereien; Fördern und Heben; Kanal-, Straßen- und Hafenbau immer schon betrieben.¹¹

Um ein besseres Begriffsverständnis zu schaffen, folgen in Kapitel 2 Begriffsdefinitionen rund um das Thema Logistik.

2.1 Logistik

In der betriebswirtschaftlichen Literatur finden sich eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen des Begriffs „Logistik“ und auch in der deutschen Sprache bringt der Logistikbegriff verschiedene Bedeutungen mit sich.¹² Auf der Homepage von Exportal-Logistics finden sich aktuell 38 verschiedene Definitionen.¹³

Die Begriffsbedeutung hat sich mit dem Fortschritt von lokalen Transporten (ca. 10000 v. Chr.) hin zu den ersten kontinentalen Handelsnetzwerken (1000-1800) bis zum Logistischen Netzwerkgedanken (2000 +) verändert.¹⁴

Um die verschiedenen Bedeutungen besser ordnen zu können, ist die Einteilung des Begriffes nach dem Fokus der Definition sinnvoll. Dabei ergeben sich verschiedene Orientierungen, von denen die wichtigsten in weiterer Folge kurz angeführt werden.

¹¹ Vgl. Gudehus, T. (2013), S. XVII

¹² Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 11

¹³ Vgl. Freye, <https://www.exportal-logistics.net/exportal-logistics/wissen-1/begriffsdiskussionen/logistik-definitionen.html> (Zugriff: 04.11.2020)

¹⁴ Vgl. Gudehus, T. (2013), S. XVI

2.1.1 Flussorientierte Definition

Eine flussorientierte Beschreibung des Logistikbegriffs liefert das Council of Supply Chain Management Professionals. Es lautet übersetzt wie folgt:

Logistikmanagement ist der Teil des Supply Chain Managements, der den effizienten und effektiven Vorwärts- und Rückwärtsfluss und die Lagerung von Waren, Dienstleistungen und damit zusammenhängenden Informationen zwischen dem Ursprungs- und dem Verbrauchsort plant, umsetzt und kontrolliert, um die Anforderungen der KundInnen zu erfüllen.¹⁵

Pfohl (2018) stellt fest, dass zur Logistik alle Tätigkeiten gehören, durch die die raumzeitliche Gütertransformation und die damit zusammenhängenden Transformationen hinsichtlich der Gütermengen und -sorten, der Güterhandhabungseigenschaften sowie der logistischen Determiniertheit der Güter geplant, gesteuert, realisiert oder kontrolliert werden. Das Zusammenwirken dieser Tätigkeiten, soll einen Güterfluss in Gang setzen, durch welchen ein Lieferpunkt mit einem Empfangspunkt möglich effizient verbunden wird.¹⁶

Auch Günther und Tempelmeier (2004) liefern eine flussorientierte Logistikdefinition: „In der Betriebswirtschaftslehre wird unter Logistik eine ganzheitliche, die einzelnen Funktionsbereiche der Unternehmung übergreifende Betrachtungsweise, die die Optimierung des Material- und Erzeugnisflusses unter Berücksichtigung der damit zusammenhängenden Informationsströme zum Ziel hat, verstanden.“¹⁷

Koch (2012), fasst die flussorientierte Begriffsdefinition als funktionsübergreifende Sicht der Logistik zusammen. Mit der Optimierung von Logistik wird versucht, Effizienzvorteile im Unternehmen zu erwirken, welche durch diese Punkte entstehen:

- Durch bessere Abwicklung von Einzelaktivitäten
- Durch verbesserte Abstimmung zwischen unterschiedlichen Bereichen
- In Skaleneffekten durch Zusammenfassung von ähnlichen Aktivitäten¹⁸

¹⁵ Vgl. https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx (Zugriff: 04.11.2020) übersetzt durch den Verfasser

¹⁶ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 12

¹⁷ Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 9

¹⁸ Vgl. Koch, S. (2012), S. 8

2.1.2 Koordinierungs- und dienstleistungsorientierte Definition

Eine Weiterentwicklung der flussorientierten Definition sind Begriffserklärungen, die eher den Koordinierungs- oder Dienstleistungsaspekt der Logistik in den Vordergrund stellen. Nach Rationalisierungsvorgängen einzelner betrieblicher Funktionen sind weitere Optimierungen nur durch Beeinflussung von Struktur und Höhe des Bedarfs an material- und güterflussbezogenen Dienstleistungen zu erreichen.¹⁹

Zsifkovits (2012) erklärt den Begriff „Logistik“ koordinationsorientiert wie folgt:

„Logistik ist das Management vernetzter Prozesse innerhalb und außerhalb des Unternehmens, die wie Kettenglieder ineinandergreifen und direkt oder indirekt der Wertsteigerung im Sinne des Kundennutzens dienen.“²⁰

Weber und Kummer (1990) liefern eine ausführlichere Definition der Logistik als Koordinationsfunktion:

„Logistik ist das Management von Prozessen und Potenzialen zur koordinierten Realisierung unternehmensweiter und unternehmensübergreifender Materialflüsse und der dazugehörigen Informationsflüsse (Prozessmanagement der Wertschöpfungskette). Die materialflussbezogene Koordination beinhaltet insbesondere die horizontale Koordination zwischen Lieferanten (Vorlieferanten), Unternehmensbereichen und KundInnen (bis zu den EndabnehmerInnen) sowie die vertikale Koordination zwischen Planungs-, Steuerungs-, Durchführungs- und Kontrollebenen (von der strategischen bis zur operativen Ebene).“²¹

Martin (2014), beschreibt Logistik als ein bereichsübergreifendes Systemdenken und ein Denken in Gesamtkosten. Als Gegenstände der Logistik nennt er Güter, Waren, Materialien, Werkstücke und Information.²²

Diese Definitionen bauen auf dem Gedanken auf, dass eine Dienstleistung KundenInnen nur optimal zur Verfügung gestellt werden kann, wenn alle Aktivitäten zur Produktion in koordinierter Weise erbracht werden.²³

Da sich diese Arbeit mit automatisierten Lagersystemen und somit direkt mit den Materialflüssen auseinandersetzt, wird hier der flussorientierten Logistikdefinition mehr Bedeutung beigemessen. Alle weiteren Logistik-Definitionen, wie z.B. jene, die unter

¹⁹ Vgl. Grün, O.; Jammernegg, W.; et al. (2019), S. 256

²⁰ Zsifkovits, H. E. (2012), S. 26

²¹ Weber, J.; Kummer, S. (1990), S. 776

²² Vgl. Martin, H. (2014), S. 2

²³ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 13

lebenszyklusorientierte Definitionen fallen, haben ihre Bedeutung im jeweiligen Zusammenhang.

Es kann weiters festgehalten werden, dass alle Definitionen gute Ansatzpunkte zum Verständnis der Logistik liefern können, keine jedoch einen transparenten und widerspruchsfreien Logistikbegriff bildet. Im jeweiligen Anwendungsfall muss daher zunächst geklärt werden, welches betriebswirtschaftliche Problem mit Hilfe der Logistik gelöst werden soll, woraus in weiterer Folge abgeleitet werden muss, welche Sicht oder Definition am besten die Problemlösung unterstützt. Es ist außerdem zu beachten, dass die Logistik keine Aneinanderreihung von Maßnahmen und Instrumenten bereitstellt. Stattdessen muss ein logistisches Konzept erarbeitet werden, welches die Logistik als eigene betriebliche Funktion neben anderen etabliert.²⁴

In der Literatur finden sich unter Anforderungen der Logistik verschiedenste Abänderungen der „sechs R“ – auch als das logistische Prinzip bekannt. Dieses beinhaltet je nach Autor zwischen vier und sieben grundlegende Aufgaben. Die hier Angeführte Version ist von Zsifkovits (2012) und beinhaltet sechs Aufgaben:

- das richtige Gut
- zur richtigen Zeit
- am richtigen Ort
- in der richtigen Menge
- in der richtigen Qualität
- zu den richtigen Kosten²⁵

2.2 Logistiksystem

„Systeme zur raumzeitlichen Gütertransformation sind Logistiksysteme; die in ihnen ablaufenden Prozesse demnach Logistikprozesse. Sie laufen in sogenannten Logistikunternehmen ab. Das sind Dienstleistungsunternehmen, deren Unternehmenszweck Raum- und Zeitüberbrückung ist. Sie laufen aber auch in Industrie-, Handels- oder Dienstleistungsunternehmen ab, bei denen die Raum- und Zeitüberbrückung lediglich eine Teilaufgabe zur Erfüllung des eigentlichen Unternehmenszweckes darstellt.“²⁶ Für Logistiksysteme ist das Ineinandergreifen von Bewegungs- und Lagerprozessen charakteristisch.²⁷ Grundfunktionen von Logistiksystemen sind die raumzeitlichen Veränderungen von Gütern. Mit der Erfüllung

²⁴ Vgl. Koch, S. (2012), S. 10

²⁵ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 26

²⁶ Pfohl, H.-C. (2018), S. 3

²⁷ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 5

dieser Grundfunktionen geht auch häufig der Aspekt der Mengen- und Sortenänderung der Güter einher. Logistik lässt sich in Anlehnung an die in der Volkswirtschaft üblichen Unterscheidungen in Makro-, Mikro- sowie Mesologistik unterteilen. Systeme der Makrologistik sind gesamtwirtschaftlicher Art wie zum Beispiel das Güterverkehrssystem einer Volkswirtschaft. Mikrologistische Systeme sind dagegen einzelwirtschaftlicher Art. Dazu zählen zum Beispiel logistische Einheiten von Betrieben. Systeme der Mesologistik liegen auf der Betrachtungsebene zwischen Makrologistik und Mikrologistik, gehen also über mikrologistische Systeme hinaus. Sie beinhalten jedoch nicht den vollen Umfang von makrologistischen Systemen.²⁸

Mikrologistische Systeme lassen sich weiter unterteilen, wobei in dieser Arbeit der Fokus auf innerbetrieblichen Systemen der Unternehmenslogistik liegt. Abbildung 1 bietet einen Überblick über die Unterteilung logistischer Systeme.

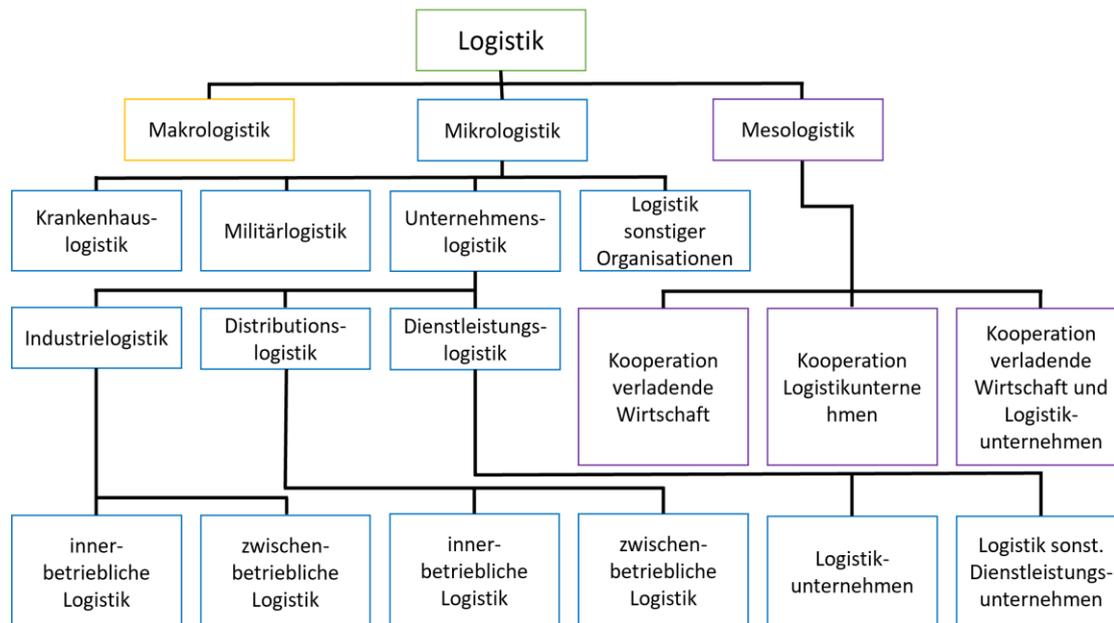


Abbildung 1: institutionelle Abgrenzung von logistischen Systemen²⁹

Zsifkovits (2012) beschreibt ein Logistiksystem als Netzwerk, in dem ein gerichteter Güterfluss von gegebenen Ausgangsorten (sogenannten Quellen) über Zwischenstufen zu gegebenen Zielorten (Senken) erfolgt. Solche Netzwerke umfassen Werke, Werkslager, Zentrallager, Auslieferungslager, Umschlagpunkte und KundInnen sowie die Transbeziehungen zwischen diesen.³⁰

²⁸ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 7 ff.

²⁹ Quelle: In Anlehnung an Pfohl, H.-C. (2018), S. 14

³⁰ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 37

Auch graphisch lassen sich solche Systeme als Verflechtungen aus Knoten und Kanten darstellen durch die sich Objekte bewegen lassen. Sie können an Knoten vorübergehend festgehalten (gespeichert) werden oder auf einen anderen Weg, der durch das Netzwerk führt, umgeleitet werden. Die verschiedenen Kanten stellen die unterschiedlichen Möglichkeiten dar, wie ein Objekt durch das Netzwerk bewegt werden kann. Unabhängig davon, welche Objekte, z.B. Energie, Sachgüter, Informationen, durch ein solches Netzwerk strömen, liegen Logistiksysteme vor. In Netzwerken lassen sich verschiedene Grundstrukturen von Logistiksystemen unterscheiden. In einstufigen Systemen erfolgt die Raum- und Zeitüberbrückung durch einen direkten Güterfluss zwischen der Quelle und der Senke. Solch ein System hat offensichtlich den Vorteil, dass der Güterfluss zwischen Liefer- und Empfangspunkt nicht unterbrochen wird, also keine zusätzlichen Lagerprozesse und/oder Bewegungsprozesse stattfinden. In mehrstufigen Systemen erfolgt die Raum- und Zeitüberbrückung durch einen indirekten Güterfluss zwischen Ausgangsort und Zielort. Der Güterfluss wird also wenigstens an einem Punkt unterbrochen wo zusätzliche Lager und/oder Bewegungsprozesse stattfinden müssen. Aufgaben des Unterbrechungspunktes sind die Auflösung oder Konzentration (Bündelung) des Güterflusses. An Auflösungspunkten treffen Güter in großen Mengen von einem Lieferpunkt ein und werden in kleinen Mengen (Break-Bulk-Point) an verschiedene Empfangspunkte weitergeleitet. Der Unterbrechungspunkt in einem mehrstufigen System kann aber auch ein Konzentrationspunkt (Consolidation-Point) darstellen. An solchen Punkten werden Güter gebündelt (gesammelt). Kombinierte Systeme sind jene, in denen direkte und indirekte Güterflüsse nebeneinander möglich sind.³¹

Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung solcher logistischen Netzwerke.

³¹ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 5 ff.

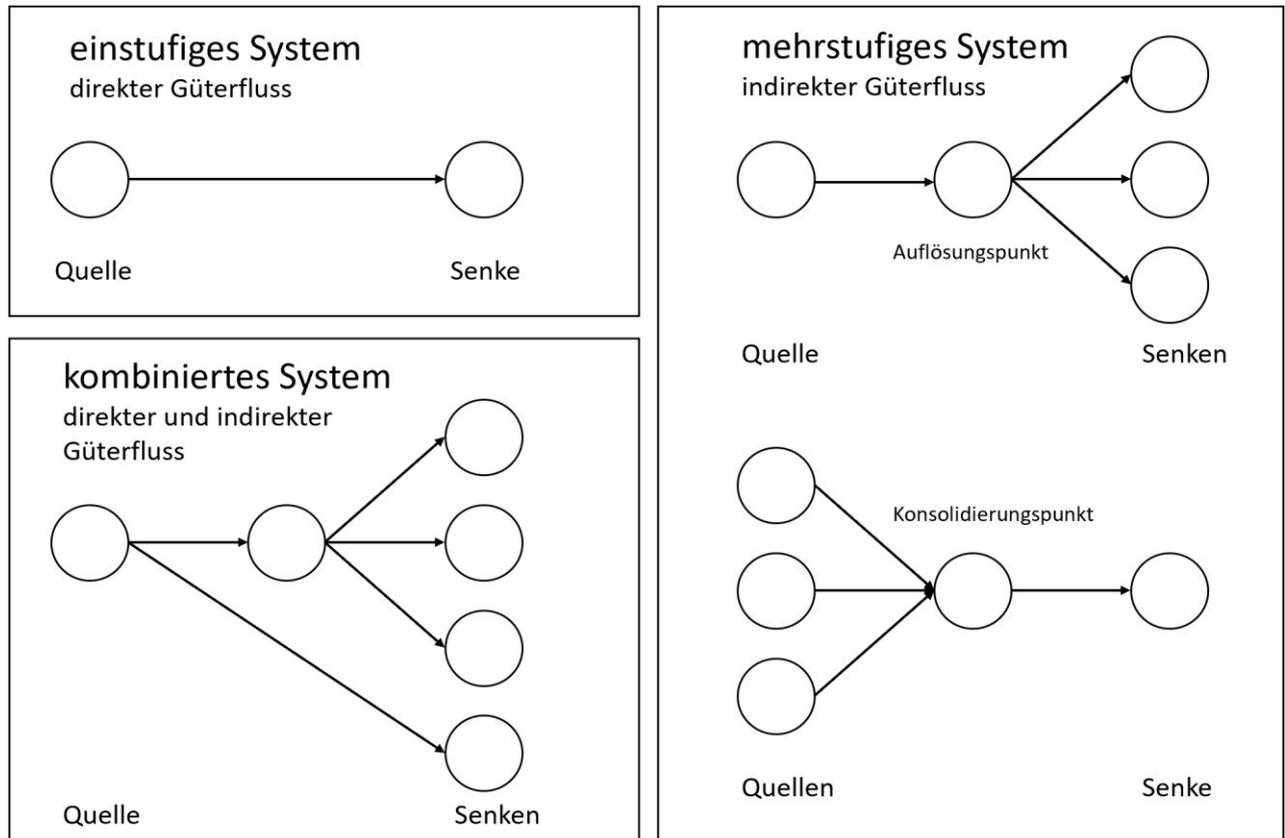


Abbildung 2: Grundstrukturen von Logistiksystemen³²

Diese Arbeit befasst sich vorwiegend mit Logistiksystemen deren Objekte Sachgüter sind. In solchen Logistiksystemen treten Informationsflüsse auf, welche nicht Selbstzweck, sondern vom physischen Güterfluss abgeleitet sind.³³

2.3 Logistikleistung

Eine der einfachsten Erläuterungen bezeichnet Leistung als das Ergebnis wirtschaftlicher Tätigkeiten. In der Betriebswirtschaftslehre werden unterschiedliche Begriffe der Leistung verwendet, insbesondere stehen sich jedoch die Termini „güterwirtschaftliche Leistung“ und „erfolgswirtschaftliche Leistung“ gegenüber. Die Interpretation des erfolgswirtschaftlichen Leistungsbegriffs bewertet die betriebszweck- und periodenbezogene Güterentstehung monetär und ist damit der komplementäre Begriff zu den Kosten. Die Leistung wird als Produkt aus Leistungsgütermenge mal Leistungsgüterpreis ermittelt und findet ihren Niederschlag in der Betriebserfolgsrechnung. Aufgrund der monetären Bewertungsprobleme von logistischen Leistungen hat sich in der Logistik der güterwirtschaftliche Leistungsbegriff weitgehend durchgesetzt. Nach diesem kann unter Leistung das mengenmäßige und

³² Quelle: In Anlehnung an Pfohl, H.-C. (2018), S. 6

³³ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 5

nicht-monetär bewertete Ergebnis von Logistikprozessen verstanden werden. Eine Logistikleistung ist also das Ergebnis einer logistischen Aktivität bzw. einer Anzahl von verknüpften logistischen Aktivitäten, durch die räumliche oder zeitliche Güterveränderung zur Befriedigung von Kundenbedürfnissen vollzogen werden. Delfmann (2003) hebt weiters hervor, dass die Identifizierung von Logistikleistungen mit einigen Besonderheiten verbunden ist, die vor allem aus dem Dienstleistungscharakter der logistischen Wertschöpfung resultieren. Die Erstellung logistischer Leistungen dient nicht der Erzeugung von materiellen Gütern. Das ist unabhängig davon zu betrachten, ob ein Unternehmen primär Sachleistungen anbietet oder als Logistikdienstleister auftritt. Logistische Dienstleistungen gewährleisten die Verfügbarkeit räumlich und zeitliche veränderter Güter und Informationen an den Stellen der Logistikkette an denen sie gebraucht werden. Diese Leistungen können als Zusatzleistungen verstanden werden, welche weitgehend simultan produziert und konsumiert werden.³⁴

2.4 Logistikziele

Ziele sind Aussagen, die durch konkretes Handeln erreicht werden sollen und zukünftige Zustände beschreiben. Sie geben einen gewünschten Zustand der Realität von EntscheidungsträgerInnen wieder. Das Zielsystem eines Unternehmens setzt sich in der Regel aus verschiedenen Teilzielen zusammen. Es ist eine geordnete Gesamtheit von Zielen, welche in Beziehung zueinander stehen und gleichzeitig verfolgt werden. Unternehmensziele werden meist nach folgenden Punkten quantifiziert und konkretisiert:

- Inhalt
- Ausmaß
- Zeitbezug³⁵

Die Logistik ist funktions- und unternehmensübergreifend, ganzheitlich sowie nutzungs- und serviceorientiert. Sie ist der Schlüssel zur Verbesserung und Optimierung der betrieblichen Infrastruktur mit der Zielsetzung, die Marktleistungsfähigkeit zu erhöhen, Rationalisierungspotenziale aufzudecken und einen hohen Lieferservice zu gewährleisten.³⁶

³⁴ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 20

³⁵ Vgl. Koch, S. (2012), S. 13

³⁶ Vgl. Martin, H. (2014), S. 3

Das Ziel der Mikrologistik ist, auf Grundlage privater Vereinbarungen und Verträge die einzelnen Verbraucher und Unternehmen mit den benötigten Gütern zu versorgen und den individuellen Mobilitätsbedarf kostenoptimal zu decken.³⁷

Logistische Aktivitäten verfolgen alle das übergeordnete Ziel der Optimierung der Logistikleistung mit den beiden Komponenten Logistiksservice und Logistikkosten.³⁸

Zsifkovits³⁹ (2012) hat diesen beiden Komponenten (siehe Abbildung 3) folgende Teilziele hinzugefügt:

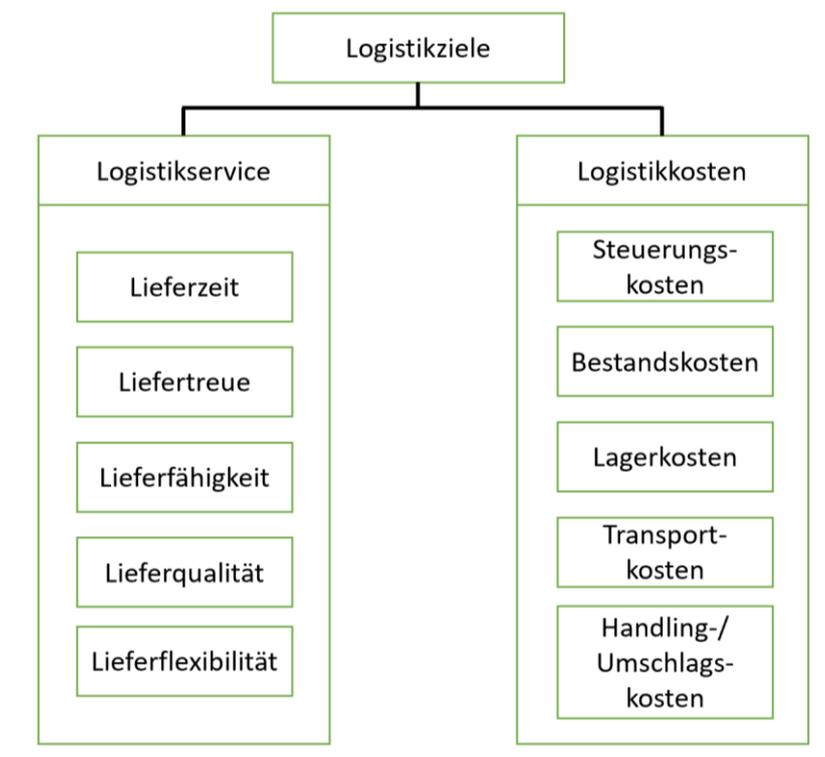


Abbildung 3: Komponenten der Logistikziele⁴⁰

Logistiksservice:

- **Lieferzeit**
Ist die Zeitspanne zwischen Zeitpunkt des Auftragseingangs und dem Zeitpunkt der Auftragserfüllung
- **Liefertreue (Lieferzuverlässigkeit)**
Beschreibt die relative Häufigkeit, mit der vereinbarte Lieferzeiten eingehalten werden. Sie wird wie folgt berechnet

³⁷ Vgl. Gudehus, T. (2013), S. 5

³⁸ Vgl. Koch, S. (2012), S. 16

³⁹ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 51

⁴⁰ Quelle: In Anlehnung an Zsifkovits, H. E. (2012), S. 51

$$\text{Liefertreue in [\%]} = \frac{\text{Anzahl rechtzeitig ausgelieferter Aufträge}}{\text{Anzahl nachgefragter Aufträge}}$$

- Lieferfähigkeit (Lieferbereitschaft)
Ist die relative Häufigkeit, mit der die vereinbarte Lieferzeit eingehalten wird.

$$\text{Lieferfähigkeit in [\%]} = \frac{\text{Anzahl der Aufträge mit bestätigtem Kundenwunschtermin}}{\text{Anzahl der Gesamtaufträge im Zeitraum}}$$

- Lieferqualität (Lieferbeschaffenheit)
Berechnet den Anteil der ausgeführten Aufträge ohne qualitative oder quantitative Mängel.

$$\text{Lieferqualität in [\%]} = \frac{\text{Anzahl der Aufträge ohne Mängel}}{\text{Anzahl Gesamtaufträge im Zeitraum}}$$

- Lieferflexibilität
Ist die Fähigkeit eines Unternehmens, auf die Änderungen der ursprünglichen Kundenbestellung hinsichtlich Spezifikationen, Mengen und Terminen einzugehen. Wird angegeben durch die Zeiteinheiten vor Auftragerfüllung innerhalb derer noch Änderungen möglich sind oder durch

$$\text{Lieferflexibilität in [\%]} = \frac{\text{Zahl erfüllter Sonderwünsche}}{\text{Zahl aller Sonderwünsche}}^{41}$$

Logistikkosten:

- Steuerungskosten
Sie entstehen für die Steuerung des Waren- und Informationsflusses sowie für das Planen, Disponieren, Steuern und Abwickeln von Aufträgen.
- Bestandskosten
Bedingt durch das Führen von Beständen und sie beinhalten die Kapitalbindungskosten und die sogenannten Wagniskosten, entstehend durch Risikofolgen, Versicherungszahlungen, Abwertungen, Verluste sowie Entsorgung.
- Lagerkosten
Sind die Kosten für das Bereithalten von Lagerkapazitäten und Kosten für die Einlagerung, Lagerung und Auslagerung von Waren.
- Transportkosten
Umfassen die Kosten des internen und externen Werksverkehrs und jene, die durch die Beauftragung von Transportunternehmen entstehen.
- Handling- und Umschlagskosten

⁴¹ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 52 f.

Zu diesen Kosten zählen die des Verpackens, der Warenauszeichnung und des Kommissionierens sowie die jene der Umschlagvorgänge.^{42,43}

Nachdem in Kapitel 2 grundlegende Begriffe zum Thema Logistik, Logistiksystem, Logistikleistung und Ziele der Logistik erläutert wurden, wird im nachfolgenden Abschnitt das Gebiet der Lagerhaltung theoretisch aufgearbeitet.

3 Lagerhaltung

In diesem Abschnitt sollen wesentliche Grundlagen des Lagers und der Lagerhaltung behandelt werden. Im Fokus hier steht die in Abschnitt 1.3 angeführte Unterfrage der Forschungsfrage:

- Was sind die wesentlichen Aufgaben und Bestandteile des Lagers?

3.1 Funktionen und Aufgaben des Lagers

Lager sind wichtige Bestandteile der meisten Liefer- und Wertschöpfungsketten. In Bezug auf die Kosten machen sie etwa 20 Prozent der gesamten Logistikkosten aus. Hinsichtlich des Services sind sie jedoch entscheidend für das Erreichen von Kundenservice-Levels, zumal Distributionszentren oft der letzte Punkt in der Lieferkette für die Auftragszusammenstellung, Mehrwertdienste und den Versand an den Kunden sind.⁴⁴

Ein Lager dient dem Ausgleich unterschiedlicher Mengen und Vorgänge zwischen verschiedenen miteinander verknüpften Bereichen wie z.B. zwischen hochspezialisierter und nach optimalen Losgrößen ausgelegter Fertigung und wechselnder Nachfrage am Markt. Lager sind daher notwendige und häufig mehrfach anzutreffende Einrichtungen in der Transportkette von der Rohstoffgewinnung über Produktionsbereiche und Handel bis zum Verbraucher. Analog gilt dies auch für die innerbetriebliche Versorgung mit Gütern. Die ruhenden Güter in einem Lager bedeuten jedoch meist eine hohe Kapitalbindung und damit verbundene Kosten, die letztlich auf ein Produkt umgeschlagen werden müssen und die Wettbewerbssituation verschlechtern können. Diese Wirkung verstärkt sich zunehmend mit steigendem Lagerbestand und ineffizient ausgewählter oder eingesetzter Fördertechnik im Lagerbereich. Die verschiedenen laufenden Kosten im Lager können sich auf bis zu 30% vom Lagergutwert jährlich summieren, wobei davon

⁴² Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 54

⁴³ Vgl. Koch, S. (2012), S. 16 f.

⁴⁴ Vgl. Baker, P.; Halim, Z. (2007), S. 129

meist das gebundene Kapital den größten Teil ausmacht. Das zeigt, dass Optimierung im Lager wichtig ist und ein hohes Einsparpotential birgt. Von Ausnahmen abgesehen wie bei Trocknungsprozessen oder Reifeprozessen, wird der Wert eines Gutes beim Lagern nicht erhöht, sondern eher reduziert (Alterung, Verschleiß). Grundsätzlich gilt dasselbe auch für den Fördervorgang, was heißt, dass Fortbewegung von Gütern ebenfalls keine Wertsteigerung erzeugt, sondern das Produkt nur verteuert. Fördern und Lagern zusammen sind daher wesentliche Funktion in der industriellen Logistik, mit dem Ziel, höchste Lieferbereitschaft bei geringstmöglichen Kosten zu verwirklichen.⁴⁵

Ein Gesamtlagersystem besteht aus der Lagerwirtschaft, welche alle Aufgaben der Bewirtschaftung von Lagern beinhaltet, der Lagerverwaltung und der Lagersteuerung sowie der Lagerung von Gütern. Die Lagerverwaltung verwaltet Bestände, Aufträge und das Personal. Die Lagersteuerung steuert die Lagerprozesse wie Materialfluss, die Ein- und Auslagerung sowie die Kommissionierung. Zwischen Lagerverwaltung und Lagersteuerung findet konstanter Datenaustausch und ständige Kommunikation über unterschiedliche EDV-Systeme statt.⁴⁶

Die Lagerung von Produkten wird immer dann notwendig, wenn der Fertigstellungstermin eines Produktionsauftrages oder ein allgemeiner Zugang eines Produktes im Lager vor dem zugehörigen Bedarfszeitpunkt liegt. Weiters werden Lagerbestände durch den bestehenden Zielkonflikt zwischen Rüstkosten und Lagerkosten verursacht. Um Rüstvorgänge zu minimieren und somit die Rüstkosten zu senken, werden zukünftige Bedarfsmengen zusammengefasst und vor ihrem Bedarfszeitpunkt eingelagert. Da die für die Losgrößenplanung relevanten Einflussgrößen oft nicht mit vollkommener Sicherheit bekannt sind, können weitere Notwendigkeiten einer Lagerung entstehen. Gründe für solche Unsicherheiten in der Planung können folgende sein:⁴⁷

- Die Nachfragemenge pro Periode ist nicht sicher.
- Die Wiederbeschaffungszeit einer Lagerbestellung (Durchlaufzeit eines Produktionsauftrags, Beschaffungszeit einer externen Bestellung, d. h. Lieferzeit des Lieferanten) ist nicht sicher.
- Die Lagerzugangsmenge weicht von der Bestellung ab.

⁴⁵ Vgl. Fischer, W.; Dittrich, L. (2004), S. 129

⁴⁶ Vgl. Martin, H. (2014), S. 330 f.

⁴⁷ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 248 f.

- Die Aufzeichnungen der Lagerbestandsführung stimmen nicht mit den tatsächlich vorhandenen Beständen überein.⁴⁸

Die Funktionen, die in erster Linie in einem Lagerhaus erfüllt werden, teilen Lagerhäuser in drei unterschiedliche Arten. Diese Unterteilung nach Vorrats-, Umschlags- und Verteilungslager schließen nicht aus, dass in der Praxis Mischformen auftreten können.⁴⁹ Tabelle 1 zeigt die Unterscheidung der Lagerhausarten nach ihrer Funktion.

Tabelle 1: Unterscheidung der Lagerhausarten nach ihrer Funktion⁵⁰

Lagerhausarten	wichtigste Funktion	Standorte	Lagergüter
Vorratslager	hohe Lagerkapazität	produktionsorientiert	Material, saisongebundene Halb- und Fertigfabrikate
Umschlagslager	hohe Umschlagsleistung	transportorientiert	Material, Halb- und Fertigfabrikate, Handelsware
Verteilungslager	hohe Konzentrationsleistung	beschaffungsorientiert	Material, Handelsware
- Zulieferungslager			
- Auslieferungslager	hohe Auflöseleistung	absatzorientiert	

3.1.1 Vorratslager

Vorratslager sind meist dem Produktionsbetrieb zugeordnet. Ihre wichtigste Funktion ist, die Kapazität für die Aufnahme von in der Produktion einzusetzenden Gütern aber auch Fertigerzeugnissen (von z.B. saisongebundenen Halb- und Fertigfabrikaten) zu Verfügung zu stellen. In Vorratslagern dominieren Lagerprozesse gegenüber Bewegungsprozessen. Sie können sowohl Beschaffungs- als auch Produktionslager oder Distributionslager sein.⁵¹

Vorratslager können nach verschiedenen Kriterien benannt und danach gegliedert werden. Nach der Funktion im Wertschöpfungsprozess sind zu unterscheiden:⁵²

- Beschaffungslager

⁴⁸ Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 249

⁴⁹ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 127

⁵⁰ Quelle: In Anlehnung an Pfohl, H.-C. (2018), S. 128

⁵¹ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 127

⁵² Vgl. Martin, H. (2014), S. 332

Zur Versorgung der Produktion mit Material entsprechend den Fertigungsaufträgen. Können auch als Rohmaterial oder Wareneingangslager bezeichnet werden.

- Produktionslager
Hier werden Zwischenerzeugnisse entsprechend den Fertigungs- und Montagestufen gepuffert. Andere Bezeichnungen sind Halbfabrikatlager oder Zwischenlager
- Distributionslager
Im Distributionslager werden Erzeugnisse des Unternehmens gespeichert und Kundenaufträge daraus versorgt. Es ist auch unter der Bezeichnung Fertigwarenlager, Warenausgangslager, Verkaufs- oder Versandlager bekannt.⁵³

3.1.2 Umschlagslager

Umschlagslager, auch Transitterminals genannt, sollen kurzfristig die Güter zwischen dem Umschlag von Transportmittel zu Transportmittel aufnehmen. Vor allem kommen solche Lagerhäuser bei Logistikunternehmen vor, wobei sie mittlerweile auch bei Handelsunternehmen eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Beim sogenannten Cross-Docking werden die für einzelne Filialen vorkommissionierten Waren vom Hersteller in das Zentrallager des Handels geliefert. Dort werden die Sendungen verschiedener Hersteller für die jeweiligen Filialen zusammengefasst und gemeinsam ausgeliefert. Im Zentrallager des Handelsunternehmens entfällt damit die filialbezogene Kommissionierung und auch die Bestände werden zu einem großen Teil eliminiert. Im Umschlagslager dominieren entsprechend die Bewegungsprozesse, sodass nicht die Lagerkapazität, sondern die Erzielung großer Umschlagsgeschwindigkeit im Vordergrund stehen.⁵⁴

3.1.3 Verteilungslager

Hier wird der Güterfluss in seiner Zusammensetzung geändert. In Verteilungslagern sind sowohl die Lager- als auch die Bewegungsprozesse von gleicher Bedeutung. Wichtigste Zielsetzung ist hier die Leistungsfähigkeit zur Umstrukturierung des Güterflusses. Die Verteilungsfunktion kann entweder eine Zuliefer- oder Auslieferfunktion sein, sodass sich bei Verteilungslagern Zulieferungs- und Auslieferungslager unterscheiden lassen. Zulieferungslager sind Konzentrationspunkte

⁵³ Vgl. Martin, H. (2014), S. 332

⁵⁴ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 127 f.

in Logistiksystemen, in denen Güter von unterschiedlichen Lieferanten gesammelt und an einen oder mehrere Produktionsbetriebe - im Falle eines Handelsunternehmens an einen oder mehrere Handelsbetriebe - verteilt werden. Auslieferungslager sind hingegen Auflösungspunkte in Logistiksystemen, in denen Güter aus der Produktion gesammelt und an KundInnen ausgeliefert werden. Nach dem Bereich, der vom Verteilungslager aus bedient wird, unterscheiden sich zentrale, regionale oder lokale Verteilungslager. Bei zentralen Verteilungslagern handelt es sich im Allgemeinen um Zentrallager, während die dezentralen regionalen oder lokalen Verteilungslager als Zulieferungs- bzw. Auslieferungslager bezeichnet werden.⁵⁵

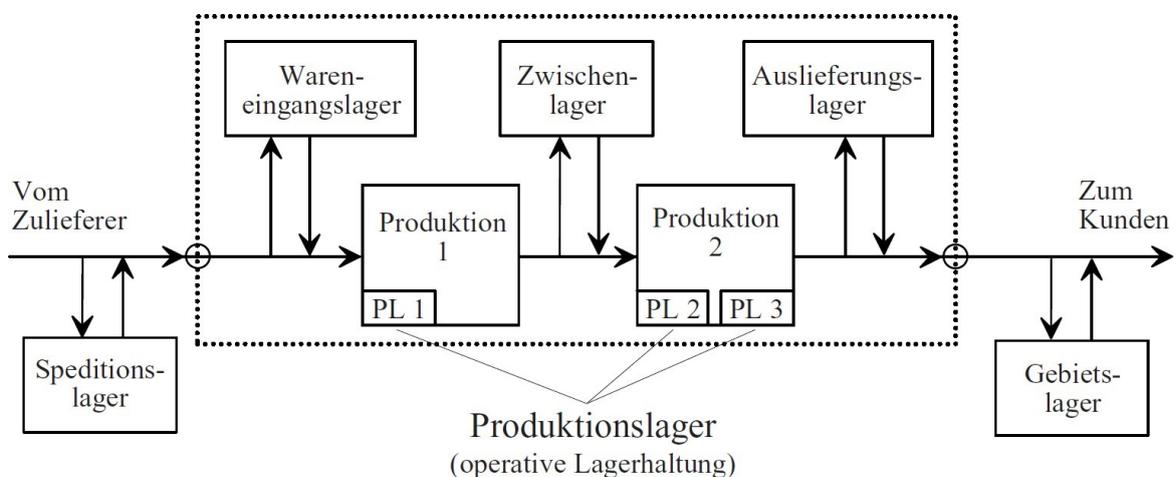


Abbildung 4: Beispiele für Lagerstandorte im inner- und außerbetrieblichen Materialfluss⁵⁶

Ausschlaggebend für die Funktionserfüllung eines Lagers sind sein funktionsgerechter Standort und sein funktionsgerechter Betrieb. Zu den Aufgaben des Lagerhauses gehört auch die Standortwahl, die auf zwei Stufen zu treffen ist. Bei der interlokalen Standortwahl wird entschieden an welcher Stelle in einem Wirtschaftsgebiet ein Lagerhaus errichtet werden soll. Ist hier eine Entscheidung getroffen worden, so muss danach bei der der lokalen Standortwahl festgelegt werden, an welchem Platz sich das Lager befinden soll. Der interlokale Standort eines Lagerhauses hängt primärer von der vom Lager zu erfüllenden Funktion ab.⁵⁷

Bei der Gestaltung der Lagerhaltung sind grundsätzlich vier Fragen zu beantworten:

- Welches Produkt soll gelagert werden?
- Wie viel soll von dem jeweiligen Produkt gelagert werden?

⁵⁵ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 128

⁵⁶ Quelle: Arnold, D.; Furmans, K. (2009), S. 176

⁵⁷ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 131

- Welche Menge des Produktes soll zum Auffüllen des Lagerbestandes bestellt werden?
- Wann soll diese Menge bestellt werden?⁵⁸

Die Höhe des Lagerbestandes wird durch die Beantwortung dieser Fragen festgelegt. Die erste Frage entscheidet, ob für ein bestimmtes Produkt überhaupt ein Bestand angelegt wird. Falls es zum Aufbau eines Lagerbestandes kommt, legen die weiteren drei Fragen dessen Höhe fest. Der Lagerbestand umfasst die Bestellmenge und den Sicherheitsbestand, je größer erstere ist, umso seltener muss bestellt werden. Dadurch ergibt sich jedoch ein durchschnittlich größerer im Lager vorhandener Bestand. Der Sicherheitsbestand ist dann erforderlich, wenn die tatsächliche Nachfrage höher als die in den Prognosen errechnete Nachfrage ist. Für diesen Fall kann der Sicherheitsbestand die Nachfrage in der Wiederbeschaffungszeit decken. Kann die Nachfrage immer genau prognostiziert werden, ist kein Sicherheitsbestand erforderlich.⁵⁹

Bestandsermittlung und Beschaffungsmodelle sind in der Literatur ausführlich beschrieben. Da sich die vorliegende Arbeit jedoch mehr mit den technischen Komponenten und den organisatorischen Abläufen des Lagers beschäftigt, wird auf diese Punkte im Weiteren nicht genauer eingegangen.

3.2 Transport und Ladung

Bei der Auswahl und Festlegung eines Transportmittels bei einer vorgegebenen Transportaufgabe spielt das Transportgut eine maßgebende Rolle. Ebenso kann dies für die Planung eines Lagers behauptet werden. Zu den Transportgütern des innerbetrieblichen Materialflusses zählen feste, flüssige und gasförmige Stoffe. Die Fortbewegung von Flüssigkeiten und Gasen in Rohrleitungen zählt jedoch nicht zur Transporttechnik der Logistik, vielmehr fällt diese in das Gebiet der Verfahrenstechnik. Werden jedoch Flüssigkeiten drucklos und Gase unter bestimmtem Druck in Behälter abgefüllt, so werden sie wie feste Stoffe unter der Beachtung entsprechender Transport- und Lagervorschriften behandelt. Die festen Transportgüter werden in Stückgut und Schüttgut unterteilt.⁶⁰

⁵⁸ Pfohl, H.-C. (2018), S. 101

⁵⁹ Vgl. Koch, S. (2012), S. 36 f.

⁶⁰ Vgl. Martin, H. (2014), S. 60

3.2.1 Transport

Transport ist die Raumüberbrückung oder Ortsveränderung von Transportgütern mit Hilfe von Transportmitteln. Ein Transportsystem besteht aus dem Transportgut, dem Transportmittel und dem Transportprozess. Soll ein Transportgut von einem Lieferpunkt zu einem Empfangspunkt transportiert werden und ist am Lieferpunkt das geplante Transportmittel nicht vorhanden, so kann ein Prozess notwendig werden, der Leertransport bezeichnet wird. Diese sind Transportprozesse ohne Transportgut, welche aber eine notwendige Voraussetzung für den darauffolgenden Transportprozess mit Transportgut darstellen. Innerbetrieblicher Transport ist der Transport in einem Werk von einem Produktionsort zum anderen, in einem einzelnen Bereich oder zwischen verschiedenen Bereichen eines Lagerhauses. Unter außerbetrieblichem Transport wird hingegen der Transport zwischen Lieferanten und KundInnen, zwischen verschiedenen Werken bzw. zwischen verschiedenen Lagerhäusern eines Unternehmens sowie zwischen dessen Werken und dessen Lagerhäusern verstanden.⁶¹

Um den Umfang dieser Arbeit angemessen zu halten, wird beim Transport, dem Transportprozess und den Transportmitteln der Schwerpunkt auf den innerbetrieblichen Transport gelegt.

3.2.2 Transportgut und Lagergut

Schüttgut:

Als Schüttgut wird stückiges, körniges oder staubiges Massengut bezeichnet, das eine Fließfähigkeit aufweist, während des Transportvorgangs in der Regel seine Gestalt ändert und ohne Hilfsmittel nicht zu einer Einheit zusammengefasst werden kann. Typische Schüttgüter sind unter anderem Erze, Kohle, Müll, Sand, Zement, Kies, Getreide und Kaffee. Zur Auswahl geeigneter Transportmittel für Schüttgüter müssen die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Schüttgüter möglichst genau bekannt sein.⁶²

In dieser Arbeit liegt der Fokus jedoch mehr auf Systemen, die für den Transport und die Lagerung von Stückgütern geschaffen sind. Darum wird an dieser Stelle nicht weiter auf die Eigenschaften von Schüttgütern eingegangen.

Stückgut:

⁶¹ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 169

⁶² Vgl. Martin, H. (2014), S. 60

Feste Transportgüter, welche während des Transportvorganges ihre Gestalt nicht ändern und einzeln als Einheit gehandhabt werden können, werden als Stückgut bezeichnet. Sie können unverpackt oder verpackt sein, verschiedenste Abmessungen und Formen aufweisen, aus einem oder mehreren Materialien zusammengesetzt sein. Typische Stückgüter sind Fertigungs- und Montageteile, Pakete, Kisten, Dosen, Flaschen, Ringe, Schrauben, Ballen, Säcke, Behälter, Trays, Ladeeinheiten, Maschinen, Fahrzeuge, Container, Hängeware usw. Stückgut kann nach verschiedenen Eigenschaften wie Menge, Funktion oder Form eingeteilt werden. Güter mit großer Länge und Breite aber geringer Dicke werden als Platten bzw. Flachgut bezeichnet. Stücke mit kleinem Querschnitt bei großer Länge (> 2,5 Meter) werden als Langgut bezeichnet. Als Massenstückgüter werden große Mengen an Stückgut wie zum Beispiel Schrauben, Beilagscheiben oder Postpakete bezeichnet. Es gilt wie beim Schüttgut auch beim Stückgut, sich als zwingende und notwendige Voraussetzung für die Planung eines funktionalen und wirtschaftlichen Transport- und Lagersystems die Kenntnis der geometrischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften anzueignen.⁶³

⁶³ Vgl. Martin, H. (2014), S. 60

Einteilung von Stückgut	
Menge:	
- Einzelstückgut:	Werkstück Maschinenteil Packstück
- Massenstückgut:	Postpakete Gussstücke Säcke
Funktion:	
- Transport-, Lager und Ladehilfsmittel:	Behälter, Kasten Palette, Ladegestell
- Ladeinheit:	Palette + Ladegut + Kasten + Transportgut
Form:	
- Flachgut:	Bleche Spanplatten Glasscheiben
- Langgut:	Profile Rohre Stangen

Abbildung 5: Einteilung von Stückgut⁶⁴

3.2.3 Transportmittel

Die Transportmittel des innerbetrieblichen Transportes werden auch als Fördermittel bezeichnet, wobei sich darunter auch die Mittel zur Realisierung der Umschlagsprozesse zusammenfassen lassen.⁶⁵

Förder- und Transportmittel meinen im Folgenden alle Mittel zur Überwindung von horizontalen und vertikalen Distanzen.

Stetigfördermittel:

Ein Stetigförderer erzeugt einen durchgehenden Transportgutstrom. Stetigförderer sind für den Dauerbetrieb ausgelegt, d.h. sie arbeiten in einem längeren Zeitraum ununterbrochen. Die Antriebstechnik dieser Förderanlagen sind so auszulegen, dass sie diesen dauerhaften Beanspruchungen standhalten. Meist werden Stetigförderer nur durch einen Antrieb betrieben, wodurch sie eine einfache Bauweise, einen niedrigen Energiebedarf und große Betriebssicherheit besitzen. Die Be- und Entladung

⁶⁴ Quelle: In Anlehnung an Martin, H. (2014), S. 60

⁶⁵ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 135

kann oft an vielen Stellen der Transportstrecke erfolgen. Flurgebundene Stetigförderer haben einen festen Fahrweg und benötigen viel Bodenfläche. Sie sind außerdem in der Regel schienengebunden. Der Vorteil von Stetigförderern ist, dass sie für den Transportvorgang kein Bedienpersonal benötigen, was auch ihre Automatisierung gegenüber Unstetigförderern einfach macht. Schwierigkeiten ergeben sich hingegen bei der Erweiterung der Leistungsfähigkeit, in der physischen Anpassung des Förderweges oder bei der Aufgabenänderung. Bei Massengütern wie Kohle, Erz und Sand sind Stetigförderer aufgrund ihrer relativ geringen Antriebsleistung das rationellste Transportmittel.⁶⁶

In der Regel werden Stetigförderer als Förderbänder, Mitnehmerketten, Rollenbahnen oder auch als Unterflurschleppkettenförderer flurgebunden ausgelegt. Umlaufketten (Kreisförderer) oder Schaukelförderer mit festen Gehängen oder auswechselbaren Schaukeln (Power and Free) werden dagegen häufig flurfrei (abgehängt über eine Deckenkonstruktion) konstruiert.⁶⁷

Nachteile von Stetigförderern sind:

- Ein festgelegter Transportweg
- Schwierigkeiten bei Änderungen des Ablaufes
- Ein eng begrenzter Anwendungsbereich bezogen auf das Transportgut

Auf Grund des geringen Bedienungsaufwandes sind Stetigförderer in vielen Industrien im Einsatz. Sie werden bei Stück- und/oder Schüttgut der kleinsten und größten Massenströmen (Gurtförderer bis zu 20.000 t/h) für kurze, mittlere und große Entfernungen bei festgelegtem Transportweg angewendet.⁶⁸

Abbildung 6 zeigt die Systematik der Stetigförderer und ihre Einsatzgebiete.

⁶⁶ Vgl. Martin, H. (2014), S. 132

⁶⁷ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 143

⁶⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 132

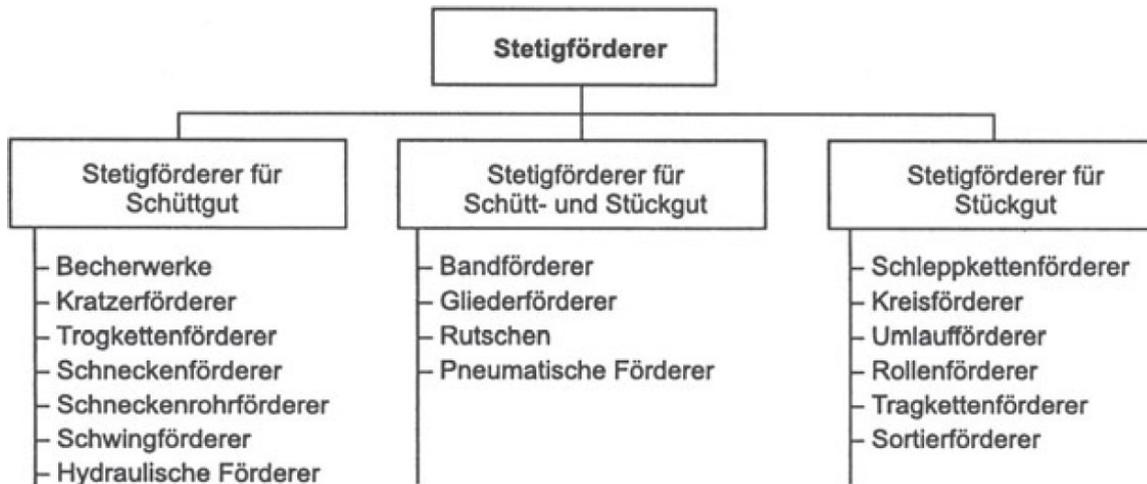


Abbildung 6: Systematik der Stetigförderer⁶⁹

Unstetigfördermittel:

Diese Förderer sind Transportmittel, welche das Transportgut diskontinuierlich von einer Aufgabe- zu einer Abgabestelle transportieren. Diese unstetige Arbeitsweise erfolgt häufig in Arbeitsspielen. Der Arbeitsablauf beinhaltet auch den Wechsel von Last und Leerfahrten sowie Stillstandszeiten für das Be- und Entladen. Die Antriebe sind deshalb für den Kurzzeitbetrieb auszulegen. Das Fördergut wird im Stillstand und nur an bestimmten Stellen auf den Förderer auf- oder abgegeben. Unstetigförderer können flurgebunden oder flurfrei, schienengebunden oder schienenfrei konstruiert werden. Die Bedienung erfolgt häufig manuell, woraus hohe Betriebskosten resultieren. Die Automatisierung solcher Anlagen ist mit einem deutlich größeren Aufwand gegenüber Stetigförderern verbunden. Unstetigförderer zeichnen sich durch hohe Einsatzflexibilität aus, z.B. bei Änderung der Transportaufgabe oder des Gebäudelayouts.⁷⁰

Unstetigförderer, die vorwiegend vertikale Transportaufgaben ausführen, werden als Hubförderer bezeichnet. Im Gegensatz zu Flurförderfahrzeugen, welche hauptsächlich horizontalen Transport durchführen, steht bei Hubförderern oder Hebezeugen stets die vertikale Bewegung im Vordergrund, auch wenn sie selbstverständlich ebenso horizontale Bewegungen ausführen können.⁷¹

Abbildung 7 zeigt die Systematik der Unstetigförderer sowie Klassifizierung dieser nach ihrer Verwendung.

⁶⁹ Quelle: Martin, H. (2014), S. 133

⁷⁰ Vgl. Martin, H. (2014), S. 214

⁷¹ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 143 f.

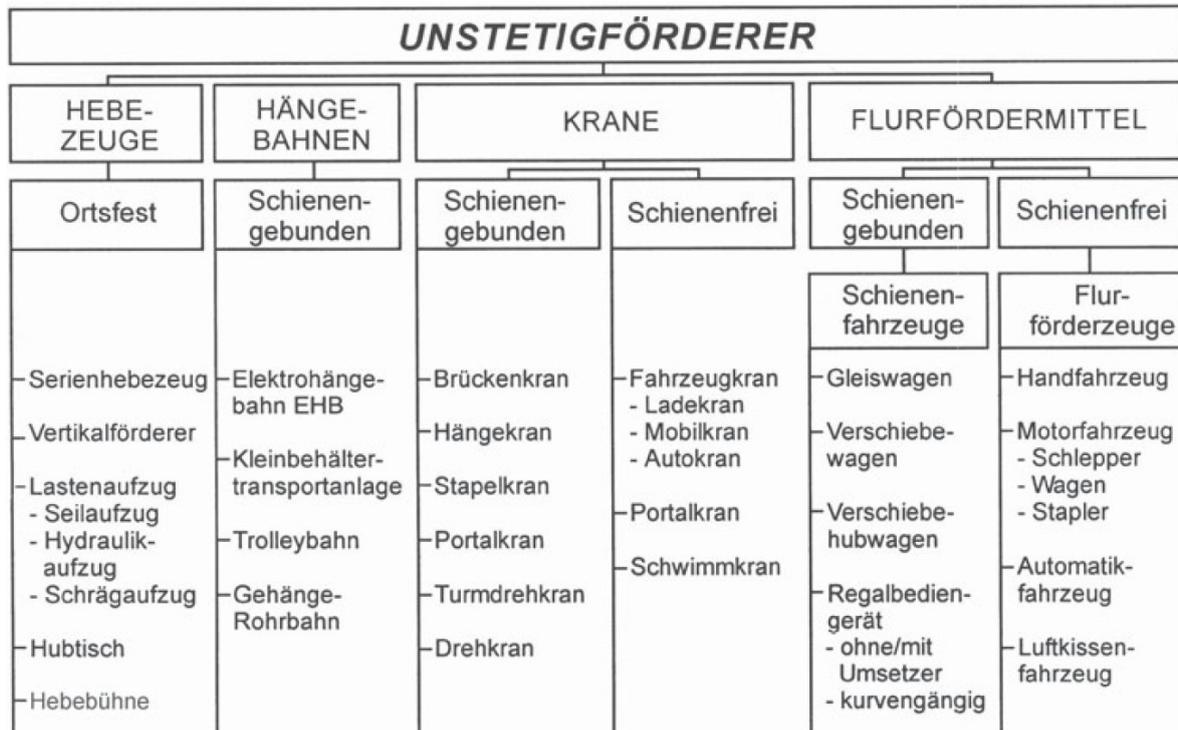


Abbildung 7: Systematik der Unstetigförderer⁷²

3.2.4 Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel

Die Begriffe „Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel“ sowie „Ladungsträger“ werden synonym benutzt.⁷³ Sie umfassen Hilfsmittel zur Bildung logistischer Einheit und schaffen dabei die Voraussetzung für mechanisierten und automatisierten Güter- und Materialfluss. Eine Unterscheidung dieser Begriffe wird auf Bodenunterfahrbarkeit durchgeführt in:

- nicht unterfahrbare Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel
- unterfahrbare Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel⁷⁴

Nicht unterfahrbare Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel:

Dazu zählen Kleinladungsträger (auch KLT genannt) mit einer Grundfläche bis zu 400 mm mal 600 mm wie zum Beispiel Kisten, Schachteln, Kleinbehälter und Trays. Teilweise sind diese genormt und kommen mit modularen Größenaufteilungen und Unterteilungen. Sie bestehen oft aus Kartonage, Holz, Stahlblech (verzinkt oder lackiert) sowie aus Kunststoff.⁷⁵

⁷² Quelle: Martin, H. (2014), S. 214

⁷³ Martin, H. (2014), S. 63

⁷⁴ Vgl. Martin, H. (2014), S. 63

⁷⁵ Vgl. Martin, H. (2014), S. 63

Unterfahrbare Lager-, Lade- und Transporthilfsmittel:

Großladungsträger (GLT) mit einer Grundfläche größer als 400 mm x 600 mm sind zum Beispiel Paletten, Großbehälter und Ladegestelle mit tragender, umschließender oder geschlossener Plattform. Sie dienen dazu, Stückgut zusammenfassen zu können, wie z.B. Kasten, Kleinbehälter, Schütten, Schachtel, Packstücke zu größeren Ladeeinheiten und weiters nicht unterfahrbare Ladehilfsmittel unterfahrbar zu machen, um ein rationelles Transportieren und Lagern zu ermöglichen. GLTs können aus Pressspan, Holz, Kunststoff, Stahlblech oder Aluminium gefertigt sein, sind teilweise genormt oder standardisiert und zum Teil an das Transportgut angepasst. Ladehilfsmittel können Eigenschaften wie zum Beispiel stapelbar, zusammenklappbar und ineinander schachtelbar haben.⁷⁶

3.2.5 Verpackung

Verpackung ist eine lösbare, vollständige oder teilweise Umhüllung eines Packgutes. Die Verpackung kann neben der Schutzfunktion auch weitere Funktionen erfüllen. Der Verpackungsvorgang selbst wird als Verpackungsprozess bezeichnet. Zusammen mit dem Packgut und der Verpackung bildet dieser das Verpackungssystem.⁷⁷

Das Packstück stellt die Kombination von Packgut und Verpackung, also das fertig verpackte Produkt dar. Die Verpackung besteht aus folgenden Komponenten:

- Packstoff:
Das Material, aus dem die Verpackungen hergestellt werden, z.B. Karton, Kunststoff; Metall oder Glas.
- Packmittel:
Hiermit wird das Packgut teilweise oder vollständig umschlossen oder zusammengefasst. Es ist ein Erzeugnis aus dem Packstoff wie z.B.: Kunststoffflaschen oder Aluminiumdosen.
- Packhilfsmittel
Das Packhilfsmittel dient zum Fixieren, Verschließen oder Auspolstern bzw. dazu eine Verpackung versandfertig zu machen. Packhilfsmittel sind z.B. Klebeband, Polsterfolie, Kunststoffdeckel und Etiketten.

Die Verpackung erfüllt folgende Funktionen:

⁷⁶Vgl. Martin, H. (2014), S. 65

⁷⁷Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 151

- Schutz und Sicherung der Ware vor Beschädigung, Verunreinigung, Umwelteinflüssen oder Diebstahl
- Bündelung und Losgrößenbildung von Waren und die daraus entstehenden logistische Einheiten (im englischen Unit Load)
- Kundenkommunikation durch kundenbezogene Informationen, Warnhinweise oder Bedienungsanleitungen auf der Verpackung
- Identifikation und Informationsfunktion mittels Kennzeichnung der Produkte nach Art, Menge, Gewicht und Preis und eventuell deren automatisierte Lesbarkeit durch Barcodes (QR, EAN-Code usw.)
- Logistikfunktion durch Änderung der Gestalt und Dimensionen, um eine wesentliche Verbesserung der logistischen Flüsse zu erreichen. Dies kann eine Lagerfunktion (durch die Möglichkeit zur Stapelung von Einheiten), eine Transportfunktion (durch die Verbesserung und Nutzung von Transportraum aufgrund von Optimierung bzw. Standardisierung der Abmessungen) und/oder eine Manipulationsfunktion (durch stapelgerechte Dimensionierung, Erhöhung der Stabilität, Grifflöcher usw.) ermöglichen.⁷⁸

3.3 Lagermittel

Es ist eine gängige Methode, Läger in Abhängigkeit von den zum Einsatz kommenden Lagermitteln zu unterscheiden. Die erste Differenzierung findet zwischen Lägern mit und ohne Regal statt. In Bodenlägern lagern die Güter ohne Nutzung von Regalkonstruktionen direkt auf dem Boden, in Regallägern werden die Güter in unterschiedlichen Formen von Regalkonstruktionen mit oder ohne Ladehilfsmittel eingelagert. Beide Arten können dabei in einer Blockanordnung und damit in einer kompakten Weise angeordnet sein oder als Zeilenlagerung mit Zwischenräumen, die als Bedienwege fungieren. Bei der Bodenlagerung werden die Ladeeinheiten auf einer Ebene oder stapelbar (sofern das möglich ist) in mehreren Ebenen gelagert. Im Gegensatz dazu wird bei der Regallagerung grundsätzlich immer auf mehreren Ebenen gelagert.

Während die Bodenlagerung als statische Lagerform eingesetzt wird, kann bei der Regallagerung zwischen statischen und dynamischen Lagermitteln unterschieden werden. Ein Lagermittel wird statisch genannt, wenn die Ladeeinheit zwischen der Einlagerung und der Auslagerung an einem Platz im Lager verbleibt, also keinerlei Ortsveränderung stattfindet. Eine Umlagerung zur Optimierung von z.B. den

⁷⁸ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 236 f.

Zugriffszeiten etc. hat dabei keinen Einfluss auf diese Einteilung, da das einer Ein- oder Auslagerung gleichkommt. Hingegen werden Lagermittel dynamisch genannt, wenn die Ladeeinheiten nach dem Einlagern bewegt werden, wobei zwischen einer Bewegung der Ladeeinheiten in feststehenden Regalen, einer Bewegung der Ladeeinheit mit dem Regal und einer Bewegung der Ladeeinheiten auf Fördermitteln mit Lagerfunktion differenziert werden kann. Bei der dynamischen Regallagerung ist die Unterscheidung in Block- und Zeilenlager weniger sinnvoll, weswegen eine Differenzierung nach der vollzogenen Bewegung vorgenommen wird. Es wird zwischen „bewegte Regale“ oder „bewegte Ladeeinheiten“ differenziert.

In der Kategorie der dynamischen Regallagerung wird noch die Realisierung der Dynamik nach Stetig- und Unstetigförderern unterschieden. Verschiedene Fördermittel können systembedingt neben ihrer Förderfunktion auch zur Lagerung geeignet sein. Sie bilden im Rahmen der hier angeführten Systematisierung die Kategorie Lagerung auf Fördermitteln.⁷⁹

Abbildung 8 zeigt die schematische Einteilung der Lagermittel für Stückgut nach Bodenlagerung, Regallagerung und Lagerung auf Fördermitteln und ihren weiteren Unterteilungen.

⁷⁹ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 57 f.

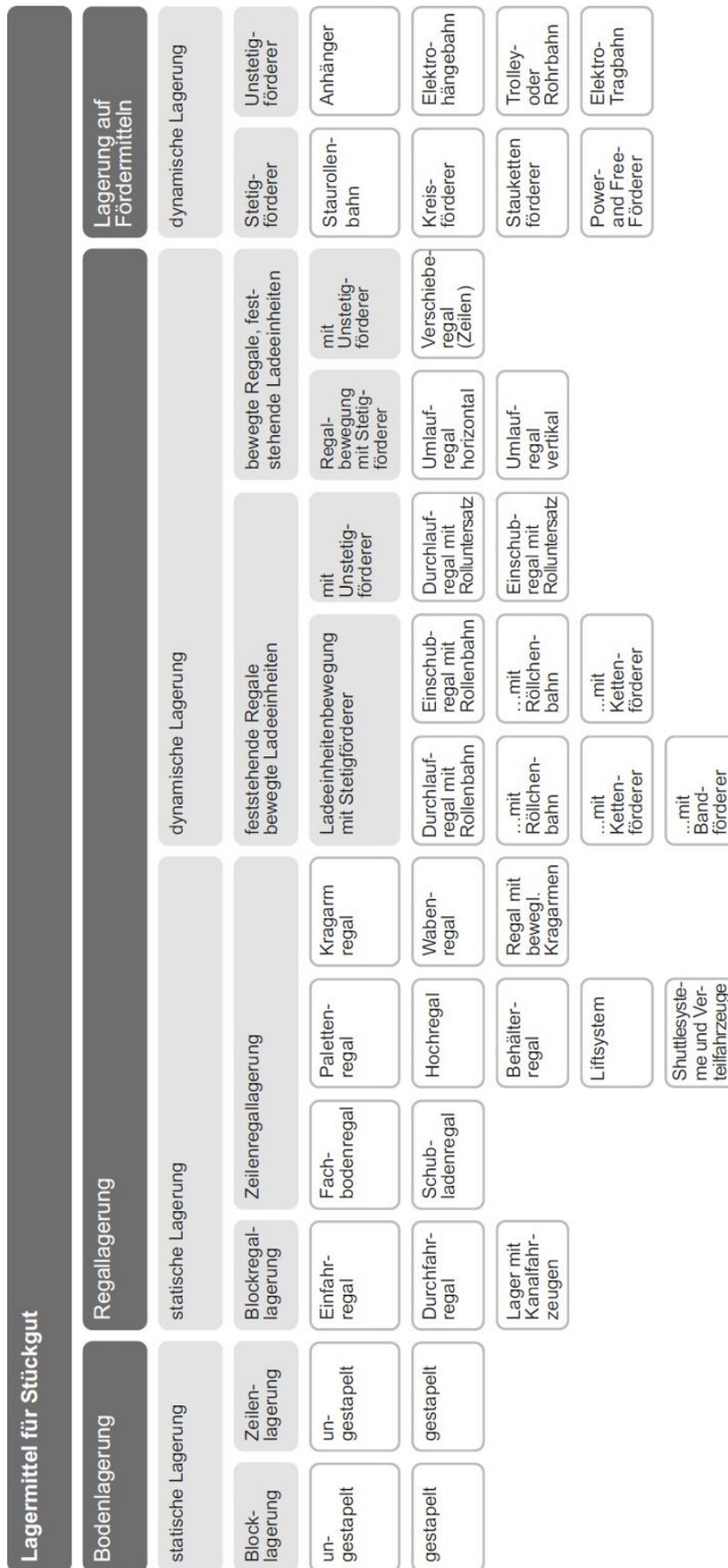


Abbildung 8: Systematik der Lagermittel für Stückgut⁸⁰

⁸⁰Quelle: Hompel, M. et al. (2018), S. 58

3.3.1 Bodenlager

Die Bodenlagerung ist die älteste und einfachste Art der Lagerung. Hierbei wird das Lagergut einfach auf dem Boden abgestellt, wobei Ordnungsschema eingeführt werden können, indem die Lagergüter zu Blöcken oder zu Zeilen zusammengefasst werden. Zudem können die Lagergüter auch gestapelt werden, was jedoch abhängig vom Lagergut nur begrenzt möglich ist. Die Bodenlagerung verursacht geringe Investitionskosten und ist flexibel an örtliche Gegebenheiten anpassbar. Bei einer ausreichend dimensionierten Gangbreite kann durch entsprechende Anzahl von Fördermitteln eine relativ hohe Umschlagsleistung realisiert werden. Wegen der schlechten Mechanisierbarkeit von Bodenlagern erfolgt die Bedienung meist manuell.⁸¹

3.3.2 Statische Regallagerung

Der Einsatz von Regalsystemen folgt meist der Optimierung der Flächennutzung durch Einbeziehen der Höhendimension. Bei der Nutzung eines Regals werden die Lagereinheiten in ein separates Fach oder einen spezifischen Ort eines Lagergestells eingelagert. Damit können nichtstapelfähige Güter ebenfalls effizient gelagert werden. Die maximale Regalhöhe variiert unter anderem von der gewählten Bedientechnik und kann von 2 Metern bei manueller Bedienung bis zu 55 Metern bei Regalbediengeräten reichen. Ein Großteil der Regaltypen setzen einheitliche Güter mit standardisierten Ladehilfsmitteln voraus. Neben der physischen Umsetzung der Lagerung führen aber auch die Art der Lagerorganisation zur Auswahl von Regaltechniken. Wesentliche Vorteile der Nutzung von Regalen sind die Möglichkeit der eindeutigen Zuordnung von Ladeeinheiten und Lagerorten sowie die weitgehende Umsetzbarkeit geforderter Strategien. Dadurch wird eine wesentliche Basis zur Automatisierbarkeit von Lagerprozessen geschaffen. Regale können in Zeilen oder Blöcken angeordnet werden. Die Zeilenanordnung bietet beliebigen Zugriff auf einzelne Lagereinheiten. Blockregale bieten dagegen eine hohe Raumnutzung durch ihre kompakte Lagerung und zum Teil sehr hohen Durchsätze.

Gängige Formen der statischen Regallagerung sind folgende:

- Blocklagerung, Kompaktlagerung
- Zeilenregale

⁸¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 60 ff.

- Fachbodenregale
- Palettenregale
- Behälterregale
- Einfahr- und Durchfahrregale
- Wabenregale
- Kragarmregale⁸²

3.3.3 Dynamische Regallagerung

Regale können aus verschiedenen Gründen dynamisch ausgeführt werden. Bei der dynamischen Lagerung werden die Lagergüter während des Lagerprozesses über Umlagerungen zwischen der Ein- und Auslagerung bewegt. Die Motivation und der erhoffte Nutzen sind unter anderem:

- Wegeinsparung in der Kommissionierung bzw. Erhöhung der Kommissionierleistung
- Hohe Umschlagsleistung bei kompakter Lagerung
- Nutzung der Vorteile von Block- und Zeilenlagerung zeitgleich

Die dynamische Regallagerung unterscheidet zwei grundlegende kinematische Konzepte. Feststehende Lagereinheiten in bewegten Regalen, wozu Verschiebe- und Umlaufregale zählen, und Bewegte Lagereinheiten in feststehenden Regalen, wozu verschiedene Formen von Durchlaufregalen zählen.⁸³

3.3.4 Transportmittel mit Pufferfunktion

Es gibt Anwendungsfälle wie beispielsweise in Krankenhäusern, der Textilindustrie, der Automobilproduktion oder der Kühlhauslagerung wo das Lagergut nur eine kurze und definierte Zeit in Lägern verweilt. In diesen Fällen kann das eingesetzte Fördermittel die Pufferung als kurzfristige Lagerung zwischen zwei Teilprozessen übernehmen. Die Fördermittel werden hier analog zu Abschnitt 3.2.1 in stetige und unstetige Transportmittel mit Lagerfunktion geteilt. Bei Stetigförderern werden dabei häufig Rollenbahnen, Bandförderer oder Kettenförderer meist mit Staufunktion verwendet. Ebenso werden Kreisförderer und Schleppkreisförderer (Power&Free Systeme) angewendet. Unstetigförderer wie Elektrohängebahnen, Trolleybahnen, Wagen oder automatische Flurförderfahrzeuge finden ebenfalls Verwendung.⁸⁴

⁸² Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 64 ff.

⁸³ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 84

⁸⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 92 f.

3.4 Lagerbetriebsstrategien

Für die Einlagerung von Gütern bzw. die Planung der Bewegungsvorgänge für Einlagerungen, Auslagerungen und Kommissionierungen werden Lagerstrategien angewandt. Zsifkovits (2012) hebt hervor, dass der Begriff „Strategie“ im Sinne der klassischen Managementlehre hier inkorrekt verwendet wird. Es handelt sich vielmehr um eine Taktik oder Politik, jedoch haben sich im Sprachgebrauch die Begriffe „Lagerbetriebsstrategien“ und „Bestellstrategie“ festgesetzt und werden deshalb ebenfalls in dieser Arbeit verwendet.⁸⁵

3.4.1 Belegungsstrategien

Belegungsstrategien haben zum Ziel, die Wege für die Ein- und Auslagerung möglichst gering zu halten. Sie bestimmen, auf welchen Plätzen, in welchen Lagerzonen welche Artikel gelagert und bereitgestellt werden müssen, um eine Wegreduzierung zu erreichen. Folgende Belegungsstrategien sind relevant:

- **Schnellläuferkonzentration**
Um die mittleren Fahrwege zu reduzieren, werden schnelldrehende Artikel in der Nähe der Ein- und Auslagerplätze angeordnet.
- **Feste Lagerplatzzuordnung**
Lagerplätze werden für den maximal zu erwartendem Lagerbestand eines jeden Artikels reserviert. Jeder Artikel darf nur auf dem ihm fest zugeordneten Plätzen liegen, andere Artikel dürfen diesen Lagerplatz nicht belegen.
- **Chaotische Lagerplatzzuordnung**
Freiwerdende Lagerplätze werden für den nächsten einzulagernden Artikel vergeben, unabhängig davon was das für ein Artikel ist.
- **Zonenweise feste Lagerordnung**
Hier werden bestimmte Lagerzonen für die Lagerung definierter Warengruppen reserviert oder bestimmte Lagerplätze oder Fachmodule nur für eine Sorte von Ladeeinheiten genutzt.
- **Gleichverteilungsstrategie**
Um maximale Zugriffssicherheit gewährleisten zu können, wird der Lagerbestand eines Artikels gleichmäßig auf z.B. mehrere Lagergassen eines automatischen Kleinteilelagers (AKLs) verteilt. Kommt es zu einem Gesamtausfall einer Gasse, kann auf die Bestände in den weiteren Gassen zugegriffen werden.

⁸⁵ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 231

- Platzanpassung
Kleine Artikel mit wenig Bestand werden kleineren Lagerplätzen zugeordnet.
Analog passiert das auch für große Artikel mit viel Bestand.
- Artikelreine/Chargenreine Platzbelegung
Lagerplätze mit mehreren Stellplätzen werden nur von einem Artikel oder einer Produktionscharge belegt.
- Artikelgemischte Platzbelegung:
Lagerflächen mit mehreren Stellplätzen dürfen von mehreren Artikeln gleichzeitig belegt werden⁸⁶

3.4.2 Bewegungsstrategien

Bewegungsstrategien bestimmen die Reihenfolge, in welcher Ein- und Auslagerungen von Fördersystemen und Lagergeräten durchgeführt werden. Diese berücksichtigen dabei Regeln und Restriktionen und finden unter Einhaltung dieser eine Strategie mit möglichst hoher Einlager-, Auslager- und Durchsatzleistung.

- Fahrwegstrategien
Lagergeräte, die mehrere Lagereinheiten gleichzeitig transportieren können, fahren in einer kombinierten Ein- und Auslagerfahrt auf einem möglichst kurzen Fahrweg nacheinander Einlagerfächer und Auslagerfächer an.
- Umlagerstrategien
Zum Freiräumen verdeckter Ladeeinheiten in mehrfachtiefen Lagern mit artikelgemischter Platzbelegung werden Umlagerungen notwendig. Diese werden bevorzugt in Zeiten durchgeführt, wo kein Ein- oder Auslageraufträge anstehen.
- Gangwechselstrategien
Bei automatischen Kleinteilelagern (AKLs), wo ein Regalbediengerät (RBG) mehrere Gassen bedient, können Ein- und Auslageraufträge für die jeweiligen Gassen gesammelt abgearbeitet werden, um den Leistungsverlust der Lagergeräte durch den Gangwechsel zu minimieren.
- Zuförderstrategien
Zyklische Aufteilungen auf alle Gassen oder nach der Auslastung ermöglichen es, eine größere Anzahl an Ladeeinheiten möglichst schnell einzulagern.
- Abförderstrategien

⁸⁶ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 232 f.

Nach Priorisierungen können verschiedene Artikel bei der Auslagerung absolute Vorfahrt auf den Förderstrecken bekommen.

- Auslagerung nach dem FIFO-Prinzip
Bei strengem FIFO (First-In-First-Out) müssen einzelne Ladeeinheiten in der Reihenfolge ihrer Einlagerung ausgelagert werden. Strenges FIFO kann z.B. durch Durchlaufregale physisch erzwungen werden. Das einfache FIFO-Prinzip verbietet die Zulagerung neuerer Chargen bei Mehrfachplatzlagern, in denen sich noch Ladeeinheiten einer früheren Einlagercharge des gleichen Artikels befinden.
- Auslagerung nach dem LIFO-Prinzip
Bei einseitig zugänglich Lagerplätzen müssen die zuletzt eingelagerten Artikel zuerst ausgelagert werden (Last-In-First-Out).⁸⁷

3.5 Lagermanipulation

Lagerhäuser erfüllen eine Reihe verschiedener Rollen in Lieferketten, wie von Higginson und Bookbinder (2005) festgestellt haben:

- Konsolidierungs- und Auflösungszentren
- Cross-Docks
- Umschlagszentren
- Verpackungs- und Beschriftungszentren
- Fulfillmentzentren
- Depots für Retouren
- Zentren für verschiedene Aktivitäten, wie z.B. Reparaturen, Servicezentren und Werksverkauf⁸⁸

In Abbildung 9 sind die unterschiedlichen Funktionsbereiche dargestellt, welche in den meisten vorkommenden Lagern voneinander zu unterscheiden sind.

⁸⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 233 f.

⁸⁸ Vgl. Higginson, J.; Bookbinder, J. (2005), S. 47 ff.

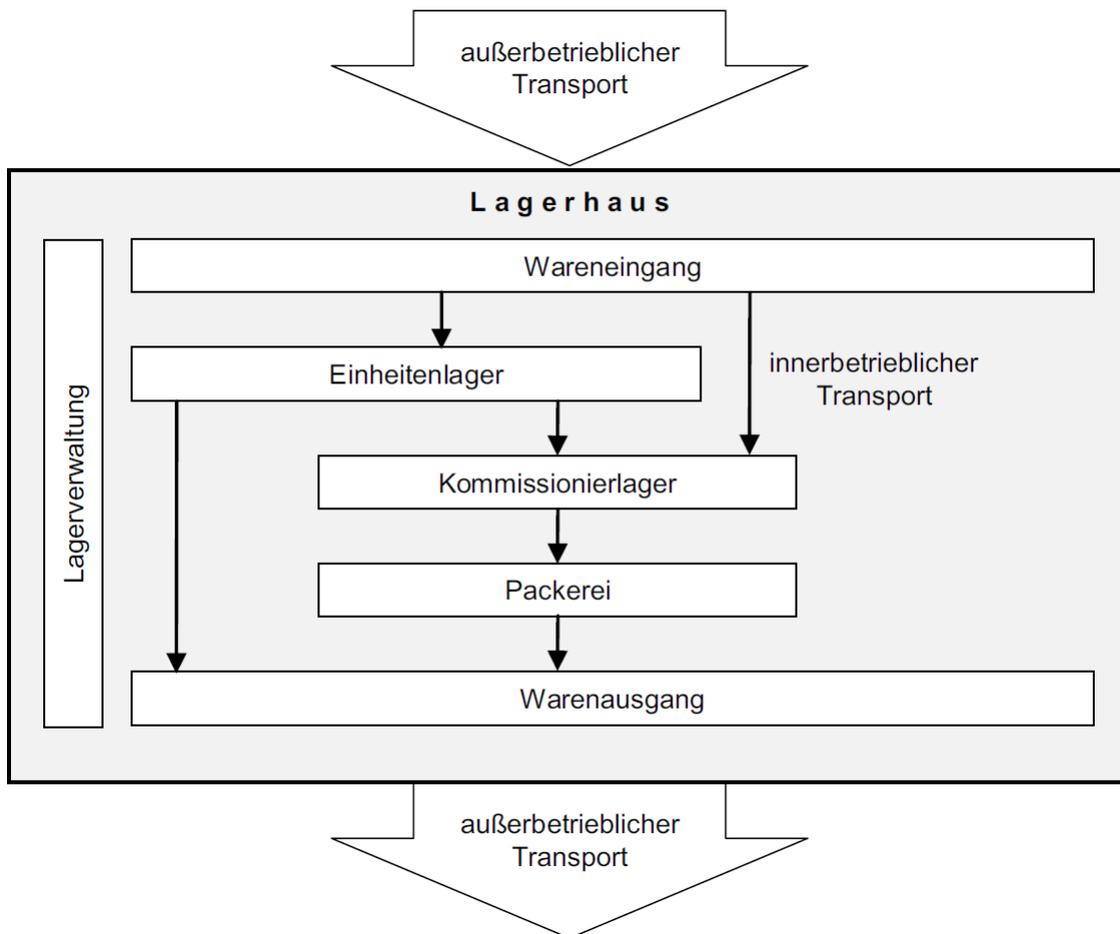


Abbildung 9: Funktionsbereiche in einem Lager⁸⁹

Unter Funktionsbereiche fallen nicht nur das eigentliche Aus- und Einlagern von Gütern (in Abbildung 9 als Wareneingang und Warenausgang dargestellt) sondern ebenso das Sortieren und das Zusammenstellen von Gütern (Kommissionieren) im Hinblick auf bestimmte Versand- bzw. Montageaufträge sowie das Stapeln und Verteilen der gelagerten Güter. Um die Lagerung und das Handling durchführen zu können sind spezielle Gebäude, technische Einrichtungen, Fördertechnik, Ladungsträger und computergestützte Informationssysteme und organisatorische Regelungen notwendig. Wegen der komplexen Wechselwirkung der einzelnen Elemente eines Lagesystems müssen diese behutsam aufeinander abgestimmt werden. Das ist bei der Auswahl der Lagertechnik und auch bei der Dimensionierung der Kapazitäten sowie der Entwicklung von Informationssystemen und Steuerungstechniken zu berücksichtigen.⁹⁰

⁸⁹ Quelle: Pfohl, H.-C. (2018), S. 37

⁹⁰ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 289

Diese Handlingarbeiten, welche auch Lagermanipulationen genannt werden, werden nun genauer vorgestellt.

3.5.1 Kommissionieren

Eine Bestellung ist eine Willenserklärung der KundInnen, eine angeforderte Ware zu den definierten Konditionen vom Lieferanten zu erwerben. Diese Konditionen sind unter anderem Art, Beschaffenheit, Menge, Preis und Lieferbedingungen.⁹¹

Die Konditionen können analog der in Abschnitt 2.1 genannten 6-R der Logistik gesehen werden. Sie sind eine generelle Auffassung der Ziele der Logistik. KundInnen wollen:

- das richtige Gut
- zur richtigen Zeit
- am richtigen Ort
- in der richtigen Menge
- in der richtigen Qualität
- zu den richtigen Kosten⁹²

Entspricht eine vom Kunden angeforderte Menge einer Lagereinheit, so kann unmittelbar eine Auslagerung veranlasst werden. Wegen der Gleichheit von bestellter zu auszulagernder Einheit kann dies meist leicht automatisiert werden. Ist dies jedoch nicht der Fall und die angeforderte Menge entspricht nicht den artikelreinen Lagereinheiten des Lieferanten, so wird es notwendig, diese in bedarfsorientierte Transporteinheiten für den Kunden umzuwandeln. Der Vereinzelungsvorgang, welcher die Zusammensetzung ändert, bei dem jeweils die für einen Auftrag erforderliche Stückzahl eines Artikels entnommen werden, wird Kommissionierung genannt.⁹³

Unter Kommissionierung wird die Auslagerung vorgegebener Artikel zur Erstellung eines Auftrags, der aus einem oder mehreren Auftragspositionen besteht und die Menge jedes einzelnen Artikels angibt, verstanden. Die Funktion „Kommissionieren“ beschreibt die Zusammenstellung eines Kundenauftrages von bestimmten Teilmengen aus einer Gesamtmenge nach vorgegebenen Bedarfsinformationen.⁹⁴ Als Kunde wird hier

⁹¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 4

⁹² Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 26

⁹³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 4

⁹⁴ Vgl. Martin, H. (2016), S. 405

generell die zu versorgende Gruppe verstanden. Dies können sowohl externe als auch interne Personen oder Firmen sein.

Die Kommissionierung stellt den Übergang von sortenreiner Lagerung zum sortenunreinen Auftrag dar und beinhaltet die Grundfunktionen:

- Bereitstellung der Waren
- Fortbewegung des Kommissionierpersonals
- Entnehmen der Waren
- Abgeben der Waren⁹⁵

3.5.1.1 Bereitstellung der Waren

Diese Grundfunktion umfasst alle notwendigen Transporte, um Güter für den Kommissionierer griffbereit zu machen. Sie ist nicht mit dem Nachschubversorgungsprozess der Lagerplätze zu verwechseln, vielmehr bezieht sie sich auf einen speziellen Kommissionierauftrag. Kann sich die KommissioniererIn/der Kommissionierer nicht zum Artikel bewegen, muss sich im Umkehrschluss der Artikel zur KommissioniererIn/zum Kommissionierer bewegen.⁹⁶

Die physische Bereitstellung der Artikel als Funktion der Kommissionierung kann nach zwei verschiedenen Prinzipien erfolgen. Entweder findet ein Transport der Ware zum Entnahmeplatz statt oder das Kommissionierpersonal begibt sich zur Ware am Lagerplatz. Es wird zwischen folgenden Bereitstellungsarten unterschieden:^{97,98}

- Statische Bereitstellung:
Die Ware liegt nach dem Prinzip der festen Lagerplatzordnung an einem bestimmten Lagerplatz, der vom Personal aufgesucht werden muss. Die statische Bereitstellung wird „Person/Roboter zur Ware“ genannt.
- Dynamische Bereitstellung:
Die Artikel werden aus einem Einheitenlager an einen vorbestimmten Kommissionierplatz außerhalb der Regalanlage transportiert, um dort entsprechend dem Auftrag die Artikel zu entnehmen. Dies geschieht manuell vom Kommissionierpersonal oder automatisch durch Roboter. Die dynamische Bereitstellung wird auch „Ware zur Person/Roboter“ genannt. Diese Art der

⁹⁵ Vgl. Martin, H. (2014), S. 390

⁹⁶ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 21

⁹⁷ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 294

⁹⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 391

Bereitstellung wird unter anderem bei automatisierten Kleinteilelagern oder Umlaufregalen eingesetzt.⁹⁹

Eine weitere Differenzierung bei der Bereitstellung der Ware ist in zentrale und dezentrale Bereitstellung. Unter zentraler Bereitstellung wird die Entnahme von Produkten an einem örtlich festen Punkt bezeichnet oder zumindest an räumlich stark begrenzten Punkten (z.B.: benachbarte Lagerplätze). Die Ware wird in Bereitstellungseinheiten sequenziell an diesem zentralen Punkt bereitgestellt. Nur auf diese Einheiten kann zugegriffen werden. Demgegenüber erfolgt bei dezentraler Bereitstellung die Entnahme an unterschiedlichen Punkten, zu denen sich das Kommissionierpersonal hinbewegen muss. Die Differenzierung in statische und dynamische Bereitstellung klärt also, ob die Bereitstellungseinheit zur Bereitstellung und nachfolgenden Entnahmen bewegt werden muss. Die Unterscheidung in zentrale und dezentrale Bereitstellung definiert den Ort der Durchführung der Entnahme. Bei der zentralen Bereitstellung findet die Entnahme an einem festen Ort statt. Bei der dezentralen Bereitstellung findet die Entnahme an verschiedenen Orten statt.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal teilt die Bereitstellung in geordnet, teilgeordnet oder ungeordnet. Dieses Kriterium beschreibt die Lage und die Orientierung der zu kommissionierenden Güter. In Abhängigkeit vom Lagergut sind in den meisten manuellen Systemen mehrere Ordnungszustände zu finden. Mit steigendem Automatisierungsgrad gewinnt die Art der Bereitstellung an Relevanz, da sie mitbestimmt, wie hoch der sensorische Aufwand zur Lagerguterkenntnis ist und eine geordnete Bereitstellung Grundvoraussetzung zur wirtschaftlichen Automatisierung ist.¹⁰⁰

In Abbildung 10 sind verschiedene Beispiele zur Bereitstellung von Ware dargestellt.

⁹⁹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 391

¹⁰⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 23

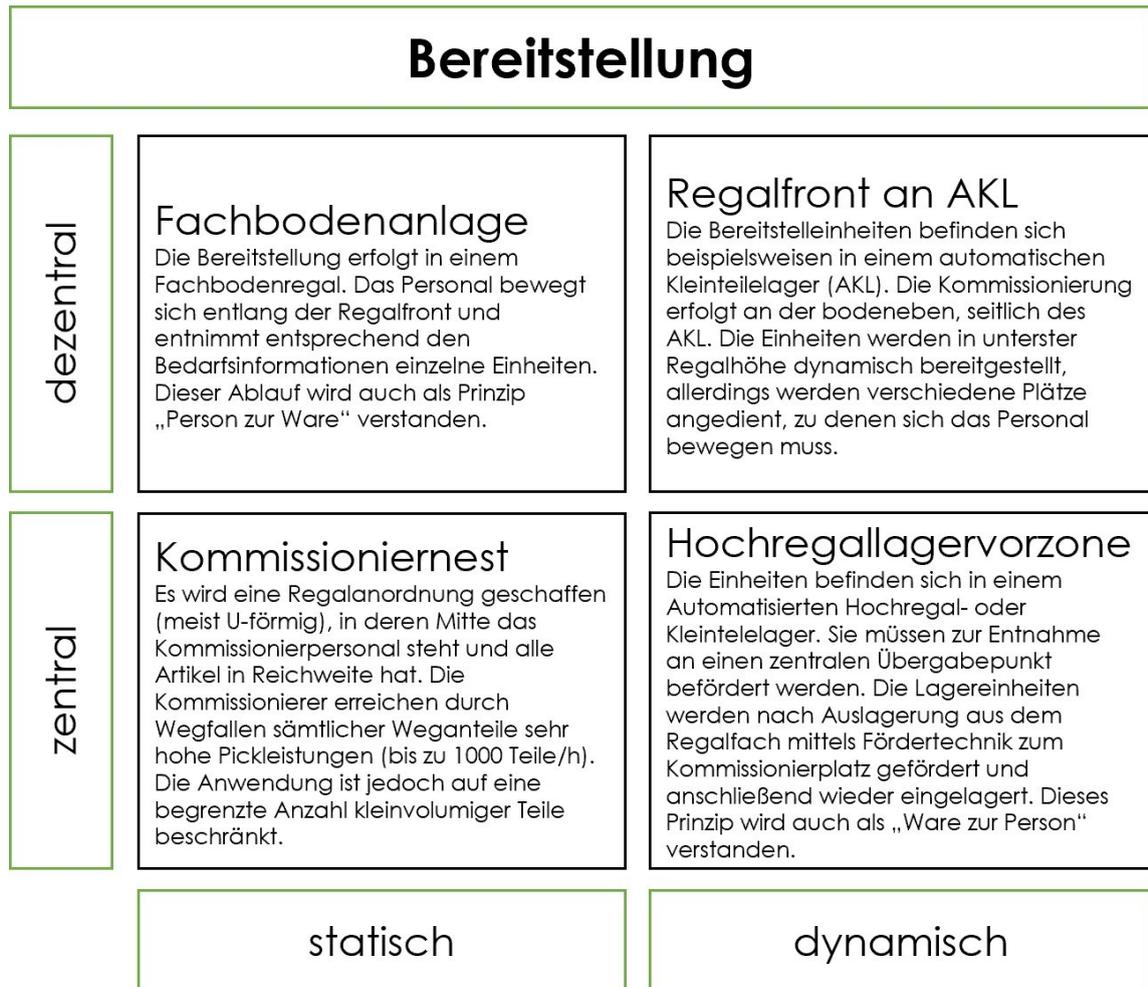


Abbildung 10: Beispiele verschiedener Bereitstellungs-konzepte¹⁰¹

3.5.1.2 Fortbewegung des Kommissionierpersonals

Bei der Fortbewegung wird die Art der Bewegung der KommissioniererInnen zum Bereitstellort der zu entnehmenden Güter betrachtet, d.h. in welcher Weise die Personen und Artikel zusammenkommen. Das Fortbewegen findet meist nur bei statischen Bereitstellungsarten der Ware statt. In seltenen Fällen ist bei dynamischer Bereitstellung auch Fortbewegung notwendig.¹⁰²

Je nachdem, ob die Bereitstellung zentral oder dezentral ausgeführt wird, unterscheidet sich auch die Fortbewegung der KommissioniererInnen. Bewegt sich das Kommissionierpersonal nicht, so hält es sich im Umkehrschluss an einem festen Standpunkt auf. Findet eine Bewegung zum Lagergut statt, so kann diese ein-, zwei- oder dreidimensional und manuell, mechanisiert oder automatisiert durchgeführt werden. Die eindimensionale Fortbewegung ist die Bewegung der

¹⁰¹ Quelle: In Anlehnung an Hompel, M. et al. (2011), S. 23

¹⁰² Vgl. Martin, H. (2014), S. 391

KommissioniererInnen die sich ebenerdig entlang einer Regalfront bewegen. Die zweidimensionale Fortbewegung kann beispielsweise mittels Regalbediengerät oder Hochregalstapler in einer Hochregallagergasse und die dreidimensionale Fortbewegung mittels eines Krans erfolgen. Im Bereich der Fortbewegung des Kommissionierpersonals sind sehr viele technische Hilfsmittel entwickelt worden, um die Menschen bei ihrer Tätigkeit und der Durchführung einer Bewegung zu unterstützen. Die Entwicklungen reichen von Handwagen, Handgabelhubwagen, sowohl angetrieben als auch nicht angetrieben, über Kommissionierwagen und -stapler bis hin zu automatisch verfahrbaren, bemannten Regalbediengeräten.¹⁰³

3.5.1.3 Entnehmen der Waren

Die Art der Entnahme von Artikeln aus dem Lager hängt stark von der Art des Lagersystems und der Art der gelagerten Produkte ab. Je nach Größe, Gewicht und Beschaffenheit der Waren sowie abhängig vom Lagertyp kann zwischen einer manuellen, mechanisierten und automatisierten Entnahme unterschieden werden. Die mechanisierte Entnahme zeichnet sich dadurch aus, dass von Menschen gesteuerte Hilfsmittel (z.B. Greifer, Hebemittel, Kräne) eingesetzt werden. Eine automatische Entnahme wird insbesondere bei homogenen Artikeln eingesetzt, wo Abmessungen und Gewicht einheitlich sind und bei begrenztem Sortiment ein hoher Leistungsbedarf besteht.¹⁰⁴

Einen speziellen Fall der Gutentnahme bildet das Prinzip der negativen Kommissionierung. Ein Kommissioniervorgang wird als solcher bezeichnet, wenn die Bestellmenge nahezu der kompletten Bereitstelleneinheit entspricht (z.B. Palette oder Behälter). Um den aufwendigen Prozess des Abpackens der Bestellmenge zu verhindern, wird die Bestelleinheit zur Liefereinheit und es muss nur die überschüssige Restmenge abgenommen werden. Diese Restmenge wird anschließend wieder Rückgelagert.¹⁰⁵

3.5.1.4 Abgeben der Waren

Nach der Entnahme der angeforderten Artikel aus der Bereitstelleneinheit müssen diese in eine Sammeleinrichtung oder auf ein Förderband abgelegt werden. Dieser Vorgang

¹⁰³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 24

¹⁰⁴ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 294

¹⁰⁵ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 24

wird als Abgabe bezeichnet und kann ebenso in zentral-dezentral und statisch-dynamisch unterschieden werden.¹⁰⁶

Zentrales Abgeben ist das Übergeben des Kommissionierbehälters als unsortierte Ladeeinheit an einen Kontroll- und Verpackungsplatz. Beim dezentralen Abgeben wird die kommissionierte Ware an mehreren Orten abgegeben.¹⁰⁷

Im Fall der Abgabe der Entnahmeeinheit bezieht sich die Unterscheidung in statische oder dynamische Abgabe auf das Fördermittel bzw. die Sammeleinrichtung. Befindet sich das Fördermittel in Bewegung (z.B. ein Stetigförderer) liegt eine dynamische Abgabe vor. Wird hingegen auf eine unbewegte Sammeleinrichtung abgegeben, spricht man von einer statischen Abgabe.¹⁰⁸

Abbildung 11 zeigt die Unterteilung der Abgabekonzepte nach den oben angeführten Kriterien.

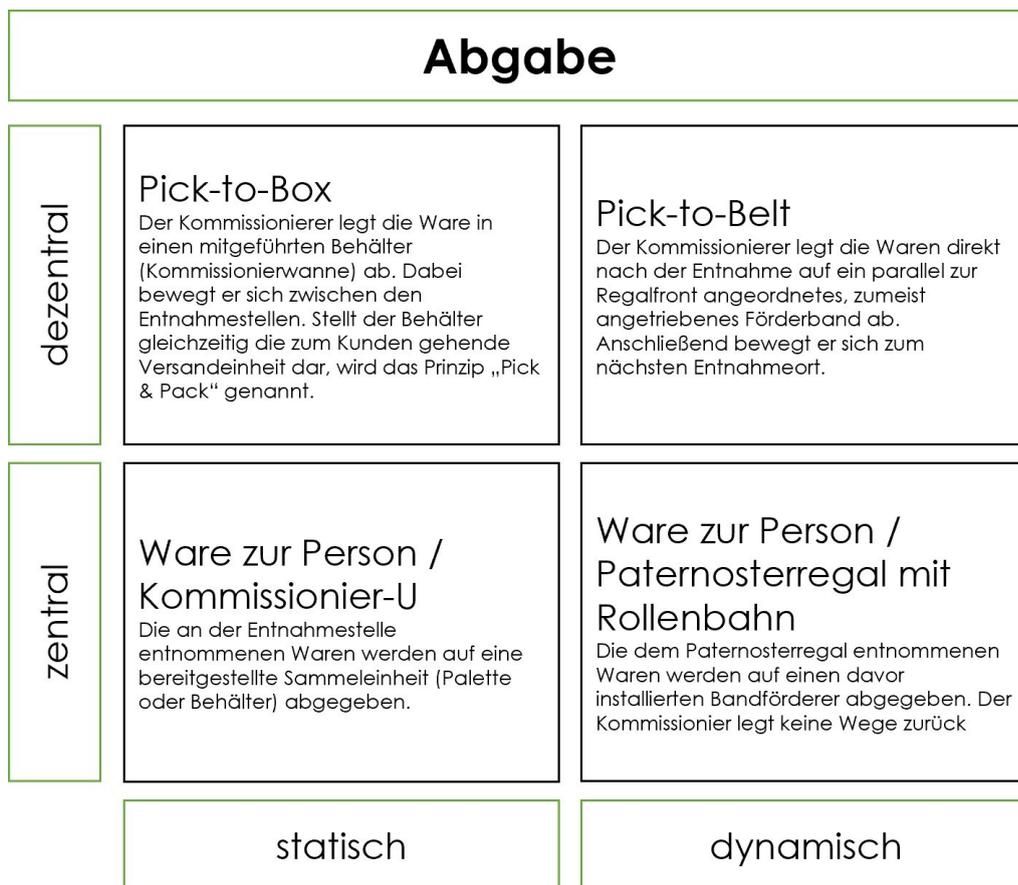


Abbildung 11: Beispiele verschiedener Abgabekonzepte¹⁰⁹

¹⁰⁶ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 26

¹⁰⁷ Vgl. Martin, H. (2014), S. 392

¹⁰⁸ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 26

¹⁰⁹ Quelle: In Anlehnung an Hompel, M. et al. (2011), S. 26

3.5.1.5 Organisation

Einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und damit auch die Systemwahl besitzt die Organisationsform des Kommissioniersystems. Mit Organisationsform ist die Wahl der Struktur und die Steuerung der Abläufe innerhalb des Kommissioniersystems gemeint. Es ist üblich, diese Organisation in die Aufbauorganisation, d.h. die Struktur der Anordnung der Lagerbereiche, und die Ablauforganisation, d.h. die Abwicklung des Kommissionierprozesses, sowie die Betriebsorganisation zu unterteilen.¹¹⁰

Aufbauorganisation:

Die Aufgabe der Aufbauorganisation besteht in der Bestimmung einer geeigneten Struktur für ein Kommissioniersystem. Die wichtige Frage dabei ist, welche Bereitstellensysteme für die verschiedenen Artikelgruppen geeignet sind und wie diese miteinander verbunden werden. Dieser Schritt setzt in jedem Fall eine sorgfältige Analyse der sich daraus variierenden Anforderungen an Kapazität, Leistung und Eigenschaften des Bereitstellensystems voraus. Diese Anforderungen können unter anderem aus folgenden Punkten resultieren:

- Volumina, Gewichten und Abmessungen der Bereitstelleneinheiten
- Umschlaghäufigkeiten bzw. Zugriffshäufigkeiten pro Artikel
- mittleren Entnahmemengen pro Artikel, pro Zeiteinheit, pro Zugriff
- häufigen Kombinationen einzelner Artikel
- Sicherheitsanforderungen (hochwertige Güter)
- Temperatur- und Sonderanforderungen

Durch technische Unterscheidungen der Bereitstellensysteme und durch besondere Eignungsschwerpunkte für bestimmte Artikelgruppen kann die Nutzung unterschiedlicher Systemtypen sinnvoll sein. Es hat sich deshalb etabliert, für diverse Artikeltypen verschiedene Bereiche zu bilden. Diese können aus organisatorischer Sicht innerhalb eines Bereitstellensystems in Zonen eingeteilt werden. Daraus kann beispielsweise die Bereitstellung der Produkte nach einer Einteilung in ABC-Klassen erfolgen oder durch die Zuweisung von Personal in abgegrenzte Arbeitsbereiche.¹¹¹

Die Ablauforganisation in Kommissionierorganisationen kann ein- oder mehrzonig sein.¹¹²

¹¹⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 32

¹¹¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 33f.

¹¹² Vgl. Martin, H. (2014), S. 397

Es wird von einem einzonigen Kommissioniersystem gesprochen, wenn für alle Produktgruppen die gleiche Technik und das gleiche Kommissionierprinzip angewendet wird und organisatorisch nur eine Zone besteht. Ein mehrzoniges System zeichnet sich hingegen entweder durch den Einsatz verschiedener technischer Teilsysteme für unterschiedliche Produktgruppen und die sich daraus ergebenden Kommissionierprinzipien aus oder verfügt über organisatorische Zonen aufgrund von abgegrenzten Arbeitsbereichen oder einer ABC-Zonung.¹¹³

Ablauforganisation:

Damit die verschiedenen hier beschriebenen Möglichkeiten der Ablauforganisation eindeutig voneinander abgegrenzt werden können, wird an dieser Stelle zunächst die in ten Hompel et al. (2012) vorgeschlagene Typisierung der Ablauforganisationen angeführt. Die Typen der Ablauforganisation können durch den Ausdruck (O|M|Z) definiert werden. Der erste Parameter (O) beschreibt die Anzahl der Kundenaufträge (englisch order), die gleichzeitig von KommissioniererInnen bearbeitet werden. Die Anzahl an Personen, die einen Kundenauftrag gleichzeitig bearbeiten, wird durch den zweiten Parameter (M) beschrieben (englisch man). Die Zahl der vorhandenen Zonen im Gesamtsystem beschreibt der dritte und letzte Parameter (Z – englisch zones).¹¹⁴



Abbildung 12: Typisierung der Ablauforganisation¹¹⁵

Abbildung 12 zeigt den schematischen Aufbau der Typisierung der Ablauforganisationen.

Im Rahmen der Ablauforganisation wird die operative Verfahrensweise in einem bestehenden Kommissioniersystem festgelegt. Neben der Vorgehensweise bei der

¹¹³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 33f.

¹¹⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 36f.

¹¹⁵ Quelle: In Anlehnung an Hompel, M. et al. (2011), S. 37

Bearbeitung von Kommissionieraufträgen wird die Bewegungsstrategie des Kommissionierpersonals geregelt.¹¹⁶

Bei der Zusammenstellung von Aufträgen (Artikelkommissionierung) sind folgende Ablaufstrategien zu unterscheiden:¹¹⁷

- Die auftragsbezogene Kommissionierung

Die benötigten Güter werden für jeden Auftrag einzeln oder in einer Gruppe von Aufträgen zusammengestellt. Die Aufträge bzw. Auftragsgruppen werden hier sequenziell abgearbeitet. Diese Vorgehensweise ist die am häufigsten anzutreffende, da sie den geringsten Organisationsaufwand erfordert.¹¹⁸ Am Ende des Kommissioniervorgangs ist der Auftrag fertig zusammengestellt. Dieses Vorgehen wird auch „einstufige Kommissionierung“ genannt.¹¹⁹ Nachdem ein Auftrag abgeschlossen ist, wird der nächste Auftrag begonnen. Die Bearbeitung wird auch auftragssequenziell genannt. Im Englischen wird diese Art der Auftragsdurchführung auch Single-Order-Picking genannt und ist möglich, wenn die durchschnittliche Auftragsgröße, d.h. die in einem Auftrag angeforderte Stückzahl, die Transportkapazität des Kommissionierpersonals nicht überschreitet. Wird eine einfache, auftragsweise Kommissionierung wie eben durchgeführt und liegt nur eine Zone vor, so entspricht diese dem Typ (1 | 1 | 1).¹²⁰

Die auftragsparallele Kommissionierung ist eine weitere Form der auftragsbezogenen Kommissionierung und hat die Eigenschaft, dass mehrere Kundenaufträge gleichzeitig in Bearbeitung sind. Dabei werden mehrere Kundenaufträge zu einer Gruppe zusammengefasst und synchron in einer Zone von einer Mitarbeiterin/einem Mitarbeiter abgearbeitet. Das Kommissionierpersonal führt dabei mehrere Kundenauftragsbehälter gleichzeitig mit sich. Die entnommene Ware wird dabei direkt in den Behälter für den jeweiligen Kunden gepickt. Mehrere Aufträge werden parallel abgearbeitet, dadurch auch der Name „auftragsparallele Kommissionierung“. Um die sich dabei ergebenden Bündelungseffekte nutzen zu können, muss die Organisation der Kommissionierung so aufgebaut sein, dass die Mitarbeiterin/der Mitarbeiter automatisch von Entnahmestelle zu Entnahmestelle geleitet wird. Im englischen wird dieses Prinzip

¹¹⁶ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 34

¹¹⁷ Vgl. Martin, H. (2014), S. 393

¹¹⁸ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 294

¹¹⁹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 393

¹²⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 35 ff.

auch Multi-Order-Picking genannt. Der Anstieg der Entnahmepunktdichte führt dabei zu einer Reduzierung der mittleren Wegzeit pro Auftrag. Das Multi-Order-Picking-Prinzip ohne Zonung des Lagers entspricht dem Typ (O | 1 | 1). Das bedeutet, dass insgesamt O Aufträge (mit $O > 1$) von $M=1$ Personen in $Z=1$ Zonen gepickt werden.¹²¹

- Die artikelbezogene Kommissionierung

In der ersten Stufe der artikelorientierten Kommissionierung werden zunächst die Artikel für mehrere Aufträge gleichzeitig gesammelt. Darauffolgend werden die Artikel den entsprechenden Aufträgen zugeordnet (zweite Stufe).¹²² Auf diese Art werden Schritt für Schritt die benötigten Güter bereitgestellt, bis mit der nächsten Gruppe fortgefahren werden kann. Dieses Verfahren wird wegen der erzielbaren Wegzeiteinsparung häufig dann eingesetzt, wenn eine Vielzahl von Kleinaufträgen zu bearbeiten ist.¹²³ Die Bereitstellereinheit ist nur einmal anzusteuern oder zum Entnahmeplatz zu befördern, wodurch sowohl die Wegzeiten als auch die Greifzeiten erheblich reduziert werden können. Hierbei können Bündelungseffekte durch die Zusammenfassung mehrerer Kundenaufträge erzielt werden. Für die Durchführung dieses Auftrages ist es notwendig, die Kundenaufträge zu sammeln und zu sogenannten „Batches“ oder „Auftragsstapeln“ zusammenzufassen. Deshalb wird dieses Prinzip auch Batchkommissionierung genannt. Nachdem in der ersten Stufe alle im Auftragsstapel enthaltenen Artikel kundenunabhängig kommissioniert worden sind, erfolgt in der zweiten Stufe die Vereinzelung und Zuordnung der Artikel auf die Kundenaufträge. Die Batchkommissionierung erfordert einen hohen Systemaufwand für die Auftragsvorbereitung, den Transport der Entnahmeeinheit sowie die Verteilung auf Kundenaufträge. Dadurch eignet sich das System nicht für den Fall von geringen Auftragszahlen.

Es ist also grundlegend festzuhalten, dass der Einsatz eines zweistufigen Kommissioniersystems nicht für jedes Unternehmen sinnvoll ist. Für den effizienten Einsatz eines zweistufigen Kommissioniersystems müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Die Artikel müssen förderfähig sein, die Auftragsbearbeitung muss rechnergestützt laufen und weiterhin sollten ausreichend große Mengen an Aufträgen mit geringer Anzahl an Positionen

¹²¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 35 ff.

¹²² Vgl. Martin, H. (2014), S. 393

¹²³ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 294 f.

vorhanden sein. Wird ein Kundenauftrag von mehreren KommissioniererInnen in mehreren Zonen zeitgleich bearbeitet, müssen die Aufträge im Vorfeld in Teilaufträge aufgesplittet werden. Dies entspricht dem Typ (1 | M | Z). Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass innerhalb einer Zone mehrere Teilaufträge gleichzeitig von einer Kommissioniererin/einem Kommissionierer bearbeitet werden. Auf das Gesamtsystem bezogen, werden dabei mehrere Kundenaufträge von mehreren KommissioniererInnen in verschiedenen Zonen gleichzeitig bearbeitet, was der ablauforganisatorischen Typisierung von (O | M | Z) entspricht.¹²⁴

- Die lagerbereichsbezogene Kommissionierung

Hierbei erfolgt die Kommissionierung getrennt nach einzelnen Lagerbereichen, welche in der Regel mit einem eigenständigen Lagerbediengerät ausgestattet sind. Zum Einsatz kommt diese Organisationsform dann, wenn die Aufträge eine größere Anzahl von Artikeln umfassen, welche aus unterschiedlichen Lagersystemen entnommen werden müssen.¹²⁵ Ist ein Kommissionierlager in mehrere Zonen oder technische Bereiche geteilt, können diese entweder hintereinander, also seriell, oder gleichzeitig, also parallel, durchlaufen werden.

Die zonenserielle Kommissionierung, bei der innerhalb einer Zone eine einfache, auftragsweise Kommissionierung stattfindet (vgl. die auftragsbezogene Kommissionierung), ist durch den Typ (1 | 1 | Z) definiert. In seltenen Fällen kann auch eine zonenserielle, auftragsparallele Kommissionierung stattfinden. Dabei werden mehrere Kundenaufträge gleichzeitig von einer Kommissioniererin/einem Kommissionierer in einer Zone gesammelt und danach an die nächste Zone weitergegeben. Dieses Vorgehen entspricht dem Typ (O | 1 | Z).¹²⁶

Außer diesen aufgezeigten Möglichkeiten der Ablauforganisation beim Kommissioniervorgang ergeben sich durch verschiedene Kombinationen dieser Möglichkeiten weitere Varianten, ebenso durch Erhöhung der Stufenzahl.¹²⁷

Betriebsorganisation:

Als dritten Teil der Organisationsbausteine in Kommissioniersystemen stellt die Betriebsorganisation eine Menge unterschiedlicher Strategien zur Einlastung der

¹²⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 37 ff.

¹²⁵ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 294 f.

¹²⁶ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 37

¹²⁷ Vgl. Martin, H. (2014), S. 393

Aufträge in das Kommissioniersystem dar. Sie bildet das dynamische Mittel, um den ständig wechselnden äußeren Anforderungen in einem Kommissioniersystem gerecht zu werden. Wechselnde Anforderungen stellen in diesem Sinn z.B. saisonale Schwankungen der Auftragsmengen, Kapazitätsauslastungen unter Berücksichtigung momentaner Personalstärken oder verfügbarer Systemleistungen und Priorisierung von Kundenaufträgen dar. Die Betriebsorganisation ist auftragsgesteuert, d.h. sie befasst sich mit der zeitlichen Reihenfolge, in der ein oder mehrere Kommissionieraufträge eingelastet werden. Hier kann unterschieden werden ob diese Einlastung mit oder ohne Optimierung realisiert wird. In Systemen ohne Optimierung werden Aufträge hintereinander, strikt nach ihrer zeitlichen Ankunftsreihenfolge abgearbeitet. Dies wird oft in Systemen mit geringerer Leistungsanforderung angewandt. Das Kerngebiet der Betriebsorganisation befasst sich jedoch mit der Optimierung des Gesamtsystems. Dabei werden unter anderem die Reihenfolge, in welcher die Aufträge eingelastet und bearbeitet werden, oder wieviel Personal in den Kommissionierzonen eingesetzt wird festgelegt. Die Einlastung der Aufträge in das Kommissioniersystem erfolgt nach Eintreffen der Auftragsinformationen in einer Datenbank. Mittels Filterkriterien ist es möglich, Aufträge gezielt zurückzuhalten und eine manuelle Freigabe herbeizuführen. Für einen reibungslosen Ablauf ist hier jedoch eine Verfügbarkeitsprüfung der Ressourcen und Materialien für die jeweiligen Aufträge unabdinglich. Weiters gelten verschiedene Ausführungsstrategien zur Abarbeitung der Kommissionieraufträge. Zudem befasst sich die Betriebsorganisation mit der Personalplanung in der Kommissionierzone oder der Kommissionierzonen.¹²⁸

Die Personalplanung orientiert sich an dem Ist-Personalstand und dem gegebenen Arbeitsvorlauf. Diese Einsatzplanung richtet sich dabei nach den Auftragseinlastungen und steht in engem Bezug zu diesen. Sie hat als Grundlage die Kennzahlen der Auftragsstruktur, wie z.B. Anzahl an Positionen, Menge, Gewicht, die Auslastung der Kommissionierzone und das Verhältnis von Normal- und Eilaufträgen.¹²⁹

Die Betriebsorganisation regelt darüber hinaus auch den Nachschub im Kommissioniersystem. Dabei wird grundsätzlich zwischen Nachschub und Bedarfsnachschub unterschieden. Ein vorsorglicher Nachschub wird dann ausgelöst, wenn ein eingestellter Mindestbestand nicht mehr vorhanden ist. Der Nachschub stellt dann sicher, dass das Regal entsprechend dem Höchststand aufgefüllt wird. Der

¹²⁸ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 40 f.

¹²⁹ Vgl. Gudehus, T. (2013), S. 208 f.

Bedarfsnachschieb ist erst dann notwendig, wenn der momentane Bestand eines Artikels für den nächsten Auftrag unzureichend ist. Eine Kombination aus beiden Nachschubsystemen kann auch zu Spitzenzeiten eine gleichmäßige Systemauslastung bei maximaler Lieferbereitschaft ermöglichen.¹³⁰

3.5.1.6 Kommissionierzeit

Der Kommissioniervorgang ist durch unternehmensspezifische Vorgaben oft ein komplizierter Vorgang und damit eine zeit – und kostenträchtige Tätigkeit.¹³¹ Sie stellt einen arbeitsintensiven und zumeist personalintensiven Vorgang eines Lager- und Warenverteilzentrums dar und erfährt dadurch besondere Beachtung bei Planung und Betrieb solcher Systeme.¹³² Um hier wirtschaftlich zu arbeiten, ist der Kommissionierplatz so zu gestalten, dass ein optimales Arbeiten ermöglicht wird und die Kommissionierzeit reduziert wird.¹³³ Kommissionierzeiten bestehen aus folgenden Komponenten:



Abbildung 13: Zusammensetzung der Kommissionierzeit¹³⁴

Die Basiszeit bei manueller Kommissionierung beinhaltet die Zeiten für die Übernahme des Auftrags, das Sortieren der Belege, die Aufnahme von Informationen, die Aufnahmen und Abgabe von Kommissionierbehältern und/oder -wagen und die Weitergabe von Belegen. Sie nimmt in der Regel ca. 5 bis 10% der Kommissionierzeit in Anspruch und kann durch gute Arbeitsvorbereitung (Straffung und gute Gestaltung der Organisation) durch geschultes Personal und optimale Bereitstellung reduziert

¹³⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 41

¹³¹ Vgl. Martin, H. (2016), S. 414

¹³² Vgl. Hompel, M.; Schmidt, T. (2007), S. 34

¹³³ Vgl. Martin, H. (2016), S. 414

¹³⁴ Quelle: In Anlehnung an Martin, H. (2016), S. 414

werden. Die Wegzeit setzt sich aus den Zeitanteilen für Basisweg, Kommissionierweg und Gangwechsel zusammen und ist mit 30 bis 50% der Kommissionierzeit der größte Bestandteil. Diese Zeit kann durch Sortimentsbereinigung, Bestandsreduzierung und Beseitigung von Ladenhütern gesenkt werden. Bei statischer Bereitstellung kann weiters durch folgende Maßnahmen die Wegzeit gesenkt werden:

- Anordnung der Artikel nach Umschlagshäufigkeit, kunden- oder baugruppenorientiert, ABC-Analysen
- EDV-Wegoptimierung nach Reihenfolge der Kommissionierung
- Bewegung der KommissioniererInnen mit Kommissionierfahrzeugen (eindimensional, falls das die örtliche Bauweise zulässt)
- Zweidimensionale Bewegung der KommissioniererInnen (RBG)
- Stirnflächenverkleinerung der Lagerfächer
- Artikelorientiertes Kommissionieren z.B. mehrstufiger Vorgang

Die Umstellung auf dynamische Bereitstellung birgt folgende Verbesserungsmöglichkeiten:

- Ware zur Person z.B. durch Paternoster-, Karussell- und Turmregal, AKL, Einheitenlager + Kommissionierplatz außerhalb des Lagers (Wegzeit = Null).

Tätigkeiten wie Hinlangen, Aufheben, Transportieren und Ablegen bilden zusammen die Greifzeit. Sie liegt ebenfalls zwischen 5 und 10% der Kommissionierzeit und lässt sich oft schlecht ermitteln. Die Greifzeit ist abhängig von:

- Form, Abmessung und Gewicht der Artikel
- Der Greifhöhe - diese ist optimal zwischen 1 und 1,2 Metern (über Fußbodenoberkante)
- Der Greiftiefe - diese ist optimal bis 0,4 Meter
- Die Anzahl der Entnahmeeinheiten pro Position und Zugriff
- Der Geschicklichkeit und den physiologischen Eigenschaften der KommissioniererInnen

Als letzte Komponente der Kommissionierzeit wird hier die Totzeit angeführt. Sie macht 10 bis 35% der gesamten Kommissionierzeit aus und setzt sich aus den Positionier-, Suche-, Lese-, Schalt- und Kontrollvorgängen, die zur Abwicklung eines Kommissionierauftrags erforderlich sind, zusammen. Die Totzeit kann durch Informations- und Suchhilfen, gute Arbeitsbedingungen, geeignete Vorrichtungen,

geschultes und geübtes Personal und Ersetzen der Kommissionierliste durch belegloses Kommissionieren verringert werden.¹³⁵

3.5.1.7 Kommissionierleistung

Diese entspricht der mengenmäßigen Entnahme pro Zeiteinheit, bezogen auf die durchschnittliche Auftragsgröße und kann durch Griffeinheiten pro Stunde, in Behälter pro Stunde oder in Positionen pro Stunde ausgedrückt werden. Der Kommissionierauftrag kann entweder von internen Auftraggebern (Produktion, Montage) oder ein externer Kundenauftrag sein. Die Aufteilung von Kommissionieraufträgen in Teilaufträge wird als Batch-Auftrag bezeichnet. Die Kommissionierleistung ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, wie z.B. der Fortbewegungsart der KommissioniererInnen im Lager, Ablauforganisation, der Bereitstellungsart, der physischen Eigenschaften des Artikels sowie der Auftragsstruktur.¹³⁶

3.5.2 Konsolidieren

Die Konsolidierung fasst einzelne Transportgüter zu einem kompakten Ganzen zusammen. Damit wird speziell in der Intralogistik darauf abgezielt, den Umgang mit Waren wirtschaftlich günstiger zu gestalten und Einsparungen bei den Transportkosten zu erreichen.¹³⁷

Teilaufträge und Konsolidierung können insbesondere in großen Kommissioniersystemen eingesetzt werden, wo die Auftragsdurchlaufzeit meist sehr hoch ist. Zur Reduzierung der Durchlaufzeit besteht die Möglichkeit, die Kundenaufträge in sogenannte Teilaufträge unterteilen. Dadurch kann ein Auftrag in mehreren Bereichen gleichzeitig bearbeitet werden. Diese Vorgehensweise impliziert jedoch immer einen Konsolidierungsprozess in der Kommissionierung, welche die separat kommissionierten Artikel eines Auftrages zusammenführt.¹³⁸

In der Logistik werden zwei Konsolidierungsarten unterschieden:

- Bei der zeitlichen Konsolidierung, welche auch als Bestandskonsolidierung bezeichnet wird, wird die Auslieferung von Waren hinausgezögert. Erst wenn genug Waren angehäuft sind bzw. die Kapazitäten eines Transports einen

¹³⁵ Vgl. Martin, H. (2014), S.399

¹³⁶ Vgl. Martin, H. (2014), S.399

¹³⁷ Vgl. <https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/konsolidierung/> (Zugriff: 01.12.2020)

¹³⁸ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 31

bestimmten Nennwert erreicht haben, werden die Waren versendet oder transportiert. Bei dieser Konsolidierungsform ergeben sich Vorteile beim Sender und beim Empfänger. Der Sender kann die Ausschöpfung seiner Kapazitäten erreichen und der Empfänger erhält alle Waren gebündelt.

- Bei der räumlichen Konsolidierung werden Verkehrsströme zusammengeführt. Ein Fahrzeug fährt auf einer Tour mehrere Stationen an, bei denen Waren abgeholt werden sollen, analog werden an verschiedenen Orten Waren zugestellt. Die Tour wird entsprechend so geplant, dass alle Waren innerhalb einer Tour auf dem schnellstmöglichen Weg abgeholt und zugestellt werden können. Vorteil bei der räumlichen Konsolidierung ist ebenfalls die Möglichkeit auf Einsparung bei den Transportkosten aufgrund eingesparter Fahrwege.¹³⁹

3.5.3 Umschlagen

Auch Umschlagen fällt in das Aufgabengebiet von Lagerhäusern. Auf dem Weg vom Produzenten zum Endverbraucher durchlaufen Güter und Produkte eine unterschiedliche Anzahl an Stationen, in denen sie gelagert, befördert, bearbeitet oder gehandhabt werden. Um den Warenfluss zwischen zwei räumlich getrennten Orten zu realisieren sind in der Regel verschiedene Transportmittel notwendig. Der Wechsel unterschiedlicher Arbeitsmittel innerhalb einer Transportkette wird als Umschlagen bezeichnet. Umschlagvorgänge finden im gesamten inner- und außerbetrieblichen Transport sowie an deren Schnittstellen statt.¹⁴⁰

Definitionsgemäß ist der Umschlag die Gesamtheit der Förder- und Lagervorgänge beim Übergang der Güter auf ein Transportmittel, beim Abgang der Güter von einem Transportmittel und wenn Güter das Transportmittel wechseln.¹⁴¹

3.5.4 Sortieren

Sortieren ist ein Prozess, der in Lagerhäusern durchgeführt wird und beschreibt das Ordnen einer Anzahl von Gütern in einer vorgegebenen Sequenz.¹⁴²

Das Sortieren großer Sortimente mit hohen Geschwindigkeiten stellt eine hochanspruchsvolle Aufgabe der Logistik dar. Die Ansprüche an die Warenverteilung und

¹³⁹ Vgl. <https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/konsolidierung/> (Zugriff: 01.12.2020)

¹⁴⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 308

¹⁴¹ Vgl. DIN 30781-1:1989-05, Transportkette; Grundbegriffe DIN 30781-1:1989-05, Transportkette; Grundbegriffe

¹⁴² Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 127

Leistungsfähigkeit von Sortier- und Verteilsystemen sind durch die Anforderungen weltweiter Beschaffungs- und Liefernetzwerke deutlich gestiegen.^{143,144}

Durch die sogenannte Atomisierung von Aufträgen, welche den Trend zu kleiner werdenden Aufträgen insbesondere durch den E-Commerce beschreibt,¹⁴⁵ sind die in Netzwerken fließenden Stückgüter und die möglichen Zielstellen im Handel stark angestiegen. In Netzkonten müssen heute täglich Millionen unterschiedlicher Güter auf ihre Ziele sortiert werden. Dabei reicht das zu sortierende Gutspektrum von Schachteln mit biegefesten Böden und Seiten über Gepäckstücke bis hin zu biegeweichen Textilien, Papierwaren, Tüten oder Abfallstoffen. Nach der Kommissionierung ist die Sortierung der kostenaufwändigste Arbeitsvorgang in der Logistik. Aus diesem Grund nehmen Stückgutsortierungssysteme in der Materialflusstechnik eine wichtige Rolle ein und befinden sich bei Förder-, Identifikations- und Steuerungstechnik auf hohem technischem Niveau. Sie sind auf ihre spezielle Aufgabe angepasst und leistungsoptimiert.¹⁴⁶

3.5.5 Cross-docking

Cross-Docking ist eine besondere Warenumschlagsart, bei der die Waren vom Lieferanten fertig vorkommissioniert geliefert und ohne Lagerung verteilt werden. Das bedeutet, dass Einlagerungsaktivitäten und alle Aktivitäten der Bestandsführung entfallen. Durch zeitliche und mengenmäßig Koordination zwischen Anlieferung und dem Cross-Docking-Punkt und der Auslieferung können Bestände fast völlig vermieden werden. Ziele des Cross-Dockings sind neben der Reduzierung der Lagerkosten auch die Reduzierung der Anzahl der Prozessschritte. Die Benennung „Cross-Docking“ beschreibt dabei den Prozess, bei dem auf einer Seite der Wareneingang erfolgt und auf der anderen Seite die Waren neu geordnet ohne Zwischenlagerung in den LKW beladen werden.¹⁴⁷

Der Schwerpunkt beim Cross-Docking liegt auf dem Umladen und nicht bei Lagerbeständen. Dies erfordert eine genaue Synchronisierung der eingehenden (Inbound) und der ausgehenden (Outbound) Fahrzeuge mit ihren Ladungen. Eine perfekte Synchronisierung ist jedoch schwer zu erreichen, woraus das in der Praxis

¹⁴³ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 247

¹⁴⁴ Vgl. Jodin, D.; Hompel, M. (2012), S. 1

¹⁴⁵ Vgl. <https://logistikknowhow.com/logipedia/atomisierung-der-auftraege/> (Zugriff: 02.12.2020)

¹⁴⁶ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 247 f.

¹⁴⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 86 f.

übliche Staging (also eine Anlieferung und ein Abtransport zu mehreren verschiedenen Zeitpunkten) resultiert. Viele Sendungen müssen sortiert, konsolidiert und bis zum Zeitpunkt des Abtransportes gepuffert werden. Cross-Docking kann also als Konsolidierungsprozess von Stückgut an einem Ort beschrieben werden, wo die Waren von verschiedenen Ursprüngen kommen und welcher mit minimaler Handhabung und kurzer Lagerdauer oder gar keiner Lagerung zwischen Entladen und Einladen auskommt. Bei der Länge der Lagerdauer gehen die Meinungen in der Fachliteratur auseinander, oft wird jedoch eine Zeitdauer von 24 Stunden genannt.¹⁴⁸

Cross-Docking stellt mit vorwiegend Konsolidierungs- und Sortierungsaufgaben eine Sonderaufgabe von Lägern dar. Das Hauptaugenmerk wird auf effizienten Güterumschlag und richtige Konsolidierung und nicht auf die Lagerung an sich gelegt.

3.6 Produktionsbelieferung und Fertigteillager

Eine reine Lagerfertigung liegt dann vor, wenn alle Fertigungsaufträge nicht auf Kundenaufträgen, sondern auf Absatzvorschauen oder anderen Planwerten beruhen. Der Kundenauftrag wird dann aus einem Fertigteillager bedient. In der Regel finden jedoch Mischsysteme ihre Anwendung.¹⁴⁹

Für die Durchführung eines Montagevorgangs oder mehrerer Montagevorgängen sind die benötigten Teile bzw. Baugruppen in der montagegerechten Zusammensetzung bereitzustellen. Bei Kleinmaterial bzw. wenn nur einige wenige Materialarten benötigt werden bietet sich eine Lagerung direkt am Montagearbeitsplatz an. Für alle weiteren Materialien muss auf fest eingerichtete Lagersysteme zurückgegriffen werden. In diesem Fall ist die auftragsbezogene Entnahme und Zusammenstellung von Montagematerial für einen reibungslosen Produktionsablauf von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere für variantenreiche Grunderzeugnisse wie die Bestückung von Leiterplatten oder den Automobilbau.¹⁵⁰

Durch reine Lagerfertigung kann eine hohe Liefertreue erreicht werden. Das ist jedoch nur dann möglich, wenn die Planung auf zuverlässigen Absatzprognosen basiert und der Markt nicht zu viele Produktvarianten fordert. Ein entsprechend höherer Bestand im Fertigteilwarenlager als bei der Kundenauftragsfertigung ist zu erwarten. Eine wesentliche Voraussetzung für kundenauftragsorientierte Fertigung ist, dass die

¹⁴⁸ Vgl. Van Belle, J. et al. (2012), S. 828

¹⁴⁹ Vgl. Jodlbauer, H. (2008), S. 2

¹⁵⁰ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 293

Produktionsdurchlaufzeit kürzer ist als die vom Markt geforderte Lieferzeit. Ist diese Forderung nicht erfüllt, kann entweder eine Mischform angestrebt werden, in der die Restproduktionsdurchlaufzeit der kundenorientierten Fertigungsschritte ab dem Kundenentkopplungspunkt kürzer ist als die vom Markt geforderter Lieferzeit oder die Produktionsdurchlaufzeit ist zu verkürzen.¹⁵¹

Eine zeitlich genaue Abstimmung der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsvorgänge ist in der industriellen Produktion nur sehr selten möglich. Daher ist Lagerung unvermeidlich.¹⁵²

Im Rahmen der Produktionslogistik stellt die Kommissionierung die Versorgung des Produktionsprozesses sicher. Hierzu ist sie in vielen Fällen zwischen Lager und Produktion eingegliedert. Ziel der Kommissionierung ist, Unterbrechungen in der Fertigung zu vermeiden, indem sie losgrößengerechte Materialbereitstellung für die Produktion sichert.¹⁵³

3.7 Versand

Die Distributionslogistik versorgt KundenInnen mit Fertigfabrikaten, Ersatzteilen und Handelswaren. Die Distribution kann über ein mehrstufiges Netz von Lägern und Verteilungszentren erfolgen.¹⁵⁴

Die Aufgabe von Auslieferungslagern besteht aus der Vereinzelung der Mengen zu den von den Abnehmern geordneten Einheiten und deren Bereitstellung zur Kundenbelieferung.¹⁵⁵ Aus dem Lager sind dann diese Teilmengen zu entnehmen und gemäß dem Kundenauftrag zu einer Versandeinheit zusammenzustellen. Die Kommissionierung erfordert hier die versandfertige Zusammenstellung dieser Artikel gemäß den Kundenwünschen.¹⁵⁶

Die Kommissionierung hat ihren klassischen Anwendungsfall in der Distribution im Versandhandel. In Warenverteilzentren verfolgt die Kommissionierung das Ziel, die Positionen der Kundenaufträge aus dem Sortiment zusammenzustellen und dem Kunden zusammen mit einer möglichst schnellen Bearbeitung einen hohen Servicegrad zu garantieren.¹⁵⁷

¹⁵¹ Vgl. Jodlbauer, H. (2008), S. 3

¹⁵² Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 289

¹⁵³ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 271

¹⁵⁴ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 102

¹⁵⁵ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 196

¹⁵⁶ Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004), S. 293

¹⁵⁷ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 270 f.

3.8 Zwischenfazit

Das Forschungsziel dieses Kapitels fundiert in Begriffsdefinitionen und allgemeinen Erläuterungen.

- Was sind die wesentlichen Aufgaben und Bestandteile des Lagers?

Die zu lösende Problematik der ersten Unterfrage der Forschungsfrage wurde wie folgt präzisiert:

Die Hauptfunktion von Lagerhäusern ist die mengenmäßige und zeitliche Ausgleichsfunktion. Diese wird benötigt, wenn zwischen Anlieferung bzw. Fertigstellung und Auslieferung eine zeitliche Differenz besteht oder die Einkaufs- oder Erzeugungsmengen nicht der Ausliefermenge entsprechen. Lagerhaltung macht mit ca. 20% der Logistikkosten und dem gebundenen Kapital des Lagergutes einen beträchtlichen Teil aus und birgt daher Einsparungs- und Optimierungspotenziale.

In Lagerhäusern können neben den Ein- und Auslagerungen weitere Aktivitäten stattfinden. In Lägern sind Kommissionieren, Umgeschlagen, Konsolidieren, Sortieren, Verpacken und Transportieren die Hauptaufgaben. Die Kommissionierung stellt hier den personal- und zeitintensivsten Vorgang dar, damit liegt auch hier das größte Optimierungspotenzial.

Ein Lager kann als Bodenlager oder Regallager ausgelegt werden, Regallager können statisch oder dynamisch konstruiert sein. Zusätzlich können Lagergüter auch auf Fördermitteln gelagert werden. Grundsätzlich wird beim Lagergut zwischen Stück- und Schüttgut unterschieden.

Innerbetrieblicher Transport wird auf Transportmitteln durchgeführt. Diese werden in Stetig- und Unstetigförderer unterschieden, beide können flurgebunden oder flurfrei ausgelegt sein. Lagergut wird auf Transportmitteln in Lager-, Lade- oder Transporthilfsmitteln befördert. Diese können unterfahrbar oder nicht unterfahrbar sein und für Klein- oder Großteile ausgelegt sein.

Lagerhäuser werden durch bestimmte Bewegungs- und Belegungstaktiken, welche Strategien genannt werden, ausgelegt und gesteuert. Diese haben einen großen Einfluss auf die logistischen Abläufe.

Unter der Kommissionierung von Waren wird das auftragsgerechte Zusammensammeln von Artikeln verstanden. Die Kommissionierung kann, abhängig von den im Unternehmen vorherrschenden Abläufen, eine sehr zeitintensive und komplexe Tätigkeit sein. Bei der Kommissionierung wird zwischen Ware-zur-Person und

Person-zur-Ware Prinzipien unterschieden. Bei Systemen, welche mit dem Ware-zur-Person-Prinzip arbeiten, wird das Kommissionierpersonal mit der Ware an einem fixen Ort automatisch versorgt. Bei Person-zur-Ware Systemen muss sich das Personal selbst zu den Artikeln bewegen.

Konsolidieren ist das Zusammenführen von Artikeln, die von verschiedenen Ursprungsorten kommen. Es fasst einzelne Transportgüter zu einem bestimmten Ganzen zusammen.

Umschlagen beschreibt die Gesamtheit der Lager und Fördervorgänge und das damit bedingte Wechseln der Transportmittel.

Verpackung dient dem Lagergut als Schutz vor äußeren Einflüssen. Es kann weiters noch eine Marketing- und Informationsfunktion durch den Aufdruck von Labeln, Beschriftungen oder Sicherheitshinweisen übernehmen.

Sortieren ordnet Güter in einer vorgegebenen Sequenz an.

4 Messbarkeit von Lagersystemen

Die Logistik ist, neben allen schon genannten Tätigkeiten, auch ein Planungsinstrument zur Gestaltung innerbetrieblicher und unternehmensübergreifender Abläufe. Sie bezieht sowohl auf der Beschaffungs- als auch auf der Absatzseite die Leistungsmöglichkeit von Produktionsunternehmen und Dienstleistern in ihre Handlungen mit ein.¹⁵⁸

Als Analyseinstrumentarium, das kurz, knapp und präzise Auskunft über Schwachstellen in der Logistik gibt und somit Ansatzpunkte für Planung und Verbesserungsmaßnahmen aufzeigt, eignen sich Kennzahlen in hervorragendem Maße. Sie sind in der Lage, komplexe Sachverhalte in konzentrierter Form abzubilden. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an ein Logistiksystem in verschiedenen Firmen und Branchen kann es kein allgemeingültiges, sondern nur betriebsspezifische Logistik-Kennzahlensysteme geben.¹⁵⁹

In diesem Kapitel soll folgende Unterfrage der Forschungsfrage beantwortet werden (siehe Abschnitt 1.3):

- Welche Kennzahlen zur Messbarkeit von Lagersystemen gibt es?

¹⁵⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 3

¹⁵⁹ Vgl. Syska, A. (2014), S. 2

4.1 Definition und Aufgaben von Kennzahlen

Kennzahlen sind Maßstabswerte für den innerbetrieblichen (betriebsindividuelle Kennzahlen) und den zwischenbetrieblichen (Branchen-Kennzahlen) Vergleich. Kennzahlen sind eine Zusammenfassung von quantitativen, d.h. in Zahlen ausdrückbaren Informationen. Sie dienen der Entscheidungsunterstützung, Steuerung und Kontrolle von Maßnahmen und stellen ein Vergleichsinstrument im Rahmen der operativen Führung dar.¹⁶⁰

Durch Kennzahlen können betriebswirtschaftliche Sachverhalte in knapper und konzentrierter Form abgebildet werden. Damit können die Verantwortlichen ihre Aufmerksamkeit auf die beobachteten Bereiche lenken. In der Betriebswirtschaftslehre werden Kennzahlen schon lange eingesetzt. Auch in der Logistik hat sich die Beschäftigung mit Kennzahlen zu einem wichtigen Forschungsfeld entwickelt. Allgemein liefern Logistikkennzahlen Daten über messbare Eigenschaften oder Ereignisse logistischer Sachverhalte. Es lassen sich dadurch Kennzahlen bilden, die über die Struktur der Logistikkette Auskunft geben oder welche einzelne logistische Prozesse beschreiben. Kennzahlen zeichnen sich durch ihren Informationscharakter und ihre Quantifizierbarkeit aus und können außerdem einen unterschiedlichen Zeitbezug aufweisen. Weiters können sie Informationen über die Vergangenheit, die Gegenwart oder die Zukunft liefern.¹⁶¹

Staehe (1969) beschreibt folgende Punkte als Verwendungszweck von Kennzahlen:

- Prognose
- Planung
- Koordination
- Kontrolle
- Kommunikation
- Analyse¹⁶²

4.2 Kennzahlensysteme

Ein System ist durch seine Elemente und die Beziehungen dieser Elemente untereinander charakterisiert. Die Beziehung der Kennzahlen untereinander wird durch die Kennzahlensystematik festgelegt, mittels derer somit aus einer

¹⁶⁰ Vgl. Krieger, P. D. W., <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kennzahlen-41897> (Zugriff: 07.12.2020)

¹⁶¹ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 39

¹⁶² Vgl. Staehe, W. H. (1969), S. 59

ungeordneten Menge von Kennzahlen ein System entsteht - eine geordnete Gesamtheit von Kennzahlen, die in sachlich sinnvoller Beziehung zueinander stehen. Diese ergänzen sich gegenseitig und dienen als Gesamtheit dem Zweck, den Betrachtungsgegenstand so ausgewogen und vollständig wie möglich zu erfassen.¹⁶³

Syska (2014) diskutiert des Weiteren drei wichtige Kennzahlssystematiken.

Rechensystematik:

Bei der rechentechnischen Zusammensetzung von Kennzahlen entsteht ein System im Allgemeinen durch die Zerlegung einer sogenannten Spitzenkennzahl in ihre Teilkomponenten. Durch die weitere Zerlegung dieser Teilkomponenten in wiederum deren Teilkomponenten ergibt sich die für diese Kennzahlensysteme typische Pyramidenstruktur. Vorteil der Rechensystematik ist die Erhöhung der Operabilität durch die algorithmierbaren Beziehungen zwischen den Kennzahlen. Demgegenüber steht als Nachteil der begrenzte Anwendungsbereich dieser Systematik.

Ordnungssystematik:

Um neben rein rechentechnisch verknüpfbaren Kennzahlen auch jene Kennzahlen zusammenzufügen, zwischen denen eine sachliche Beziehung besteht, wurden sogenannte Ordnungssysteme entwickelt. Mit ihrer Hilfe können Kennzahlensysteme gebildet werden, die in der Lage sind, den Betrachtungsgegenstand systematisch und ganzheitlich zu erfassen. Die Nachteile einer kaum noch handhabbaren Fülle an Kennzahlen und des enormen Aufwandes der Datenbeschaffung und Datenaufbereitung stehen dem Vorteil der Vollständigkeit des Systems gegenüber. Demnach existiert die Forderung, nur solche Kennzahlen zu verwenden, die wirklich benötigt werden.

Zielsystematik:

Die gerade erwähnte Forderung nach ausschließlich benötigten Kennzahlen wird dadurch erfüllt, dass Kennzahlensysteme zielorientiert formuliert werden. Dabei ist die Überlegung, dass jede Unternehmung in der Regel gleichzeitig mehrere Ziele verfolgt, zwischen denen verschiedenen Beziehungen bestehen. Die Kenntnis der Relationen ist die Voraussetzung für eine sinnvolle Ordnung der Zielinhalte sowie des Aufbaus eines unternehmerischen Zielsystems. Dem Vorteil eines zielgerichteten Einsatzes von Kennzahlen steht bei zielorientierten Kennzahlensystemen der Nachteil der

¹⁶³ Vgl. Syska, A. (2014), S. 30 f.

eingeschränkten Operationalität durch oftmals nicht algorithmierbare Zusammenhänge zwischen den Zielen gegenüber. Es ist nicht möglich, die Vorteile einer Kennzahlensystematik zu nutzen, ohne gleichzeitig entsprechende Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Deshalb sollte die einem Logistik-Kennzahlensystem zugrundeliegende Systematik eine Synthese aus der Rechen-, Ordnungs- und Zielsystematik so darstellen, dass die Vorteile der einzelnen Systematiken zum Tragen kommen. Zielsystematik ist deswegen notwendig, weil ein Logistik-Kennzahlensystem in der Lage sein muss, mehrere parallel existierende Ziele und die daraus abgeleiteten Subziele zu beschreiben. Darüber hinaus müssen Zielkonflikte, Wechselwirkungen sowie die Art der Zielbeziehungen transparent gemacht werden. Die Ordnungssystematik leistet die Basis dafür, Kennzahlen nach den im Bedarfsfall festzulegenden Ordnungskriterien zusammenzufassen. Um die für Analysezwecke hohe Operationalität eines Logistik-Kennzahlensystems gewährleisten zu können, sollten Logistik-Kennzahlen soweit wie möglich mittels der Rechensystematik rechnerisch miteinander verknüpft werden.¹⁶⁴

4.3 Relative und absolute Kennzahlen

Kennzahlen können nach den Attributen „absolut“ oder „relativ“ unterschieden werden.

Absolute Kennzahlen:

Diese sind Einzelkennzahlen, Summen, Differenzen oder Durchschnittswerte. Der Erkenntniswert solcher Kennzahlen für die betriebswirtschaftliche Analyse ist jedoch begrenzt.¹⁶⁵

In der deutschsprachigen Literatur ist erkennbar, dass es eine enge (inkludiert nur relative Zahlen) und eine weite Fassung (inkludiert relative und absolute Kennzahlen) des Kennzahlenbegriffes gibt. VertreterInnen der engen Fassung begründen ihre Ansicht damit, dass absolute Zahlen für sich genommen keine Aussage treffen und sie lediglich als Bestandteile von Kennzahlen anzusehen sind und daher jede in Zahlen gefasste betriebswirtschaftliche Aussage stets relativ sei. Somit wären Kennzahlen zwangsläufig Verhältniszahlen. Dem ist entgegenzusetzen, dass absolute Kennzahlen

¹⁶⁴ Vgl. Syska, A. (2014), S. 30 ff.

¹⁶⁵ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 40

wie Lagerbestand, Lagerreichweite, Personal-, Abwesenheits- und Krankenstand gerade in der Praxis stark verbreitete Kennzahlen sind.¹⁶⁶

Relative Kennzahlen:

Für tiefgreifendere Analysen bieten sich Verhältniszahlen an, die betriebswirtschaftlich relevante Größen, zwischen denen ein sachlicher Zusammenhang besteht, in Beziehung zueinander setzen. Bei relativen Kennzahlen werden Beziehungs-, Gliederungs- und Indexzahlen unterschieden.

Beziehungszahlen setzen ungleichartige Größen in Beziehung, wobei diese Größen in einem sachlich begründbaren Zusammenhang stehen müssen. Beispiele dafür können Frachtkosten je Sendung oder Anzahl der Vollpaletten je Kundenauftrag sein. Gliederungszahlen geben Informationen über strukturelle betriebliche Bedingungen wie die Kundenstruktur, die MitarbeiterInnen-, die Sortiments- oder die Kostenstruktur an. Es wird dabei eine Teilmenge der Gesamtmenge in Beziehung gesetzt, wobei sich die Größen auf den gleichen Zeitraum beziehen (z.B. Anteil der umgeschlagenen Pakete zum Gesamtumschlagsvolumen einer Periode). Indexzahlen ermöglichen es, die zeitliche Entwicklung zu verfolgen. Sie setzen gleichartige und gleichrangige Größen in Beziehung, welche sich jedoch durch unterschiedlichen Zeitbezug auszeichnen. Zum Beispiel kann die Entwicklung der Lagerkosten im Zeitablauf verfolgt werden. Logistikkennzahlen ermöglichen auch Aussagen und Urteile über komplizierte logistische Sachverhalte und Zusammenhänge. Dies gelingt in der Regel durch einfache, schnelle und umfassende Darstellungsweisen. Sie können je nach Aufgabenstellung der Beschreibung logistischer Sachverhalte dienen oder Informationen mit Vorgabecharakter im Rahmen der Planung und Steuerung besitzen. Aussagewerte einzelner Logistikkennzahlen sind allerdings begrenzt und hängen insbesondere davon ab, wie präzise und eindeutig die zugrundeliegenden Basisinformationen sind und wie weit der/dem BenutzerIn gelingt, durch ihr/sein Hintergrundwissen eine sinnhafte Interpretation vorzunehmen, die klare Handlungskonsequenzen erlaubt.¹⁶⁷

4.4 Entwicklung von Kennzahlensystemen

Für die Entwicklung aussagekräftiger Kennzahlen bzw. Kennzahlensysteme sind folgende Schritte notwendig:

¹⁶⁶ Vgl. Syska, A. (2014), S. 24

¹⁶⁷ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 40 f.

1. Formulierung von Zielen
2. Festlegung der zu untersuchenden Logistikprozesse
3. Hypothesenbildung über Ursache-Wirkungszusammenhänge
4. Auswahl der Kennzahlen
5. Bestimmung der Messmethoden und der Dokumentation
6. Anpassung der Anreizsysteme
7. Laufende Überprüfung, Weiter- und Neuentwicklung der Kennzahlen¹⁶⁸

4.4.1 Formulierung der Ziele

Das Management muss konkrete Ziele formulieren, die eine logistische Prozesskette zu erfüllen hat. Es sollte sich dabei um eine ausgewogene Auswahl von Zielgrößen handeln, mit denen die Unternehmens- und Logistikstrategie konkretisiert, die logistische Wertschöpfung geplant und die MitarbeiterInnenmobilisierung verbessert werden kann. Dies kann z.B. in der Art einer Balanced Scorecard dargestellt werden. Die Entwicklung dieser Zielgrößen ist das Ergebnis eines kreativen Prozesses, der vom Management zusammen mit Personen, die über branchen- und unternehmensspezifisches Wissen verfügen, durchgeführt werden sollte.¹⁶⁹

4.4.2 Festlegung der zu untersuchenden Logistikprozesse

Als nächster Schritt steht die Bestimmung des relevanten Abschnittes der Logistikkette bevor. Dieser hängt eng mit der Zielbildung zusammen, da sich Untersuchungsgegenstand und Zieldefinition gegenseitig bedingen. Wie im allgemeinen Vorgehen der Prozessanalyse ist dabei der relevante Abschnitt der Logistikkette in Haupt und Teilprozesse und deren Aktivitäten zu strukturieren. Es ist in der Praxis nicht sinnvoll, alle Prozesse mit detaillierten Kennzahlen zu analysieren und zu kontrollieren. Das Management muss Analyseschwerpunkte setzen, ohne jedoch das Gesamtbild der logistischen Leistungen aus den Augen zu verlieren.¹⁷⁰

4.4.3 Hypothesenbildung über Ursache-Wirkungszusammenhänge

Die Bildung aussagekräftiger Kennzahlen hängt davon ab, inwiefern nicht nur beschreibende Kennzahlen über vergangene, gegenwärtige oder zukünftige Ausgangsbedingungen und Zustände ausgewählt, sondern auch Hypothesen über Ursache-Wirkungszusammenhänge entwickelt werden. Diese Zusammenhänge lassen

¹⁶⁸ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 41

¹⁶⁹ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 41

¹⁷⁰ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 42

sich jedoch nicht aus empirischen Kennzahlen ablesen, sondern müssen hypothetisch entwickelt und anschließend geprüft werden. Das Problem bei der Identifikation solcher hypothetischen Leistungstreiber besteht darin, dass diese selten unmittelbar beobachtet werden können. Es müssen vielmehr die Zusammenhänge zwischen Leistungstreibern und Leistungsgrößen erschlossen werden. Dabei sollte die Gestaltung und Steuerung logistischer Prozesse auf ihre Mechanismen bzw. Leistungstreiber analysiert werden, welche erklären, warum sich ein Prozess in bestimmter Art und Weise verhält. Die kausalen oder stochastischen Zusammenhänge zwischen Leistungstreibern und Leistungsgrößen bilden die Grundlage erkenntnisträchtiger Kennzahlen, da sie nicht nur Leistungsergebnisse, sondern auch steuernde Hebelkräfte aufzeigen.¹⁷¹

4.4.4 Auswahl der Kennzahlen

Pfohl (2013) nennt einige Kriterien für die Beschaffenheit logistischer Kennzahlen, die bei der Entwicklung ebendieser wichtig sind.

- Validität
Eine Kennzahl muss die betriebliche Realität adäquat abbilden.¹⁷² Sie ist umso valider, wenn sie tatsächlich das misst, was gemessen werden soll und je weniger systematische Fehler bei der Messung auftreten.¹⁷³
- Relevanz
Kennzahlen sollen nur entscheidungsrelevante Informationen wiedergeben, also solche, die zur Entscheidung tatsächlich herangezogen werden.
- Mächtigkeit
Eine Kennzahl soll möglichst viele Sachverhalte eines Problembereichs abdecken. Dabei sollte sie Probleme möglichst frühzeitig anzeigen.
- Vollständigkeit
Können relevante Sachverhalte nicht mit einer Kennzahl erfasst werden, sind mehrere Kennzahlen zur vollständigen Erfassung eines Problembereichs zu bilden.
- Vergleichbarkeit
Eine Kennzahl ist vergleichbar, wenn sie eine breite Akzeptanz in verschiedenen Bereichen und Unternehmen findet und von verschiedenen BenutzerInnen vergleichbar interpretiert werden kann.

¹⁷¹ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 42 f.

¹⁷² Vgl. Pfohl, H.-C. (2013), S. 212

¹⁷³ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 44

- **Kompatibilität**
Kennzahlen sollen untereinander zur Bildung von Kennzahlensystemen verknüpfbar sein.
- **Kosten-Nutzen**
Die Kennzahlenbildung muss effizient sein. Die Kosten der Entwicklung von Kennzahlen und die laufenden Kosten ihrer Erhebung sind ihrem Nutzen zur Erfüllung der Vorgabe- und Analysefunktion gegenüberzustellen.¹⁷⁴

Wegen konfliktären Zusammenhängen unter den einzelnen Kriterien ist es praktisch unmöglich, die hohe Anforderungserfüllung eines jeden Kriteriums zu erreichen. Die Beziehung zwischen Validität und Vergleichbarkeit stellt beispielsweise einen Zielkonflikt dar. Die Vergleichbarkeit nimmt ab, je mehr spezifische Aspekte eines Logistikprozesses in einer Kennzahl zur Erhöhung der Validität aufgenommen werden. Nicht nur die bestimmten Anforderungen an einzelne Kennzahlen sind bei der Erstellung eines Logistik-Kennzahlensystems eine Herausforderung, auch die ausgewählte Zusammenstellung der Kennzahlen, die sich gegenseitig ergänzen und einen ausgewogenen Eindruck zur Beurteilung der Logistikprozesse vermitteln können, ist hinsichtlich dessen eine wichtige Aufgabe.¹⁷⁵

Für die Erstellung eines zusammenhängenden Systems logistischer Kennzahlen können zwei unterschiedliche Ableitungssystematiken unterschieden werden. Dabei sollen einzelne Logistikkennzahlen in einer sachlichen, sinnvollen Beziehung zueinander stehen, einander ergänzen oder erklären und auf ein übergeordnetes Ziel ausgerichtet sein.

4.4.4.1 Top-down orientiertes Verfahren

Beim top-down-orientierten Verfahren werden aus einer Logistikstrategie Logistikziele formuliert, die durch Logistikkennzahlen erfasst und operationalisiert werden. Ziel ist der Aufbau einer konsistenten Kennzahlhierarchie mit plausibel zusammenhängenden Kennzahlen. Die daraus geschaffenen Kennzahlen können nach Geschäftseinheiten, Prozessen, Produktgruppen oder Kundenkategorien unterschieden werden. Diese können wiederum Hilfe von Kennzahlen für die operative Planung, Steuerung und Kontrolle logistischer Prozesse konkretisiert werden.¹⁷⁶

¹⁷⁴ Vgl. Pfohl, H.-C. (2013), S. 212 f.

¹⁷⁵ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 45 f.

¹⁷⁶ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 46

4.4.4.2 Bottom-up-orientiertes Verfahren

Das bottom-up-orientierte Verfahren leitet sich aus Merkmalen der Material- und Warenflüssen sowie den Informationsflüssen ab. Als erstes wird eine ausführliche Beschreibung der logistischen Leistungsprozesse erstellt, aus der Eigenschaften erfolgskritischer Prozesse, erfolgskritische Prozesse, Engpässe und Schwachstellen identifiziert werden können. Diese bilden die Grundlage für die Formulierung der Kennzahlen. Es ist prinzipiell als sinnvoll zu erachten, sowohl das top-down als auch das bottom-up-orientierte Verfahren zu berücksichtigen, um Kennzahlen beider Verfahren zu berücksichtigen.¹⁷⁷

4.4.5 Bestimmung der Messmethoden und der Dokumentation

Zu der Bestimmung der Messmethoden gehören die Bestimmung der Messpunkte im logistischen Prozess, der Messinstrumente und der Periodizität der Erhebungen. Dabei können Zählungen, Messungen und Wiegungen unterschieden werden, die über das Arbeiten mit Zählern, Listen, Abfragen, Stichproben, Vollerfassungen, Scannern, Zeitmessungen und REFA-Studien erfasst werden. Die Dokumentation umfasst im Wesentlichen die Festlegung des Formats, des Umfangs und der Häufigkeit der Erstellung von Leistungsberichten. Außerdem hält sie fest, an wen diese Kennzahlen weitergeleitet werden sollen.¹⁷⁸

4.4.6 Anpassung der Anreizsysteme

Um die Vorgaben zu erreichen, bietet sich Verknüpfung der Kennzahlen mit den bestehenden Anreizsystemen an. Kennzahlen bieten die Möglichkeit, Erwartungs- bzw. Vorgabewerte für das individuelle oder gruppenbezogene Leistungsniveau festzulegen. Es muss dabei beachtet werden, dass nicht jede Leistung in Arbeitsumfeldern erhoben werden kann und es sogenannte stille Leistungen gibt, die für das Zusammenwirken der MitarbeiterInnen wesentlich sind. Es hat sich bewährt, neben der reinen Leistungsentlohnung (pay for performance) auch andere Elemente wie Gewinnbeteiligung (profitsharing), Entlohnung der Fähigkeiten (pay for skill) und Beteiligung am Innovationserfolg (venture return) in die Gestaltung der Anreizsysteme aufzunehmen. Sie können in den verschiedenen Aufgabenbereichen und Unternehmen unterschiedlich miteinander kombiniert werden.¹⁷⁹

¹⁷⁷ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 46

¹⁷⁸ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 47

¹⁷⁹ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 47 f.

4.4.7 Laufende Überprüfung, Weiter- und Neuentwicklung der Kennzahlen

Kennzahlensysteme können nie auf Dauer ausgelegt sein. Die Beständigkeit der Kennzahlensysteme hängt von der Entwicklung der Unternehmenssituation und dem Wissensstand der MitarbeiterInnen sowie den Führungskräften des Unternehmens ab, welche durch ihre Einschätzungen die kontinuierliche Veränderung der Kennzahlen vorantreiben. Auch eine empirische Validierung der vermuteten Zusammenhänge kann eine Neukonzeption eines Kennzahlensystems erforderlich machen.¹⁸⁰

4.4.8 Diagnostische und interaktive Kennzahlensysteme

Die Möglichkeit der Nutzung von Kennzahlen für Analyse, Gestaltung und Steuerung von Prozessen hängt davon ab, inwieweit die entwickelten Kennzahlensysteme auf einem soliden Prozessverständnis begründet sind. Kennzahlensystemen liegt immer eine konkrete Sichtweise zugrunde, die bestimmte Charakteristika der Umwelt als besonders wesentlich heraushebt und andere nicht berücksichtigt, weil sie bisher nicht als Erfolgsfaktoren identifiziert worden sind. Je nachdem, ob Kennzahlensysteme vornehmlich der Operationalisierung und Steuerung erfolgskritischer Wettbewerbsfaktoren oder der Erkundung neuer Problemfelder dienen, kann zwischen einer diagnostischen und einer interaktiven Nutzung von Kennzahlensystemen unterschieden werden.¹⁸¹

4.4.8.1 Diagnostische Nutzung von Kennzahlensystemen

Diagnostische Systeme sind die formalen Informationssysteme, die verwendet werden, um organisatorische Ergebnisse zu überwachen und Abweichungen von vorgegebenen Leistungsstandards zu korrigieren. Drei Merkmale zeichnen diagnostische Kontrollsysteme aus:

1. Die Fähigkeit, den Output eines Prozesses zu messen
2. Das Vorhandensein von vorgegebenen Standards, mit denen die tatsächlichen Ergebnisse verglichen werden können
3. Die Fähigkeit, Abweichungen von den Standards zu korrigieren¹⁸²

Diagnostische Steuerungssysteme sind darauf ausgelegt, die Ergebnisse logistischer Prozesse vorhersagbar zu machen. Daraus können sich jedoch Schwierigkeiten für die

¹⁸⁰ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 48

¹⁸¹ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 48

¹⁸² Vgl. Simons, R. (1994), S. 59

Bewältigung neuartiger Probleme ergeben, da solche Systeme nur dann zu Problemen in der Prozesssteuerung beitragen, wenn im Management Zweifel darüber bestehen, ob die entwickelten Steuerungsgrößen und Zielvorgaben noch den marktlichen Anforderungen entsprechen. Die Führungsebene hat in dieser Situation jedoch keine ausreichende Kenntnis darüber, welche Faktoren den Erfolg von Prozessen vorantreiben, wie sich diese in Steuerungsgrößen übersetzen lassen und welche Ursache-Wirkungsmechanismen vorliegen. Mangelndes Prozesswissen, logistische Zielkonflikte und Datenmehrdeutigkeit stehen dabei im Konflikt mit festen, spezifischen Regelwerken und Programmen zur diagnostischen Verwendung von Kennzahlen.¹⁸³

4.4.8.2 Interaktive Nutzung von Kennzahlensystemen

Interaktive Steuerungssysteme sind Informationssysteme, die dazu genutzt werden, um einzigartige Probleme zu lösen, die komplex und teilweise neuartig sind. Eine interaktive Verwendung zielt nicht darauf ab, auf Abweichungen in einem vorprogrammierten Handlungskonzept zu reagieren.¹⁸⁴ Sie dient vielmehr dazu, den Ist-Stand mit seinen zugrundeliegenden Annahmen zu problematisieren und in einem kreativen Dialog neue Entwicklungen und Handlungsoptionen für einen Betrachtungsgegenstand zu ergründen. Die interaktive Nutzung von logistischen Kennzahlensystemen beruht nicht unbedingt auf anderen Kennzahlen. Die Systeme müssen eher hoch flexibel sein, um unterschiedliche gedankliche Szenarien dialogorientiert und entwicklungsfähig durchzuspielen. Interaktive Kennzahlensysteme helfen bei fortwährenden kritischen Auseinandersetzungen mit Daten, Prämissen und Handlungsplänen.¹⁸⁵

¹⁸³ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 50 f.

¹⁸⁴ Vgl. Simons, R. (1994), S. 91

¹⁸⁵ Vgl. Delfmann, W. et al. (2003), S. 50 f.

Tabelle 2: Vergleich diagnostische und interaktive Nutzung von Kennzahlensystemen¹⁸⁶

	diagnostische Nutzung	interaktive Nutzung
Prozesstyp	Routineprozess	Innovationsprozess
	Problemlösungswissen bekannt	Problemlösungswissen unvollständig bzw. noch unbekannt
Prozessplanung	Analytisch	Kreativ/dialogorientiert
	Umsetzung von Strategien in operative Prozessziele	Suche nach neuen Zielen und Handlungskonzepten
Prozesskoordination	Formalisiert und standardisiert	Nicht formalisiert und auf Selbstabstimmung beruhend
Prozesskontrolle	Diagnose von Zielabweichungen und Ergreifen von Korrekturmaßnahmen	Auslöser von Debatten bei den Mitarbeitern und beim Management, Förderung von Lernprozessen

4.5 Lagerkennzahlen

Die von einem Logistiksystem zu erzeugende Leistung wird auch Service genannt. Es handelt sich bei diesem um einen Versorgungsservice, wenn für einen Produktionsprozess Roh-, Hilfs, und Betriebsstoffe oder Kaufteile zu Verfügung gestellt werden. Die Logistikleistung wird Lieferservice genannt, wenn Fertigfabrikate, Ersatzteile oder Handelswaren KundInnen zu Verfügung gestellt werden.¹⁸⁷

Die Anforderungen, die an den Liefer- und Versorgungsservice gestellt werden, sind dabei von den Bedürfnissen der KundInnen (interne wie externe) und der Distributions- und Versorgungspolitik des jeweiligen Unternehmens abhängig. Die Erfüllung der Leistung muss daher immer im Vergleich mit dem Anforderungsprofil des Leistungsempfängers gesehen und beurteilt werden. Als Ziel für die Formulierung eines Anforderungsprofils können dabei die allgemeinen Ziele der Logistik herangezogen werden. Daraus können weitere Unterziele für ein Lagerhaus entwickelt werden, anhand deren die Leistungen zu erfassen sind. Da die Unternehmenslogistik außer im Falle von Logistikdienstleistern ein Subsystem eines Unternehmens darstellt, müssen sich die Logistikziele an den Oberzielen eines Unternehmens orientieren. Ein effizientes logistisches System wird dann erreicht, wenn bei der Gestaltung die Logistikkosten als

¹⁸⁶ Quelle: In Anlehnung an Delfmann, W. et al. (2003), S. 51

¹⁸⁷ Vgl. Pfohl, H.-C. (2018), S. 18

Input und die Logistikleistung als Output eines logistischen Systems als Gestaltungsziel berücksichtigt wird.¹⁸⁸

Wie in Abschnitt 2.4 erläutert, hat die Logistik das übergeordnete Ziel, den Logistikservice bei gleichzeitiger Reduzierung der Logistikkosten zu erhöhen.

Ein Bestandteil der Lieferzeit ist die Zeit, in der ein Auftrag im Lagerhaus bearbeitet wird. Daraus ergibt sich die Forderung, die Durchlaufzeit eines Auftrages zu minimieren. Die Liefertreue ist im Wesentlichen von zwei Einflussfaktoren abhängig: der Zuverlässigkeit des Arbeitsablaufes und der Lieferbereitschaft. Die Zuverlässigkeit des Arbeitsablaufes spiegelt die Einhaltung der im Lagerhaus für Kommissionierung, Verpackung und Verladung benötigten Teilzeiten wider. Die Lieferbereitschaft spielt dagegen vorwiegend im Bestandsmanagement eine Rolle. Eine gute Lieferqualität drückt sich in der Liefergenauigkeit und dem guten Zustand der Lieferung aus. Daraus lassen sich bei Lagerhäusern das Erreichen einer geringen Fehlerrate, vor allem beim Kommissionieren und Packen, sowie die Vermeidung von Beschädigung als Ziele ableiten. Das Erreichen des Zieles einer hohen Lieferflexibilität kann durch eine flexible Gestaltung des Material- und Informationsflusses erreicht werden. Konkurrierend zur Maximierung des Logistikservices steht die Minimierung der Logistikkosten. Dies stellt sich in der Operationalisierung und der tatsächlichen Ausweisung der Logistikkosten als schwierig heraus.¹⁸⁹ Beispielsweise ist der Lagerbestand eine kritische Größe der Lagerhaltungskosten durch die Bindung von Kapital und Raum. Daher müssen niedrige Bestände angestrebt werden. Dieser Zielsetzung stehen je nach Lagerfunktion folgende Forderungen entgegen:

- hohe Terminezureliability
- hohe Liefertreue
- hoher Servicegrad
- niedrige Einkaufspreise
- kurze Auftragsdurchlaufzeiten
- hohe Flexibilität
- hohe Verfügbarkeit
- hohe Auslastung
- hohe Produktivität¹⁹⁰

¹⁸⁸ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 41

¹⁸⁹ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 41 f.

¹⁹⁰ Vgl. Martin, H. (2014), S. 331

So ist es bei der Kennzahl des Lagerbestandes immer ein Kompromiss, welchen Einflussgrößen die höhere Priorität eingeräumt werden. Zur Senkung der Lagerhaltungskosten können technische und organisatorische Maßnahmen angewendet werden wie z.B.:

- die Erhöhung der Umschlaghäufigkeit oder des Bestellzyklus
- Auflösung von Lagerhütern, Sortimentsbereinigung
- Bestandsreduzierung bei den einzelnen Artikeln
- Einsatz genormter Lagerhilfsmittel, Einheitenbildung, Reduzierung der Fertigungstiefe
- Zentralisierung der Lagerbereiche, Mechanisierung und Automatisierung
- Bestandsmanagement¹⁹¹

Auch die Aufteilung des Lagers in verschiedene Logistikbereiche, kann eine genaue Abgrenzung der Logistikkostenverursacher nicht ermöglichen. Zur Identifikation von Kennzahlen im Lagerhaus kann sich an dessen Struktur orientiert werden.

- Analyseebene 1 - Gesamtlagerhaus
- Analyseebene 2 - Lagerhausbereiche
- Analyseebene 3 - Leistungsbereiche innerhalb der Lagerhausbereiche¹⁹²

In der ersten Analyseebene wird dafür das Gesamtlagerhaus betrachtet. Hierbei gilt es, das gesamte Lagerhaus nach dessen aggregierter Leistung samt aller Größen zu beurteilen. Die zweite Ebene unterteilt das Lagerhaus weiter in Bereiche wie zum Beispiel Wareneingang, Einheitenlager, Kommissionierlager, Packerei und Warenausgang. In dritter Ebene werden die einzelnen Lagerhausbereiche in Leistungsbereiche unterteilt. Die obersten zwei Ebenen lassen sich meist durch räumliche Trennung voneinander abgrenzen. In der untersten Ebene ist dies nicht mehr möglich. Vielmehr zählen zu dieser alle Tätigkeiten, Personen und Betriebsmittel, welche die Leistung in diesem Bereich ausmachen. Jeder Bereich wird durch Kennzahlen abgebildet, die zum einen die in diesem Bereich erreichte Leistung und zum anderen die Rahmenbedingungen, unter denen die Leistung erbracht wird, erfassen. Diese Rahmenbedingungen können in manchen Fällen nicht quantifiziert werden bzw. der Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Leistungsgrößen nicht durch formal rechnerische Beziehungen dargestellt werden. Stattdessen erfolgt die Verbindung der Kennzahlen über die Analyseebene hinweg mit Hilfe der

¹⁹¹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 331

¹⁹² Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 43

Zielsystematik. Die logistischen Ziele in Lagerhäusern können weiter in Unter- und Zwischenziele unterteilt werden, wobei sich dabei der Zielinhalt nicht verändert. Unter- und Zwischenziele beschränken sich lediglich auf einen Leistungsbereich. Das sich daraus ergebende Kennzahlensystem stellt eine Synthese aus Rechen-, Ordnungs- und Zielsystematik dar. In vertikaler Richtung über die drei Ebenen folgt das Kennzahlensystem der Zielsystematik, in horizontaler Richtung innerhalb der einzelnen Leistungsbereiche sowohl der Ordnungs- als auch der Rechensystematik.¹⁹³

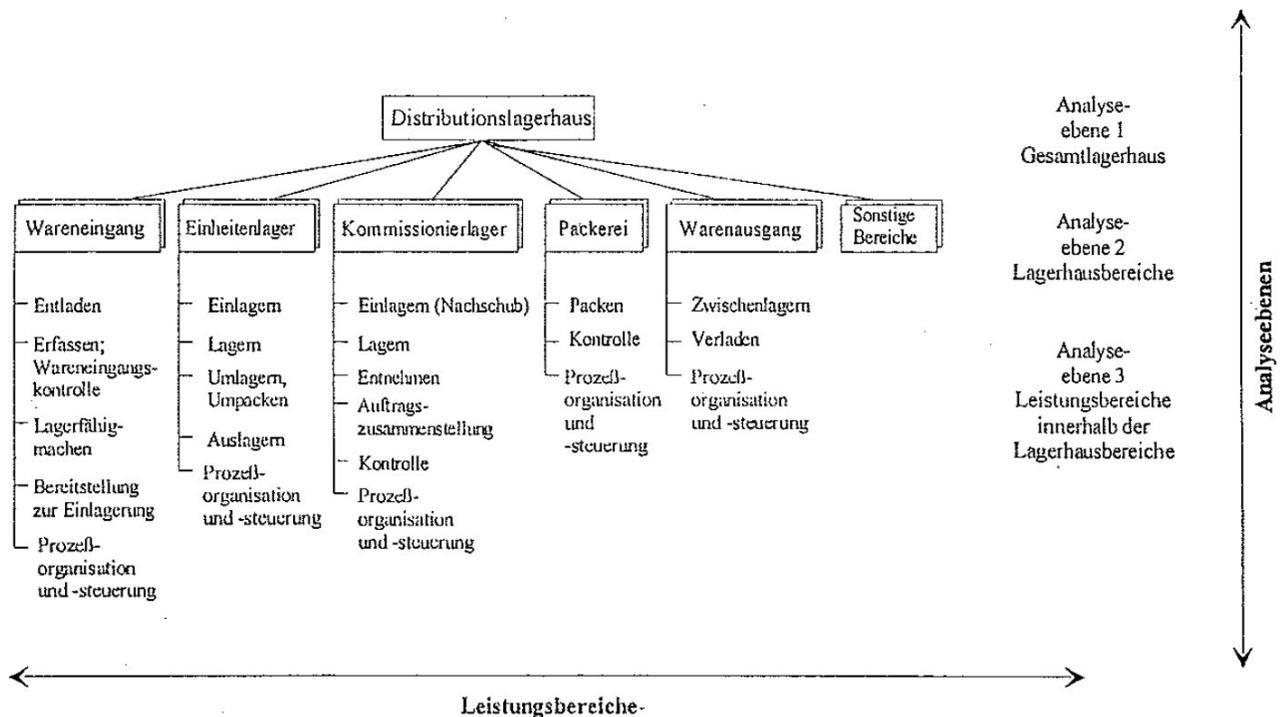


Abbildung 14: Systematik zur Kennzahlerfassung¹⁹⁴

Analyseebene 1

Eine räumliche Eingrenzung der ersten Analyseebene kann den Leistungsbereich "Gesamtlagerhaus" von der Wareneingangsrampe bis zur Warenausgangsrampe abgrenzen. Das Lagerhaus wird als "Black-Box" gesehen, dessen Input in Form von Kosten, die im Lagerhaus verursacht werden, einen Output in Form von kommissionierten und versandten Aufträgen erzeugt.¹⁹⁵

Analyseebene 2

Die Kennzahlen der zweiten Ebene haben die Aufgabe, eine Einzelbeurteilung der Leistungsbereiche unter Berücksichtigung der jeweiligen bereichsspezifischen

¹⁹³ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 43 f.

¹⁹⁴ Quelle: Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 44

¹⁹⁵ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 45

Besonderheiten, wie zum Beispiel unterschiedlich gehandhabte Ladeeinheiten, durchzuführen. Diese Betrachtungsweise erlaubt, im Gegensatz zur ersten Analyseebene, genauere Hinweise auf Ineffizienzen in den Teilbereichen des Lagerhauses. Diese Aufgabe wird durch die optionale Berücksichtigung von Subbereichen unterstützt. Diese Subbereiche entstehen z.B. dann, wenn ein Lagerhausbereich sich noch einmal in mehrere parallel oder hintereinander geschaltete Teilbereiche unterteilt. Das kann beispielsweise im Kommissionierlager mit mehreren Kommissionierbereichen aufgrund unterschiedlicher Artikel- und Auftragsstrukturen entstehen.¹⁹⁶

In Analyseebene 2 können viele Kennzahlen erhoben werden. Um den in Abschnitt 4.4.4 genannten Punkten der Validität gerecht zu werden, sollten nur die wichtigsten Kennzahlen berücksichtigt werden.

Analyseebene 3

Auf der untersten Analyseebene werden die Lagerhausbereiche in die Leistungsbereiche unterteilt, die den Verrichtungen entsprechen. Der Anspruch, mit zunehmender Unterteilung alle Einflüsse auf die Leistung abzubilden, lässt die Zahl der benötigten Kennzahlen sprunghaft ansteigen. Die Implementierung dieser Analyseebene muss sich im Sinne der Übersichtlichkeit und eines geringen Erhebungsaufwandes auf bestimmte, für eine gegebenes Problem besonders interessante Leistungsbereiche und Kennzahlen beschränken.¹⁹⁷

Lagerkennzahlen eignen sich neben Planungs- und Analysetätigkeiten auch für Plausibilitätsvergleiche verschiedener Lösungskonzepte im Bereich der Lager- und Fördertechnik. Für die Erstplanung liegen dafür quantitative Werte aus der Literatur vor. Häufig sind diese nicht allgemein gültig und daher nur mit Vorbehalt auf das gegebene Problem übertragbar. Brauchbare Werte müssen daher analytisch mit Hilfe betriebsinterner Erfahrung und aufgabenspezifisch berechnet werden.¹⁹⁸

Ein gut erforschter Bereich der Lagerkennzahlen sind die Pickraten von Kommissionierpersonal. Diese können als Vergleich zu den in der Analyse aufgenommenen Daten herangezogen werden. Spezifiziert wird dieser Kommissionierauftrag wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben von:

- Anzahl der Positionen und Anzahl der Entnahmen pro Position

¹⁹⁶ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 45 f.

¹⁹⁷ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 46

¹⁹⁸ Fischer, W.; Dittrich, L. (2004), S. 147 Vgl.

- durchschnittlicher Fahr- und Hubweg von Position zu Position¹⁹⁹

Je nach Gegebenheiten von Arbeitsplatz, Material und Auftrag, Motivation und Physiologie des Kommissionierpersonals können folgende Erfahrungen und Durchschnittswerte für die Kommissionierleistung pro Stunde und KommissioniererIn angenommen werden:

- Fachbodenregal bei eindimensionaler Fortbewegung 35 – 90 Zugriffe
- Fachbodenregal bei zweidimensionaler Fortbewegung 40 – 90 Zugriffe
- Palettenregal bei eindimensionaler Fortbewegung 50 – 100 Zugriffe
- Palettenregal bei zweidimensionaler Fortbewegung 40 – 90 Zugriffe
- Durchlaufregal bei eindimensionaler Fortbewegung 140 – 250 Zugriffe
- Durchlaufregal mit belegloser Kommissionierung 250 – 400 Zugriffe
- Umlaufregal bei eindimensionaler Fortbewegung 100 – 160 Zugriffe
- Fachbodenregal mit Roboterbedienung 100 – 350 Zugriffe
- Schacht- und Kommissionierautomaten 4.500 – 10.000 Zugriffe²⁰⁰

Lagerkennzahlen sollten so ausgewählt werden, dass sie die wichtigsten Bestandteile des Spektrums der materialbezogenen, operativen Funktionen der Lager- und Bewegungsprozesse abbilden. Durch die Bildung von Kennzahlen, welche die Leistungsarten Durchsatz, Zeit und Qualität in den betrachteten Leistungsbereichen berücksichtigen, werden die wichtigsten Bestandteile der leistungserstellenden Funktionen der Lager- und Bewegungsprozesse erfasst. Um sich ein möglichst genaues Bild von Prozessen machen zu können, müssen Kennzahlen die technische und personelle Ausstattung der Lagerhausbereiche ebenso berücksichtigen wie die Abbildung der Komplexität der ablaufenden Lager- und Bewegungsprozesse.²⁰¹

Kennzahlen zur Abbildung der logistischen Leistungsfähigkeit

Zur Abbildung des Durchsatzes werden zwei Typen von Kennzahlen vorgeschlagen:

1. Kennzahlen zur Erfassung der durchgesetzten Menge sowie des durchgesetzten Gewichts und Volumens
2. Produktivitätskennzahlen, die Durchsatzleistung pro Mitarbeiter erfassen

Dabei können als Durchsatzgrößen sowohl die physischen Mengengrößen wie Stück, Gewicht oder Volumen betrachtet werden als auch die Anzahl der abgefertigten

¹⁹⁹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 390

²⁰⁰ Martin, H. (2014), S. 399

²⁰¹ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 46

Verkehrsmittel sowie informationsflussorientierte Größen wie die Anzahl der Aufträge oder Auftragszeilen. Bei der Erfassung der Durchlaufzeit eines Auftrages wird in Analyseebene 2 nur die gesamte Auftragsdurchlaufzeit durch das Lagerhaus bzw. einen Lagerhausbereich betrachtet. Eine weitere Aufteilung in die einzelnen Teilzeiten kann auf der Analyseebene 3 erfolgen. Dies benötigt jedoch einen hohen Erhebungsaufwand, um statistisch gesicherte Ergebnisse liefern zu können. Für die Qualität der Leistung, die in Lagerhäusern erbracht wird, wird die Fehlerquote, das Verhältnis der Anzahl der fehlerhaften Aufträge zu der Gesamtanzahl der in dem Bereich bearbeitet Aufträge gebildet. Dabei werden Qualität, Mengen und Terminabweichungen betrachtet.²⁰²

Kennzahlen zur Abbildung der Einflussfaktoren der logistischen Leistungsfähigkeit

Da sich die Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren verschiedener Firmen, Arbeitsabläufe und Arbeitsplätze in vielen Punkten unterscheiden können, ergeben sich hier viele verschiedene Kennzahlen. Analyseebene 1 unterscheidet hier nur globale Kennzahlen wie die Funktion des Lagerhauses und die Branche des Unternehmens. Analyseebene 2 bezieht zusätzlich Komplexitäts-, Ausstattungs- und Bestandskennzahlen mit ein. Komplexitätskennzahlen erfassen die Komplexität von Lager- und Bewegungsprozessen. Dabei können Güter- und Artikelstrukturen, Strukturen der Ladeeinheiten, Prüf- und Kontrollvorgänge sowie Handlingaufwand der Artikel- und Ladeeinheiten aufgenommen werden. Ausstattungskennzahlen charakterisieren die personelle und technische Ausstattung eines Lagerbereichs. Es wird zwischen operativ und administrativ tätigen MitarbeiterInnen unterschieden. Bestandskennzahlen finden vor allem in Einheiten- und Kommissionierlagern, wo Lagerprozesse vorherrschen, ihre Anwendung.²⁰³

4.6 Zwischenfazit

In diesem Kapitel sind die Grundbegriffe zum Thema Kennzahlen und Kennzahlensysteme erläutert worden. Folgende Unterfrage der Forschungsfrage steht dabei im Vordergrund:

- Welche Kennzahlen zur Messbarkeit von Lagersystemen gibt es?

Kennzahlen werden für die quantitative Erfassung von Informationen benutzt. Sie sind ein Instrument zur Analyse, Steuerung und Planung von Prozessen. Dabei kann zwischen Verhältnis- und Absolutkennzahlen unterschieden werden. Absolute

²⁰² Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 46 f.

²⁰³ Vgl. Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996), S. 47

Kennzahlen sind Summen, Differenzen und Durchschnittswerte, relative Kennzahlen setzen hingegen betriebswirtschaftliche Größen zueinander ins Verhältnis. Da es viele verschiedene Eigenheiten in Firmen und Systemen gibt, kann es kein allgemein gültiges Kennzahlensystem für alle Anwendungsfälle geben. Solche Systeme müssen passgenau für Firmen und Problemlösungen zugeschnitten sein. Darum kann die oben angeführte Fragestellung nicht mit einer Liste von vorhandenen Kennzahlen beantwortet werden. Um gegebene Probleme lösen zu können, kann jedoch ein Kennzahlensystem mit den in den Unterpunkten des Kapitels beschriebenen Eigenschaften entwickelt werden. Dazu kann entweder ein Top-Down-Ansatz, der ein vom Management vorgegebenes Ziel in viele Unterziele aufteilt oder ein Bottom-Up-Ansatz, der sich von Merkmalen in Material-, Waren- und Informationsflüssen hinaufarbeitet, angewendet werden. Um einen stimmigen Mix aus verschiedenen Kennzahlen zu finden, ist es ratsam, beide Ansätze kombiniert zu verfolgen.

Um relevante Lagerkennzahlen zu finden, können auf den drei verschiedenen Analyseebenen nach dem Vorbild des Lageraufbaus zuerst das Gesamtlagerhaus, dann die Lagerhausbereiche und anschließend die einzelnen Leistungsbereiche in den Lagerhausbereichen analysiert werden. Die gewonnenen Kennzahlen können danach diagnostisch zur Überprüfung vorhandener Prozesse, zur Überwachung von Abweichungen oder interaktiv zur Lösung neuartiger Probleme genutzt werden. Ein solcher interaktiver Lösungsansatz führt im Optimalfall zu einem kreativen Dialog, um neue Handlungsalternativen und Betrachtungsweisen für ein Problem zu entwickeln.

5 Lagerautomatisierung

Lagerautomatisierung ist die direkte Steuerung von Handhabungsgeräten zur Bewegung und Lagerung von Gütern ohne die Notwendigkeit von BedienerInnen oder FahrerInnen. Der Begriff „Lagerautomatisierung“ umfasst daher Geräte wie automatische Regalbediengeräte, automatische Shuttlelager (AS/RS), fahrerInnenlose Transportsysteme (FTS oder auch AGVs) und fördertechnische Sortiersysteme.²⁰⁴

Die Ziele der Automatisierung sind Erhöhung der Produktivität, Verbesserung der Qualität, Kostensenkung und Maximierung der Flexibilität. Erhöhte Produktivität kann jedoch zu Qualitätseinbußen führen. Die Kosten niedrig zu halten, kann die Produktivität senken.

²⁰⁴ Vgl. Baker, P.; Halim, Z. (2007), S. 129

Die Verbesserung von Qualität und Wiederholbarkeit wirkt sich oft auf die Flexibilität aus. Es ist die ultimative Balance der vier Ziele *Produktivität, Qualität, Kosten und Flexibilität*, welche es einem Unternehmen ermöglicht, die automatisierte Fertigung als strategischen Wettbewerbsvorteil in einem globalen Markt zu nutzen. Dabei ist ein ultimatives Gleichgewicht schwer zu erreichen und der Weg ist wichtiger als das Ziel.²⁰⁵

Kapitel 5 widmet sich der Beantwortung folgender Unterfrage (siehe Abschnitt 1.3):

- Welche Technologien zur Automatisierung von Lagersystemen sind verfügbar und worin unterscheiden sich diese?

5.1 Automatisierung

Die Automatisierungstechnik hat ihren Aufstieg auf Basis der elektronischen Schaltungstechnik (Transistortechnik, integrierte Schaltungen) erlangt. Mit der Vorstellung der ersten SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) 1969 und dem ersten Allzweck-Mikroprozessor (Intel 4004) hat ein Umbruch zu besser steuerbaren Maschinen stattgefunden. Im Materialfluss haben zu dieser Zeit allerdings noch ältere Techniken, wie zum Beispiel die Lochkartentechnik, den Bereich der Lagerverwaltung beherrscht. Mit dem Übergang vom Produktionsorientierten zum Absatzorientierten ist mit dem Einsatz der Mikrorechnertechnik die Automatisierung in den 80er Jahren in den Mittelpunkt gerückt. Die Automatisierung der Produktion ist mit Hilfe von Robotern und CNC-Maschinen durchgeführt worden. Als Beispiel für die Automatisierung im Materialfluss kann eine 1981 in Betrieb genommene PKW-Transportanlage in der Montage in Deutschland genannt werden.

Im Bereich Materialfluss ist die Automatisierung unter anderem von einer sehr effektiven und durchgängigen Informationstechnik abhängig, die wiederum nur mit Hilfe einer hochentwickelten Rechnertechnik realisiert werden kann.²⁰⁶

Das übergeordnete Ziel ist es, den Gesamtprozess und die Geschäftsabläufe zu verbessern, indem Vorteile, die sich aus einem vollständig integrierten Anlageninformationssystem ergeben, erreicht werden. Das kontinuierliche Wachstum der Verknüpfung der Prozessbetriebsdaten mit Produktlinien-, Projekt- und Geschäftssystemdaten wird dabei unterstützt. Das System wird diese Daten interaktiv und in Echtzeit für alle MitarbeiterInnen, die sie benötigen, zur Verfügung stellen. Das daraus resultierende System ist der Schlüssel zu langfristigen Verbesserungen der Prozesssteuerung, in der Betriebsführung und in der Unterstützung der

²⁰⁵ Vgl. Mehta, B. R.; Reddy, Y. J. (2014), S. 1

²⁰⁶ Vgl. Krämer, K. (2002), S. 4

Geschäftsstrategien. Dabei ist eine der größten Herausforderungen die die Bewertung der Lieferanten. Dieser Herausforderung hat zusätzlich an Bedeutung gewonnen, da viele Systemanbieter gleiche Technologien anbieten, was den Auswahlprozess erschwert.

Mehta und Reddy (2014) nennen als Orientierungshilfe zur Lieferantenauswahl die „10 C's“. Diese sollen dabei helfen, die Anforderungen des Unternehmens zu definieren, zu verstehen, wie Lieferanten diese erfüllen können und den richtigen Lieferanten auszuwählen.

- Competency – Kompetenz
- Capacity – Kapazität
- Commitment – Engagement
- Control – Kontrolle
- Cash – Geld (bezogen auf die Budgetgerechtigkeit)
- Cost – Kosten
- Consistency – Konsistenz
- Culture – Kultur
- Clean – Sauberkeit (bezogen auf die Qualität)
- Communcation – Kommunikation

Als Checkliste verwendet, kann das 10-C-Modell in mehrfacher Hinsicht bei der Bewertung potenzieller Lieferanten helfen. Die Untersuchung aller zehn Elemente der Checkliste vermittelt ein umfassendes Verständnis über die Effektivität des Lieferanten und seine Fähigkeit, das System pünktlich, budgetgerecht und in guter Qualität zu liefern, während eine dauerhafte Beziehung für den Rest des Lebenszyklus einschließlich Engineering/Planung, Installation, Vorinbetriebnahme Inbetriebnahme, Betrieb und Service vorteilhaft ist.²⁰⁷

Das Modern Materials Handling Magazin veröffentlicht jedes Jahr eine Auflistung der Top-20-Systemlieferanten im Bereich „Materialflusssysteme“. Das Ranking, welches 2020 für das Geschäftsjahr 2019 erschienen ist, zeigt, dass sich die Branche auf höchstem Niveau befindet und die bisherigen Rekorde mit Leichtigkeit gebrochen wurden.

Im Folgejahr 2021 wird sich zeigen, wie die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf diese Industrie gewirkt haben. Da die Krise jedoch die kritische Bedeutung der

²⁰⁷ Vgl. Mehta, B. R.; Reddy, Y. J. (2014), S. 4

Lieferkette überdeutlich gemacht hat, haben diese Unternehmen beste Chancen, weiterhin solide Leistungen zu erzielen. Die Liste zeigt deutlich, dass in den letzten Jahren viele Unternehmen auf Automatisierung gesetzt haben.²⁰⁸

Tabelle 3: 11 von Top 20 Materials Handling Systems Supplier²⁰⁹

Rang 2019	Rang 2018	Firma	Weltweiter Umsatz 2018 (in mio. USD)	Weltweiter Umsatz 2019 (in mio. USD)	Unterschied 2018-2019 in %	3-Jahres Veränderung	Hauptsitz
1	1	Daifuku Co., Ltd.	4167	4016	-3,6%	37%	Osaka, Japan
2	2	Schaefer Holding International GmbH	3217	3217*	0%	22%	Neunkirchen, Deutschland
3	3	Dematic (KION Group)	2350	2662	13,3%	32%	Atlanta, USA
4	4	Honeywell Intelligated	1700	1800	5,9%	112%	Mason, USA
4	6	Murata Machinery, Ltd.	1342	1800	34,1%	43%	Kyoto, Japan
6	5	Vanderlande Industries B.V.	1538	1700	10,5%	38%	Veghel, Niederlande
7	7	Knapp AG	1050	1370	30,5%	113%	Hart bei Graz, Österreich
8	8	Beumer Group GmbH	1000	1100	10,0%	29%	Beckum, Deutschland
9	10	Material Handling Systems (MHS)	860	1000	16,3%	N/A	Mount Washington, USA
10	9	Swisslog AG	923	922	-0,1%	43%	Buchs, Schweiz
11	11	TGW Logistics Group GmbH	817	850	4,0%	50%	Wels, Österreich

Tabelle 3 zeigt die ersten elf Firmen aus der Top-20-Auflistung der Materials Handling System Supplier, die das Modern Materials Handling Magazin jedes Jahr auflistet. Da Schaefer Holding International GmbH die Daten nicht rechtzeitig zu Verfügung gestellt hat, ist mit dem Umsatzwert von 2018 gerechnet worden.

Um sich für die Top-20-Liste von Modern Materials Handling zu qualifizieren, müssen Unternehmen Lieferanten von Materialflusssystemen sein, nicht den Vertrieb von Ausrüstung anbieten. Zusätzlich zur Herstellung von mindestens zwei Hauptkomponenten von Handlingsystemen muss ein Unternehmen auch

²⁰⁸ Vgl. Bond, J.,

https://www.mmh.com/article/top_20_materials_handling_system_suppliers_2020 (Zugriff: 21.12.2020)

²⁰⁹ Quelle: In Anlehnung an Bond, J.,

https://www.mmh.com/article/top_20_materials_handling_system_suppliers_2020 (Zugriff: 21.12.2020)

VollzeitmitarbeiterInnen beschäftigen, die Materialflusssysteme entwerfen, installieren und integrieren. Zu diesen Systemen gehören mindestens zwei der folgenden Komponenten:

- Transportgeräte
- Lager- und Bereitstellungseinrichtungen
- Kommissioniereinheiten
- Sortiersysteme
- Informationsmanagementsysteme
- Datenerfassungstechnologien
- Sonstige Arten von Handhabungsgeräten²¹⁰

5.2 Vorhandene Technologien

In diesem Abschnitt werden die gängigsten Technologien von Lagersystemen vorgestellt. Zuerst folgt eine technische Beschreibung und im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Konzepte aufgrund ihrer Eigenschaften und Leistungsdaten bewertet, um einen besseren Überblick zu geben.

5.2.1 Automated storage/retrieval systems (AS/RS)

Automatisierte Regalsysteme sind eine Kombination aus Geräten und Steuerungen, die Materialien (Komponenten, Werkzeuge, Rohmaterial und Baugruppen) mit großer Geschwindigkeit und Genauigkeit automatisch handhaben, lagern und auslagern. Sie sind daher in Industrieunternehmen weit verbreitet, um Produkte mit kosteneffizienter Nutzung von Zeit, Raum und Ausrüstung zu verwalten. AS/RS sind computergesteuerte Lager- und Transporteinrichtungen für große Kapazitäten und hohe Volumina an umgeschlagenen Materialien. Sie bestehen aus entlang von Gängen aufgestellten Lagerregalen, in denen sich Regalbediengeräte oder Shuttles fortbewegen und sich Ein- und Ausgabestationen zum Empfangen und Einlagern von Artikeln befinden. Die Regalbediengeräte und Shuttles sind für den Materialtransport zwischen Ein- und Auslagerstationen und Lagerzellen zuständig.²¹¹

Vom materialflusstechnischen Aufbau unterscheiden sich automatische Lagersysteme mit Regalbediengeräten kaum von solchen mit Shuttletechnologie. Grundlegend gibt es immer einen Wareneingangs- und Warenausgangspunkt, eine Vorzone und das

²¹⁰ Vgl. Bond, J.,

https://www.mmh.com/article/top_20_materials_handling_system_suppliers_2020 (Zugriff: 21.12.2020)

²¹¹ Vgl. Manzini, R. et al. (2006), S. 766

Regalsystem. Dazu kommen je nach Unternehmung, Lagertyp und Prozessen zusätzliche Einrichtungen wie z.B. Kommissionierstationen, Verpackungsplätze, Wiegeplätze, Inventurstationen, Qualitätskontrollen und sonstige Stationen zur Abbildung von Sonderprozessen oder Handlingaufgaben.

Vorzone:

Hier fallen unterschiedliche Aufgaben an. Einzulagernde Einheiten sind auf der Gasse zu verteilen, Kommissionierplätze vor dem Regal werden von hier aus mit Leerbehältern und Lagergut versorgt, und gegebenenfalls werden Sammeleinheiten abtransportiert. Ausgelagerte Versandware muss in den Versandbereich transportiert werden. Weiters werden auch Umlagerungen zwischen den Gassen über die Regalvorzone abgewickelt. Inventuraufträge müssen ausgelagert und wieder eingelagert werden. Aus diesen Aktivitäten ergeben sich verschiedenste Transportrelationen und kreuzende Verkehre. Zwei Punkte beeinflussen dabei die Leistungsfähigkeit der Lagervorzone maßgeblich: eine ausreichend leistungsfähige Fördertechnik und ein geeignetes Steuerungskonzept. Bei der Fördertechnik sind nicht nur die Rollen- und Gurtförderer zu berücksichtigen, sondern auch die Komponentenleistungen der Drehweichen, Umsetzer oder Verschiebewagen, die zum Einsatz kommen. Je nach Aufbau des Lagers erfolgt die Bereitstellung der Transporteinheiten beiderseits eines Ganges oder einseitig übereinander. Es ist darauf zu achten, ausreichend dimensionierte Pufferplätze vor den Gängen vorzusehen.²¹²

In der Regalvorzone kommen alle Bewegungen eines Lagersystems zusammen. Jede Ein- bzw. Auslagerung wird über diesen Bereich abgehandelt. Es ist also bei der Planung besonders darauf zu achten, dass die notwendigen Durchsatzleistungen von der Fördertechnik abgewickelt werden können.

Regalsystem:

Das Regalsystem wird nach Abhängigkeit von dem Lagergut, welches darin gelagert werden soll, dimensioniert. Je nach Bauart der Regale werden Einplatz- und Mehrplatzsysteme unterschieden. Mehrplatzsysteme bieten die Möglichkeit, mehrere Güter hintereinander einzulagern und somit eine sogenannte mehrfachtiefe Lagerung zu erzeugen.²¹³

²¹² Vgl. Hompel, M.; Schmidt, T. (2007), S. 89 f.

²¹³ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 67

Bei mehrfachtiefer Lagerung ist darauf zu achten, dass die Shuttle- bzw. Regalbediengeräte ausreichend leistungstark sind, um die notwendigen Umlagerungsvorgänge kompensieren zu können.

5.2.1.1 Regalbediengerät (RBG)

Bei Regalbediengeräten kann zwischen manuellen, teilautomatischen und vollautomatischen Typen unterschieden werden. Aufgrund des geringen Automatisierungsgrades von teilautomatischen und manuellen RBGs, handelt dieser Abschnitt ausschließlich von vollautomatischen Geräten.

Ein Regalbediengerät ist ein Hebefahrzeug, welches sich entlang einer Achse auf einer befestigten Schiene bewegen kann. Die vertikalen Lasten werden über ein oder zwei Masten übertragen. Entlang dieser Masten wird der Hubschlitten befördert. Oft werden RBGs am oberen Ende der Masten auf Laufrollen geführt, der sogenannten Kopftraverse. RBGs zur Ein- und Auslagerung von ganzen Ladeeinheiten, z.B. Paletten oder Behältern, sind mit Teleskopgabeln oder einem Teleskoptisch als Lastaufnahmemittel ausgerüstet und werden automatisch durch den Regalgang gesteuert. Die Breite des Arbeitsganges ist abhängig von den Abmessungen des Ladehilfsmittels und dessen Lage zur Fahrtrichtung. Für einfache und doppeltiefe Lagerung werden Teleskopgabeln und Teleskoptische eingesetzt, für mehrfachtiefe Lagerung tiefer als doppeltief werden Satelliten eingesetzt. Die Arbeitsweise geschieht über Einfach- und Doppelspiele. Einfachspiele können nur ein Transportgut zeitgleich ein-, um- oder auslagern. Bei Doppelspielen können jeweils zwei Ladeeinheiten zeitgleich transportiert werden, was eine Optimierung der Wegzeiten mit sich bringen kann. Aus Sicherheitsgründen müssen die Bediengänge immer abgesperrt sein, um einen Zusammenstoß zwischen Mensch und Maschine zu verhindern. Eine Grundvoraussetzung für den störungsfreien Betrieb von Regalbediengeräten ist eine hohe Qualität bei Paletten und Behältern sowie eine Gleichartigkeit und Maßhaltigkeit der Ladung.²¹⁴

Es ist üblich, dass in jedem Regalgang ein eigenes RBG arbeitet und mit den Auslagerungen und Einlagerungen dieser Gasse ausgelastet ist. Bei geringerem Güterumschlag kann ein RBG auch mehrere Gassen bedienen. Dabei kann der Gangwechsel entweder über einen quer zu den Gassen laufenden Umsetzwagen oder durch ein selbständiges kurvengängiges RBG erfolgen. Kurvengängige

²¹⁴ Vgl. Martin, H. (2014), S. 383

Regalbediengeräte können den Gangwechsel über Schienen abwickeln und sind in der Regel bei 30 Metern in der Höhe begrenzt.²¹⁵

RGBs, die keine Gangwechsel vornehmen, werden gassengebundene Regalbediengeräte genannt.²¹⁶



Abbildung 15: Regalbediengerät für KLT (Hersteller Viastore)²¹⁷

5.2.1.2 Shuttle

In automatischen Kleinteilelagern werden für die Lagerung von Behältern, Tablaren und Kartonagen neben Regalbediengeräten auch sogenannte Shuttlesysteme eingesetzt. Ein wesentlicher Unterschied zu Regalbediengeräten liegt in der Trennung zwischen dem Vertikalverkehr und dem Horizontalverkehr.²¹⁸

Dabei übernehmen die Shuttle-Fahrzeuge die Lastaufnahme und -abgabe sowie den horizontalen Transport in den einzelnen Ebenen. Das bedeutet, dass jede Ebene in jedem Gang mit einem eigenen Shuttlefahrzeug ausgestattet ist. Auch wenn Systeme existieren, bei denen die Shuttlefahrzeuge Gassenwechsel vornehmen, sind diese in der Industrie nicht weit verbreitet und stellen eine Sonderform der Shuttleanlagen dar.

²¹⁵ Vgl. Martin, H. (2014), S. 384

²¹⁶ Vgl. Thomas, M.; Thomas, S. (2014)

²¹⁷ Quelle: <https://industrieanzeiger.industrie.de/technik/logistik/durchblick-im-artikeldschungel/> (Zugriff: 23.12.2020)

²¹⁸ Vgl. Hoppel, M. et al. (2018), S. 79

Als Beispiel für solche Fahrzeuge können Systeme von Knapp²¹⁹ und Servus Intralogistics²²⁰ genannt werden.

Der Vertikaltransport wird von einem Lift übernommen. Üblicherweise sind dabei pro Gasse ein oder zwei Lifte vorhanden. Aufgrund der Entkopplung von horizontaler und vertikaler Bewegung, können mehrere Shuttles gleichzeitig auf unterschiedlichen Ebenen verschiedene Aufgaben durchführen. Diese Systeme sind also in der Lage, die anstehenden Ein-, Um- und Auslagerungen in jeder Ebene entkoppelt voneinander durchzuführen und auf diese Weise deutlich kürzere Zykluszeiten im Vergleich von RGBs zu erreichen. Die Ein- und Auslagerleistungen werden dadurch deutlich gesteigert. Ein weiterer Unterschied ist, dass im Vergleich zu Regalbediengeräten Shuttlesysteme ein deutlich günstigeres Verhältnis von Nutzlast zu bewegter Masse haben, was eine Einsparung beim Energieverbrauch ermöglicht. Shuttlesysteme haben den großen Vorteil, dass sie sich passgenau in vorhandene Gebäude einbauen lassen. Die verschiedenen Kombinationen von Fahrhöhen und Gassenlängen bringen eine hohe Flexibilität in der Gestaltung des Lagerbereiches mit sich. Die Leistungsberechnung einer Shuttleanlage ist aufgrund der getrennten Abläufe nicht mit herkömmlichen Verfahren möglich. Stattdessen sind je nach Begebenheiten entweder die Shuttles selbst limitierend - dies ist bei sehr langen Gängen der Fall - oder der Lift bzw. die Lifte - dies ist bei kurzen sehr hohen Lägern der Fall. Kerngedanke bei der Leistungsberechnung ist es, für beide Komponenten die einzelnen Spielzeiten als Summe von Fahrzeiten, Zeiten für Lastaufnahme und -abgabe sowie Schalt- und Positionierungszeiten zu bestimmen. Damit ergeben sich Grenzwerte für die Leistung von Lift und Shuttle-Fahrzeug.²²¹

Typischerweise werden Shuttleanlagen nur für Ladehilfsmittel von bis zu 600*400 mm (KLTs) angewendet. Es existieren jedoch auch Shuttlesysteme, die in Kanallagern eingesetzt werden, um die Paletten auf tiefere Stellplätze zu verteilen. Aufgrund der geringen Automatisierung dieser Systeme beschränkt sich diese Arbeit auf Shuttleanlagen für Kleinbehälter.

²¹⁹ Siehe: <https://www.knapp.com/evo/> (Zugriff: 23.12.2020)

²²⁰ Siehe: <https://www.servus.info/technologie-servus-logistik-baukasten/> (Zugriff: 23.12.2020)

²²¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 79



Abbildung 16: Beispiele einer Shuttleanlage (Hersteller TGW)²²²

5.2.2 Umlaufregale und Liftregale

Umlaufregale können in vertikaler und horizontaler Ausführung konstruiert werden. Dabei werden entweder Regalzeilen (bei vertikaler Ausführung) oder Regalspalten (bei horizontaler Ausführung) entlang einer Bahn mit Stetigfördertechnik geführt. Einsatzgebiete sind Pufferlager mit hoher Kommissionierleistung und Ware-zur-Person Prinzip.²²³

Vertikale Umlaufregale werden auch Paternosterregale genannt und sind Regalkonstruktionen, bei denen das Regalfach samt Lagergut eine Umlaufbewegung durchführt. Die Regalfächer werden mittels einer Kettenkonstruktion, die von Elektromotoren angetrieben wird, in Bewegung gesetzt. Dadurch wird das gewünschte Regalfach zum Zugriffsbereich transportiert. Der Zugriffsbereich kann sich je nach Technologie aus einer oder mehreren Ebenen zusammensetzen. Vertikale Umlaufregale werden bei Kleinteilen, Baugruppen, Behältern, Akten oder Langgut

²²² Quelle: Poll, D., <https://www.produktion.de/technik/optimale-produktionsauslastung-bei-niedrigem-lagerrisiko-123.html> (Zugriff: 23.12.2020)

²²³ Vgl. Hoppel, M. et al. (2018), S. 88

eingesetzt, die in Ladehilfsmitteln wie Schachteln und Behältern oder direkt auf dem Regalboden eingelagert werden. Zur besseren Beladung mit Kransystemen können Umlaufregale mit einer vorgebauten Be- und Entladestation ausgeführt werden. Horizontale Umlaufregale oder Karusselllager arbeiten ebenso nach dem Ware-zur-Person Prinzip. Sie bestehen aus abgehängten oder durch Fahrwerke gelagerten Regalen, welche ebenso wie die horizontalen Umlaufregale durch Ketten und Elektromotore bewegt werden. Zur Entnahme der Artikel wird das benötigte Regal zum Entnahmefenster bewegt, welches sich meist stirnseitig am Wendepunkt des Regals befindet. Der Betrieb der Kommissionierung erfolgt also analog zum Paternosterregal. Umlaufregale finden ihren Einsatz besonders bei mittleren Entnahmemengen pro Artikel und großem Artikelspektrum. Besonders hohe Entnahmeleistungen werden bei einer Variante von horizontal angetriebenen Umlaufregalen, den Behälterumlaufregalen erreicht, bei denen jede Ebene des Regals separat angetrieben werden kann. Die einzelnen Ebenen werden dabei so gesteuert, dass alle Ein- und Auslagerpunkte in einer Achse vertikal übereinanderliegen und gleichzeitig gewechselt werden können. Danach können alle Arbeitsschritte in einem durchgeführt werden. Diese Systeme werden zur Kurzzeitpufferung, z.B. der Konsolidierung von Teilaufträgen im Versandbereich verwendet, wobei oft Schachteln oder Greifschalen gelagert werden. Bei solchen Vorgängen ist eine hohe Umschlagleistung notwendig, da im Gegensatz zu klassischen Umlaufregalen der ganze Behälter eines Lagerplatzes entnommen wird.²²⁴

Lifftregale oder Turmregale sind ebenso wie vertikale Umlaufregale Bereitstellungssysteme zur Lagerung und Bereitstellung von Lagergut wie Stückgütern, Kleinteilen, Baugruppen und Werkzeugen wobei dabei Lagerhilfsmittel wie Behälter und Gitterboxen eingesetzt werden können. Liftsysteme stellen eine minimalisierte Form der Zeilenlagerung dar. Ein Lift transportiert dabei eine ganze Regalzeile meist in Form von Tablaren oder Ladehilfsmitteln wie Paletten zu einem Aus- und Einlagerfenster. Der zentral angeordnete Lift nimmt dabei das Tablar über eine Ziehtechnik auf und verfährt vertikal zwischen Regalsäulen bis zur Zielposition. Die Stückgüter werden dabei auf den Tablaren gelagert. Diese können logisch auch in mehrere Teillagerplätze unterteilt werden. Neben Systemen mit festen Lagerhöhen existieren ausgereifere Systeme, welche flexibel mit unterschiedlichen Lagerhöhen umgehen können. Dies ermöglicht eine Lagerung von Gütern mit unterschiedlichen

²²⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 89 f.

Abmaßen und eine Volumenoptimierung. Die Konstruktionen bieten den Lagergütern durch ihre abgeschirmte Bauform Schutz vor Staub und Umwelteinflüssen und können bei Bedarf auch im Außenbereich verwendet werden. Liftsysteme werden vorwiegend für die Lagerung von B-Artikeln und in der Produktion zur dezentralen Lagerung von Produktiv- und Hilfsmaterialien wie Werkzeugen, Verbrauchs- und Ersatzteilen eingesetzt. In der Kommissionierung finden Turmregale in mehrstufiger Kommissionierung in der Verbindung mit Fördertechnik und allgemein als Bereitstellensystem in manuellen Kommissionierlagern ihre Anwendung.²²⁵

Umlaufregale und Liftregale können von Lagerverwaltungssystemen unterstützte Kommissionierprozesse abbilden, die das Kommissionierpersonal auf fest installierten Bildschirmen oder mobilen Endgeräten durch den Pickprozess führen. Dabei wird die Ware am Entnahmefenster automatisch angedient und nicht vom Kommissionierpersonal händisch angefordert. Das reduziert die Kommissionierzeit. Es können weiters zusätzliche technische Hilfsmittel wie z.B. Laser zur Behälterausleuchtung und Hebevorrichtungen an den Geräten installiert werden, welche den Kommissionierprozess erleichtern.

5.2.3 AutoStore

Das AutoStore-Lagersystem ist ein automatisches Kleinteilelager der gleichnamigen norwegischen Firma. Autostore verzichtet dabei auf klassische Regale und setzt auf modular aufgebaute Behälter, die in einer Aluminium-Konstruktion übereinandergestapelt werden. Auf der obersten Ebene des Systems fahren Roboter zweidimensional, welche immer direkten Zugriff auf den obersten Behälter haben. Die Technologie stellt dabei grundsätzlich eine Lösung mit den Elementen *Wareneingang, Einlagerung, Lagerung, Kommissionierung und Warenausgang* in einem dar. Das System besteht aus dem Lagerkonstrukt (Grid), den Behältern (Bins), den Robotern (Robots) sowie den Arbeitsplätzen (Ports)²²⁶

²²⁵ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 81 ff.

²²⁶ Vgl. Klement, P., <https://logistikknowhow.com/lagerautomatisierung/autostore-lagertechnologie-aus-norwegen/> (Zugriff: 27.12.2020)

Als Ladungsträger werden zwei standardisierte Behälter vorgegeben. Diese unterscheiden sich lediglich in der Höhe. Durch die integrierten Greifer in den Robotern können diese Behälter von oben aufgenommen, transportiert und abgesetzt werden. Für den Zugriff auf tieferliegende Behälter sind Umlagerungsvorgänge notwendig, welche mehrere Roboter zusammen durchführen können. Der Aufbau dieses Lagersystems ist modular, was unterschiedliche Grundrisse ermöglicht und die Systeme einfach erweiterbar macht. Eigene Kommissioniermodule werden verwendet, um Behälter mit Materialien dem Kommissionierpersonal bereitzustellen sowie leere Behälter abzugeben, um neue Ware einzulagern. Im Vergleich zu konventionellen AKLs, kann das AutoStore-Lagerkonzept eine verbesserte Volumennutzung und Erweiterbarkeit erreichen.²²⁷ Es eignet sich speziell für einfache logistische Lagerprozesse, die hochautomatisiert sind und auf ein kleines Sortiment zugreifen.²²⁸

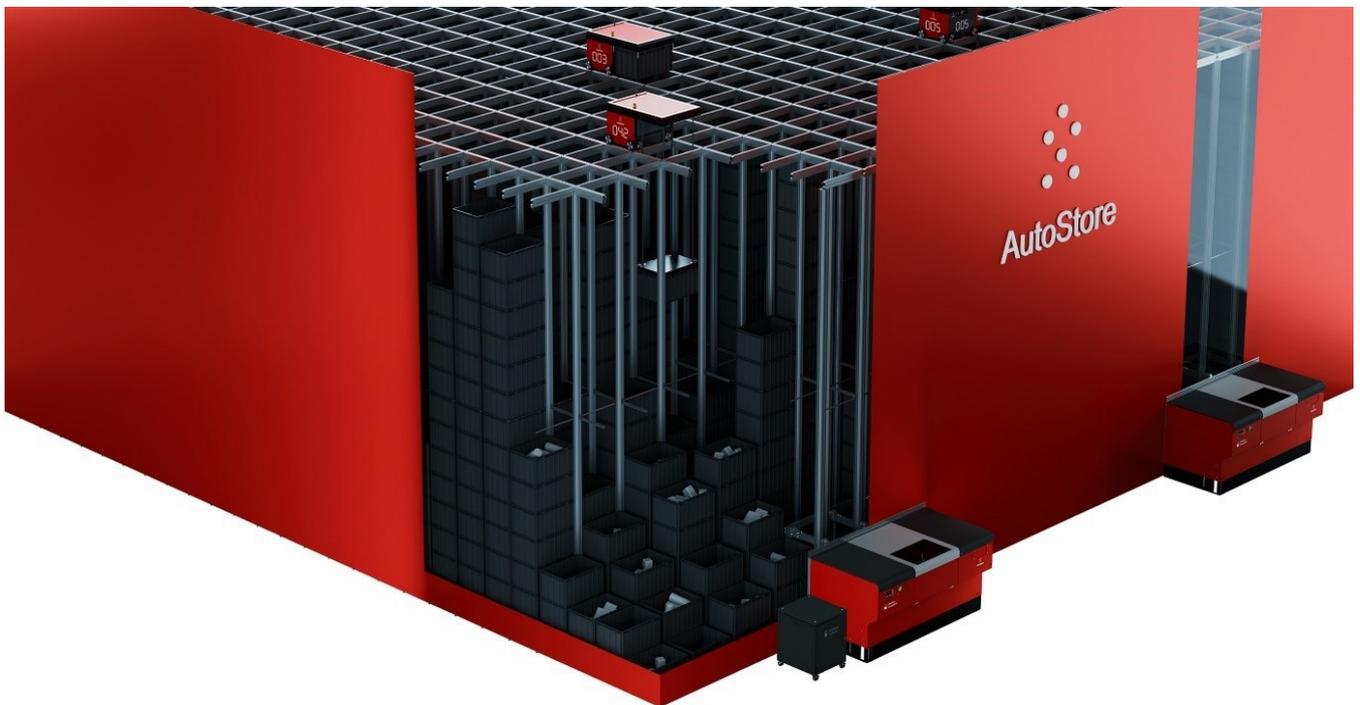


Abbildung 17: Auto-Store Lagersystem²²⁹

5.2.4 Kommissioniersysteme

Die Kommissionierung ist ein personal- und zeitintensiver Vorgang (siehe Abschnitt 3.5.1.6). Mit steigendem Leistungsdruck und wachsenden Personalkosten, ist die Suche nach personalärmeren Verfahren gestartet worden. Diese ergibt sich durch teil- oder vollautomatische Kommissionierung, d.h. der Auftrag wird personalfrei bearbeitet. Ein

²²⁷ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 72

²²⁸ Vgl. Klement, P., <https://logistikknowhow.com/lagerautomatisierung/autostore-lagertechnologie-aus-norwegen/> (Zugriff: 27.12.2020)

²²⁹ Quelle: <https://autostoresystem.com/de/systeme/> (Zugriff: 27.12.2020)

Schritt zur teilautomatisierten Kommissionierung ist der Verzicht auf Papier durch beleg- oder papierlose Kommissionierung. Für Artikel mit gleichartigen, kleinen Abmessungen und ähnlichen Formen wie zum Beispiel verpackter Kleidung, Arzneimittelverpackungen, Zigarettenschachteln, Packstücken usw. sind Kommissionierautomaten entwickelt worden.

Artikel für die automatische Kommissionierung müssen bestimmte Merkmale aufweisen. Sie müssen mittels Greifer, Zangen und pneumatischen Sauggreifern transportierbar sein. Für den Einsatz von Kommissionierautomaten muss die verwendete Software (Kommissionierleitsystem, Warehouse Managementsystem, Lagerverwaltungssystem) Informationen über das Gewicht, die Geometrische Form, die Abmessungen, den Lagerort bei statischer Bereitstellung, die Lage des Artikels auf einer Anbruch-Palette bei dynamischer Bereitstellung usw. der Artikel haben. Die Software führt die Auftragsannahme, Auftragsverwaltung und Auftragsabwicklung durch. Die Transportmittel werden vom System zu den Lagerplätzen gesteuert, um die geforderten Artikel in den richtigen Mengen zu kommissionieren. Ebenso übernimmt die Software die Steuerung der Bewegungs- und Greifvorgänge des Kommissionierroboters die ihm über Befehle zugesendet werden. Die gegriffenen Artikel werden dann vom Roboter in bereitgestellte Behälter oder an bestimmten Stellen abgelegt.²³⁰

5.2.4.1 Vollautomatisierte Kommissioniersysteme

Die Ausführungsformen von Kommissionierautomaten und Pick-Robotern richten sich allen voran nach Form und Abmessungen der Artikel und haben das Ziel, eine möglichst hohe Kommissionierleistung zu erbringen.²³¹

Automatische Fachbodenregal-Kommissionierung

Diese Kommissioniersysteme bestehen aus modular aufgebauten Fachbodenregalen, deren Fachböden schräg zum Bediengang angeordnet sind und einem schienengeführten Regalbediengerät mit Kommissionierroboter. Das Lagergut besteht vorwiegend aus B- und C-Artikel, mit kleinen bis mittleren Abmessungen, die in kubischen Schachteln verpackt sind. Die Warenaufnahme erfolgt über den Kommissionierroboter, der mit kleinen Riemenförderern oder Teleskopgreifern ausgestattet ist, mit denen er die liegenden Schachteln greifen kann. Diese werden danach in einen Auftragsbehälter kommissioniert, welcher mit einem

²³⁰ Vgl. Martin, H. (2014), S.403

²³¹ Vgl. Martin, H. (2014), S.403

Identifikationsmerkmal belegt ist (Barcode, RFID-Tag usw.). Das RBG sammelt so auftragsorientiert die Artikel in einen Zielbehälter. Der Nachschub erfolgt im Regelfall über die Rückseite des Regals.²³²

Ortsfeste Kommissionierroboter

Diese Systeme entnehmen dynamisch bereitgestellte Artikel mit Hilfe eines Greifmechanismus. Es handelt sich dabei meistens um sogenannte Knickarmroboter, die mit mehreren Achsen ausgestattet sind und vertikal und horizontal innerhalb eines begrenzten Radius agieren können. Sie sind hinsichtlich ihrer Steuerung und ihres Bewegungsablaufes frei programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt. Sie werden meist zur Depalettierung oder Palettierung verwendet. Der gesamte Kommissioniervorgang läuft bei dieser Variante vollautomatisch ab.²³³

Schachtkommissionierer

Diese Art von Kommissionierautomaten dient der Vereinzelung von Gütern. Form und Stabilität der verwendeten Artikel sind entscheidend für den Einsatz von Automaten dieser Art. Geeignet sind vorwiegend kubische Artikel oder Waren in kubischen Verpackungen. Wie der Name schon verrät, werden die zu kommissionierenden Artikel aus Schächten bereitgestellt. Diese können je nach Artikel verschiedene Abmaße haben. Es finden keine Durchmischungen in einem Schacht statt, die Einlagerung erfolgt sortenrein in einem Kanal. Durch den A-förmigen Aufbau werden Schachtkommissionierer auch A-Frame genannt. Die Schächte sind in zwei schräggestellten Reihen angeordnet, zwischen denen sich ein Gurtförderer befindet. Diese Bauform finden sich besonders bei Automaten, die für hohe Kommissionierleistungen gebaut werden.²³⁴ Am Ende jedes Schachtes befindet sich ein Zwangsauswurf, der den Artikel aus dem Schacht abwirft. Der Artikel kann entweder auf den Gurtförderer selbst und von diesem in den Zielbehälter oder direkt in einen Behälter kommissioniert werden (siehe Abbildung 18).²³⁵

²³² Vgl. Martin, H. (2014), S. 404

²³³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 82

²³⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 83 f.

²³⁵ Vgl. Martin, H. (2014), S. 404 f.

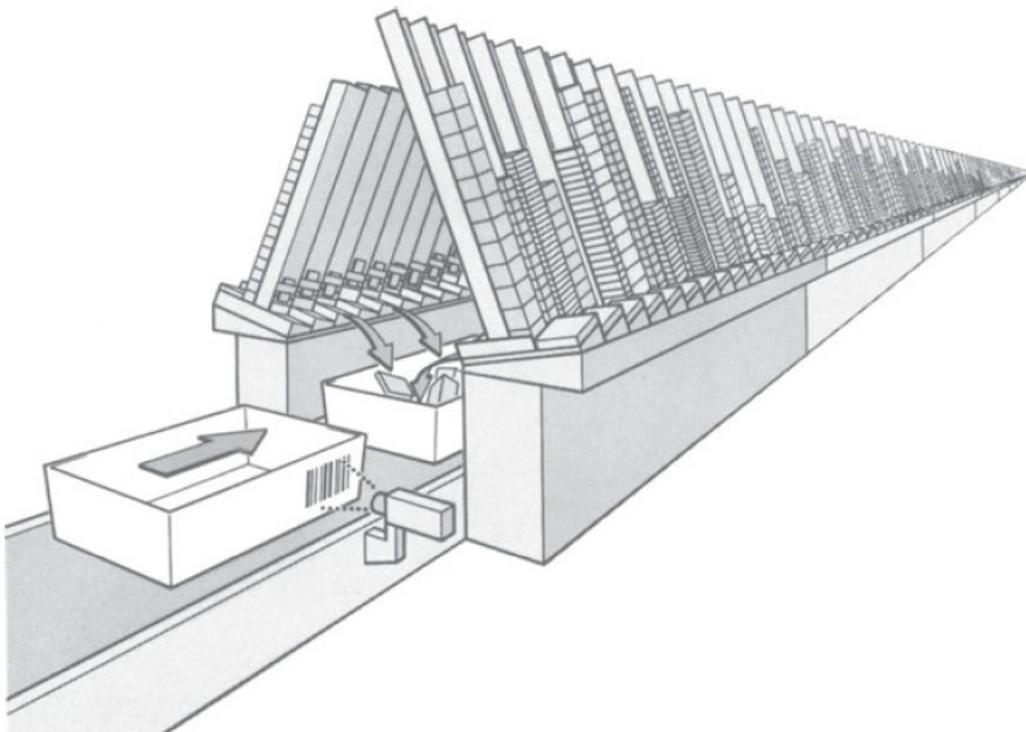
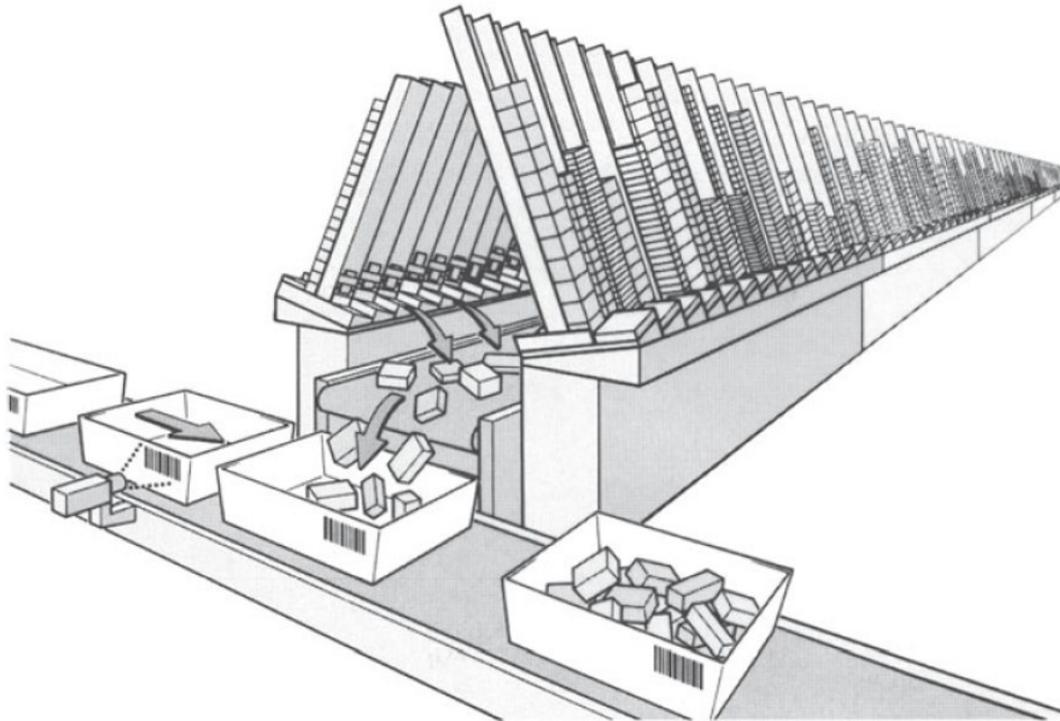


Abbildung 18: Abgabearten von Schachtkommissionierern in einstöckiger Ausführung (Hersteller Dematic)²³⁶

Bei nicht so leistungsstarken Systemen kann die Abgabearbeit auch mit Hilfe der Schwerkraft erfolgen. Probleme kann es beim Nachschub der Schächte geben, der in den meisten Fällen manuell erfolgt. Um leere Schächte in der Betriebszeit zu

²³⁶ Quelle: Martin, H. (2014), S. 405

vermeiden, sind manche Systeme mit Füllstandsanzeigen ausgestattet. Schachtkommissionierer zählen zu den leistungsstärksten Kommissioniersystemen und werden vorwiegend in der Pharmabranche verwendet. Im Schnelldreherbereich können durch die hohe Geschwindigkeit der Automaten kurze Durchlaufzeiten und somit eine schnelle Auftragsbearbeitung erreicht werden. Durch die Ausgabe der Produkte nach strengem FIFO in jedem Schacht wird eine Überalterung von Produkten vermieden. Entscheidend für die Zuordnung der kommissionierten Ware ist die Kennzeichnung der Zielbehälter mittels Barcodes oder anderen Identifikationstechniken. Schachtkommissionierer arbeiten vollautomatisch nach dem Prinzip Ware-zur-Person da die richtig kommissionierten Artikel mittels Fördertechnik zu einem Abgabeort transportiert werden.^{237,238}

5.2.4.2 Kommissionierführungen

Kommissionierführungen zur beleglosen Kommissionierung sind teilautomatische Kommissioniersysteme. Sie werden stationär, also ortsfest in Verbindung mit Kommissionstationen, oder mobil eingesetzt. Kommissionierführungen unterscheiden sich zur Pickliste durch die Kommunikation mit Software z.B. über:

- Mobile Datenerfassung mittels Datenterminals
- Pick-by-light- und put-by-light-System
- Pick-by-voice-System

Die wichtigsten Bausteine dieser beleglosen Kommissionierung sind Leitreechner, die die Steuerung des Kommissionierprozesses verwalten. Die beleglose Kommissionierung erreicht eine hohe Kommissionierleistung durch direkte Anzeige der Entnahmemengen je Artikel bei jeder Entnahmestelle, eine geringe Fehlerquote über das Ausschließen von Zeilenverwechslungen und eine aktuelle, transparente Auftragsverfolgung über den Lagerverwaltungsrechner.²³⁹

Datenterminals

Eine Form der beleglosen Führung durch den Kommissionierprozess ist der Einsatz von stationären Terminals. Ein Terminal ist ein Ein- und Ausgabegerät, über das ein/eine BedienerIn mit einem Datenverarbeitungssystem kommunizieren kann. Über einen Bildschirm und mittels Eingaben über ein Eingabemedium (Scanner, Tastatur, Touch-Screen, Tasten) wird das Kommissionierpersonal durch den Prozess geführt. Beim

²³⁷ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 83 ff.

²³⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 404 f.

²³⁹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 394

Person-zur-Ware-Prinzip kommen mobile Lösungen zum Einsatz. Bei Kommissionierbuchten oder Pickstationen für z.B. AS/RS-Systeme oder Umlaufregale werden stationäre (also fest installierte) Monitore verwendet. Die Systeme versorgen das Personal mit allen nötigen Informationen wie Entnahmemengen, Lagerort, Teileschutzvorgaben, Erfassung von Serialnummern usw. Häufigstes Einsatzgebiet von Terminals sind zentrale Kommissionierstationen. Dabei können Informationen direkt vom WMS oder ERP System an die/den MitarbeiterIn gelangen, die/ der beide Hände zur Kommissionierung zu Verfügung hat. Nachteilig bei der stationären Variante von Terminals sind die geringe Flexibilität in Bezug auf die Ortsveränderung der Stationen und die hohen Investitionskosten der AKLs und Shuttleanlagen, die diese Arbeit an Kommissionierstationen erst ermöglichen.²⁴⁰

Pick-by-light

Pick-by-light-Panäle gehören wie die stationären Terminals zu den ortsfesten Systemen. Die Panäle werden in der Regel an Regalfronten angebracht. Über diese erhält das Kommissionierpersonal die notwendigen Informationen zur Entnahme über Anzeigefelder, welche über- oder unterhalb der Entnahmestellen angebracht sind. Der anzusteuende Platz wird durch das Aufleuchten einer Lampe signalisiert, wodurch sich der Name dieser Kommissionierführung erklärt. Zusätzlich zur Anzeige der Entnahmemenge verfügen die meisten Systeme über ein Display und einen Taster zur Quittierung der Entnahme. Taster, Leuchte und Display bilden oft eine Einheit, welche Pick-by-light-Panel genannt wird. Diese Art der Kommissionierführung wird vorwiegend in Bereichen mit Artikel kleinen Volumens und mit geringen Sortimentsbreiten verwendet. Wegen der hohen Kommissionierleistungen wird dieses Führungssystem bevorzugt in Schnelldreherbereichen eingesetzt. Die visuelle Anzeige des Lagerplatzes und der Entnahmemengen am Bereitstellplatz führen zu einer Reduktion der Totzeit und demnach zu einer hohen Kommissionierleistung. Nachteilig wirkt sich das Pick-by-light-System auf das Erfordernis eines übergeordneten Leitsystems und den höheren organisatorischen Aufwand aus.²⁴¹

Put-to-light

Put-to-light-Führungssysteme zeigen der/dem KommissioniererIn nicht den Entnahmepunkt, sondern den Abgabeort der Kommissioniereinheit an. Put-to-light-Lösungen werden an Kommissionierarbeitsplätzen beispielsweise mit stationären Terminals oder Pick-to-

²⁴⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 53 f.

²⁴¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 54

light-Systemen kombiniert. Wenn die Artikel in Behälterunterteilungen gepickt werden, ist es eine gängige Variante, den Behälterbereich, der als Zielort ausgewählt ist, mit einem Laserlicht auszuleuchten. Dieser Bereich entspricht dann einem Abgabeort. Put-to-light-Systeme werden bei auftragsparalleler Kommissionierung in Kombination mit anderen Methoden eingesetzt, z.B. beim Sortieren während der Kommissionierung.²⁴²

Pick-by-voice

Bei dieser Art der Kommissioniersteuerung erhält das Personal sprachgesteuert die Informationen von einem Mobilgerät via Kopfhörer, um den Kommissioniervorgang durchzuführen. Zusätzlich sind die Geräte mit einem Mikrofon zur Kommunikation zwischen Computer und Mensch ausgestattet. Der Vorteil eines solchen Systems ist, wie auch bei ortsfesten stationären Terminals, dass die Hände des Kommissionierpersonals frei bleiben. Pick-by-voice Systeme können in der Softwarearchitektur verschieden aufgebaut sein und unterscheiden sich in der Art der Spracherkennung. Bei der Auswahl von Pick-by-voice-Systemen sollte darauf geachtet werden, dass das System mehrsprachig verwendbar ist. Durch die Führung der Dialoge in der Muttersprache der BedienerInnen kann in der Regel die Produktivität erhöht und die Fehlerrate gesenkt werden. Um die Funktion auch in geräuschbelasteter industrieller Umgebung zu gewähren, werden Rauschfilter eingesetzt.²⁴³

Weiters findet diese Form der Kommissionierunterstützung in Kühlhäusern ihre Anwendung, wo aufgrund von Handschuhen andere mobile Geräte nicht oder nur umständlich bedient werden können.²⁴⁴

5.2.5 Automatisierte Transportfahrzeuge

Die Gruppe der automatischen Flurförderfahrzeuge bilden die fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF, AGV: automated guided vehicle). Sie sind automatisch gesteuert und berührungslos geführt, bewegen sich ohne direktes menschliches Einwirken nach vorgegeben Führungsprinzipien entweder entlang physischer oder virtueller Leitlinien oder sensor- und kameragesteuert frei im Raum durch eingelesene Raumpläne. Sie dienen dem Materialtransport durch Ziehen oder Tragen von Fördergut und werden in Form von Schleppern, Wagen, Staplern oder „rollenden

²⁴² Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 55

²⁴³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 57 f.

²⁴⁴ Vgl. Martin, H. (2014), S. 395

Werkbänken“ gebaut. Die Fahrzeuge werden häufig über den Leitsteuerrechner koordiniert, disponiert und verwaltet.

Der wesentliche Unterschied zwischen verschiedenen FTF-Technologien ist die Art der Führung der Fahrzeuge. Führungstechnologien sollten nach folgenden Bestimmungskriterien bewertet werden:

- **Einsetzbarkeit in komplexen Systemen**
Gibt Aufschluss über die Verwendungsmöglichkeit von Systemen mit vielen Fahrzeugen und komplizierten Fahrkursen.
- **Flexibilität bei Layoutveränderungen**
Dies gibt an, mit welchem Aufwand eine Änderung der Fahrkurse verursacht wird.
- **Sensitivität gegenüber Störungen**
Kennzeichnet die Störempfindlichkeit gegenüber Gegenständen, die sich im Fahrweg des Fahrzeuges befinden.
- **Restriktionen durch Gebäude**
Sind Anforderungen an Gebäude wie die Beschaffenheit des Bodens oder das Vorhandensein von Dehnfugen im Boden.
- **Ausfallsicherheit**
Beschreibt die Sicherheit gegenüber Störungen, die einen teilweisen oder kompletten Systemausfall zur Folge haben können.
- **Beständigkeit gegen Abnutzung**
Hierbei wird auf die Empfindlichkeit, die Verschleißneigung und die Zerstörungsgefahr von Einzelkomponenten des Führungssystems eingegangen.
- **Positionierungsgenauigkeit**
Gibt an, ob ein Steuerungsverfahren neben der Steuerung während der Fahrt auch zur Positionierung des Fahrzeuges geeignet ist.²⁴⁵

5.3 Bewertung und Zusammenfassung der Eckdaten

In diesem Abschnitt sollen die oben angeführten Technologien mit ihren Leistungsdaten versehen werden und mit einer Schwächen-Stärken-Analyse bewertet werden. Die Auflistung der Technologien wurde so gewählt, dass gängige Automatisierungstechnologien, welche von verschiedenen Firmen (exklusive AutoStore, welcher als Franchise von verschiedenen Intralogistikanbietern vertrieben wird) angeboten werden, darin enthalten sind. Außerdem können die oben

²⁴⁵ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 209 ff.

genannten Systeme teilweise miteinander kombiniert werden, um auf situativ individuelle Bedürfnisse eingehen zu können. Es ist jedoch keineswegs eine vollständige Liste aller Automatisierungstechnologien, die für intralogistische Zwecke eingesetzt werden.

5.3.1 AS/RS Regalbediengerät

Im Gegensatz zu einem technisch filigraneren Shuttle-System, in dem deutlich mehr Komponenten verbaut sind, ist das Regalbediengerät vergleichsweise robust. Je nach Design und Abmessungen der Anlage stehen pro Gang einem AKL etwa 30 Shuttles gegenüber. Das Regalbediengerät hat gegenüber Shuttles eine höhere Betriebssicherheit im täglichen Ablauf und hat längere Wartungsintervalle mit vergleichsweise einfachen Instandhaltungsmaßnahmen. Regalbediengeräte bieten die Möglichkeit, schon vorhandene Regalsysteme (insbesondere bei Palettenregalen) nachträglich zu automatisieren. Ein Nachteil solcher Systeme ist jedoch die schlechte Erweiterbarkeit.²⁴⁶

Durch die einfachere und robuste Mechanik ergeben sich niedrigere Instandhaltungs- und Investitionskosten. Regalbediengeräte werden bei mittleren und großen Lagern sowie bei mittel- und langfristiger Mengenlagerung eingesetzt. Sie machen ca. 80% der neu errichteten automatischen Regallager aus und sind somit deutlich beliebter als Shuttlesysteme. Regalbediengeräte können (bei Kleinteilen) Behältergewichte jenseits der 50 kg handhaben. RBGs können Paletten bis ca. 4000 kg bewegen, was sie zu einer der wichtigsten Automatisierungstechnologie bei Großteilen macht.²⁴⁷

Abbildung 19 zeigt die Stärken und Schwächen sowie die Leistungsdaten von Regalbediengeräten in AS/RS-Systemen.

²⁴⁶ Vgl. Cieplik, W., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/regalbediengerat-oder-shuttle.htm> (Zugriff: 21.12.2020)

²⁴⁷ Vgl. Diehn, M., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/shuttlesysteme-vs-regalbediengerate-keine-frage-des-geschmacks.htm> (Zugriff: 29.12.2020)

Regalbediengerät

Stärken

- niedrige Wartungsintervalle
- robuste Technik
- hohe Zuverlässigkeit
- niedrigere Investitionskosten (verglichen zu Shuttle-System)
- Automatisierung von Lägern mit geringer Durchsatzleistung
- Sondermaße bei Lagergut möglich
- Systeme kann bei auf Groß- und Kleinteile angewendet werden
- Mehrfachtiefe Lagerung möglich
- Nachträgliche Automatisierung von vorhandenen Regalen möglich

Schwächen

- niedrige Auslagerleistung
- bei langfristigen Stillständen ist eine manuelle Kommissionierung nur mit viel Aufwand möglich
- bei Stillstand ist eine ganze Gasse außer Betrieb
- keine hohen Durchsätze möglich
- aufgrund der niedrigen Auslagerleistung können nur notwendige Prozesse über RBG abgebildet werden (keine Sequenzierung oder Sonderprozesse sinnvoll)
- Eingeschränkte Erweiterbarkeit

Leistung

- Gassenleistung > 150 Doppelspiele pro Stunde im AKL
- ca. 60 Doppelspiele (abhängig vom Anbieter) Gassenleistung pro Stunde im Palettenlager
- Palettentragslast je Anbieter zwischen 1250kg und 4000kg
- Behältergewicht >50 kg möglich
- Bauhöhe bis 50 m

Abbildung 19: Stärken-Schwächen-Analyse von Regalbediengerät^{248,249,250,251,252}

5.3.2 AS/RS Shuttle

Shuttlelösungen gelten gemeinhin als die flexibleren Lösungen bei AS/RS-Systemen. Sie können platzoptimierter in bestehende Gebäude eingepasst werden, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass Regalbauer nur technisch begrenzte Sonderlösungen entwickeln können. Aufgrund ihrer höheren Leistung können Shuttlesysteme dafür genutzt werden, um individuelle Lagerstrategien und Umlagerungsvorgänge (z.B. Schnelldreherkonzepte) vorzunehmen, was sich positiv auf die Zugriffszeiten auswirkt. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn das System überdimensioniert ist. Die

²⁴⁸ Quelle: Eigene Darstellung

²⁴⁹ Vgl. Irrgang, R., <https://www.mm-logistik.vogel.de/regalbediengerat-rbg-definition-aufbau-hersteller-a-604169/> (Zugriff: 29.12.2020)

²⁵⁰ Vgl. Diehn, M., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/shuttlesysteme-vs-regalbediengerate-keine-frage-des-geschmacks.htm> (Zugriff: 29.12.2020)

²⁵¹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 363 f.

²⁵² Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 198 f.

Anschaffungskosten von Shuttleanlagen sind aufgrund der filigraneren Technik und der höheren Anzahl der Komponenten und Fahrzeuge deutlich höher als jene von RGB-AKLs. Ein Shuttlelager einem RGB gegenüber nur aufgrund von möglicherweise selten auftretenden Spitzen in der Leistung zu bevorzugen, sollte jedoch in Berücksichtigung der höheren Anschaffungskosten, Wartungskosten (aufgrund der hohen Anzahl an Komponenten) und der durchschnittlich ineffizient betriebenen Anlagen sinnvoll abgewogen werden.²⁵³

Abbildung 20 zeigt eine StärkenSchwächen-Analyse und die wichtigsten Leistungsdaten von Shuttleanlagen.

²⁵³ Vgl. Cieplik, W., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/regalbediengerat-oder-shuttle.htm> (Zugriff: 21.12.2020)

Shuttlesysteme

Stärken

- hohe Durchsatzleistungen
- Abbildung von Sonderprozessen wie Sequenzierung aufgrund von Leistungsüberschüssen
- Flexibel in der Erweiterung
- Flexibel an Gebäudelayout anpassbar
- Hohe Volumenausnutzung
- Bei Shuttlestillstand nur eine Ebene pro Gasse betroffen
- Für Lagerhäuser mit mittlere bis hohe Durchsätze
- Gute manuelle Erreichbarkeit jedes Lagerplatzes im langfristigen Störfall
- Sinnvolle mehrfachtiefe Lagerung durch schnelle Umlagervorgänge

Schwächen

- Behältergewicht im Durchschnitt bis 35kg, verstärkte Variante bis 50kg
- hoher Wartungsaufwand
- Mehrkosten für filigrane Technik
- Störungsanfällige Kommunikation
- Bei Liftausfall ganze Gasse betroffen
- Nur bis Behältergröße von 600x400mm einsetzbar

Leistung

- Gassenleistung bis 1000 Doppelspiele pro Stunde
- Shuttlegeschwindigkeit bis 1,5 m/s
- Shuttlebeschleunigung bis 0,7 m/s²
- Liftgeschwindigkeit bis 2,5 m/s
- Liftbeschleunigung bis 6 m/s²

Abbildung 20: Stärken-Schwächen-Analyse von Shuttlelager^{254,255,256,257,258}

5.3.3 Umlaufregale und Liftregale

Umlaufregale bieten eine dynamische Bereitstellung in ergonomischer Griffhöhe und reduzieren dabei die Wegzeit, die Greifzeit, den Flächenbedarf und die Diebstahlsicherheit. Sie schützen das Lagergut vor Umwelteinflüssen und Verschmutzung und verringern Kommissionierfehler durch Suchhilfen und Behälterausleuchtungen im Arbeitsbereich. Umlaufregale lassen sich durch eine Kombination mit (mobilen oder stationären) Terminals automatisieren. Sie sind für B- und C-Dreher gedacht und haben geringe Investitionskosten wenn bereits ein

²⁵⁴ Quelle: Eigene Darstellung

²⁵⁵ Vgl. Hoppel, M. et al. (2018), S. 79

²⁵⁶ Vgl. Cieplik, W., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/regalbediengerat-oder-shuttle.htm> (Zugriff: 21.12.2020)

²⁵⁷ Vgl. Diehn, M., <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/shuttlesysteme-vs-regalbediengerate-keine-frage-des-geschmacks.htm> (Zugriff: 29.12.2020)

²⁵⁸ Vgl. Irrgang, R., <https://www.mm-logistik.vogel.de/flexible-logistikmaschinen-a-956045/> (Zugriff: 30.12.2020)

Lagerverwaltungssystem vorhanden ist. Im Störfall ist kein direkter Zugriff auf das Lagergut möglich. Aufgrund der Wartezeiten beim Regalwechsel und des erhöhten Energiebedarfs (ganzes Lagergut bewegt sich beim Regalwechsel) sind diese Systeme nicht für hohe Durchsätze gedacht.²⁵⁹

Lifftregale bieten den Vorteil, dass das Lagergut nur bei der Ein- und Auslagerung bewegt wird. Die Zuladung pro Tablar ist mit 700kg nur gering höher als die von Umlaufregalen.²⁶⁰

Die Vorteile und Nachteile sowie die technischen Daten von Umlaufregalen und Lifftregalen sind in Abbildung 21 dargestellt.

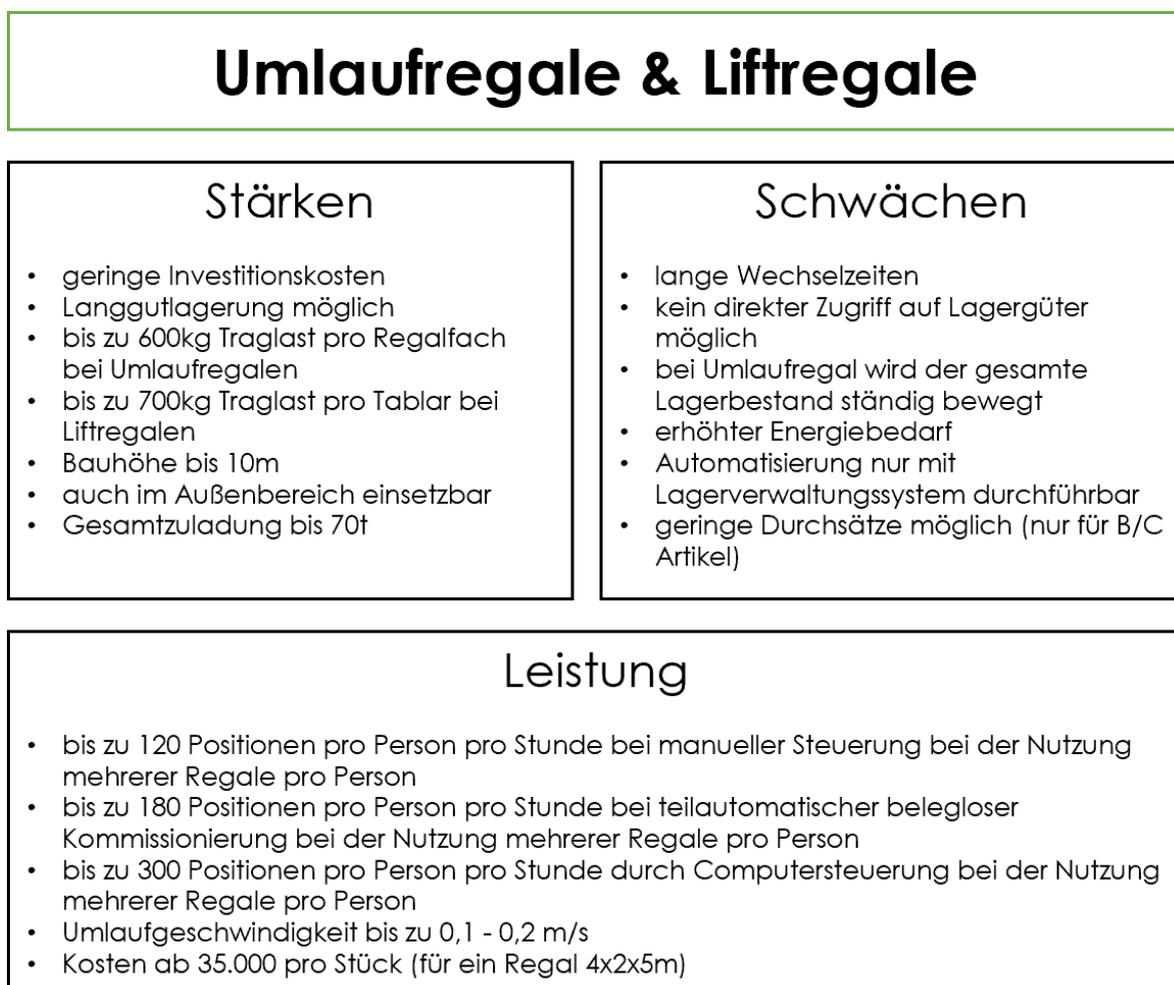


Abbildung 21: Stärken-Schwächen-Analyse von Umlauf- und Lifftregalen^{261,262,263}

²⁵⁹ Vgl. Martin, H. (2014), S. 369

²⁶⁰ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 89 f.

²⁶¹ Quelle: Eigene Darstellung

²⁶² Vgl. Martin, H. (2014), S. 369 f.

²⁶³ Vgl. Hompel, M. et al. (2018), S. 89 ff.

5.3.4 AutoStore

Der größte Vorteil des Autostore-Systems ist die hohe Volumennutzung. Durch den modularen Aufbau lässt es sich gut in bestehende Gebäude einpassen und ist flexibel erweiterbar.

Es kann bei hoher Sortimentsbreite und hohen Durchsätzen (wie z.B. in Distributionslagerhäusern von Fashion-Retailern) sehr kostspielig und unrentabel werden. Das beste Einsatzgebiet findet dieses System bei kleinem Sortiment und mittleren Zugriffszahlen. Hier punktet AutoStore mit hohem Automatisierungsgrad und hoher Volumennutzung.²⁶⁴

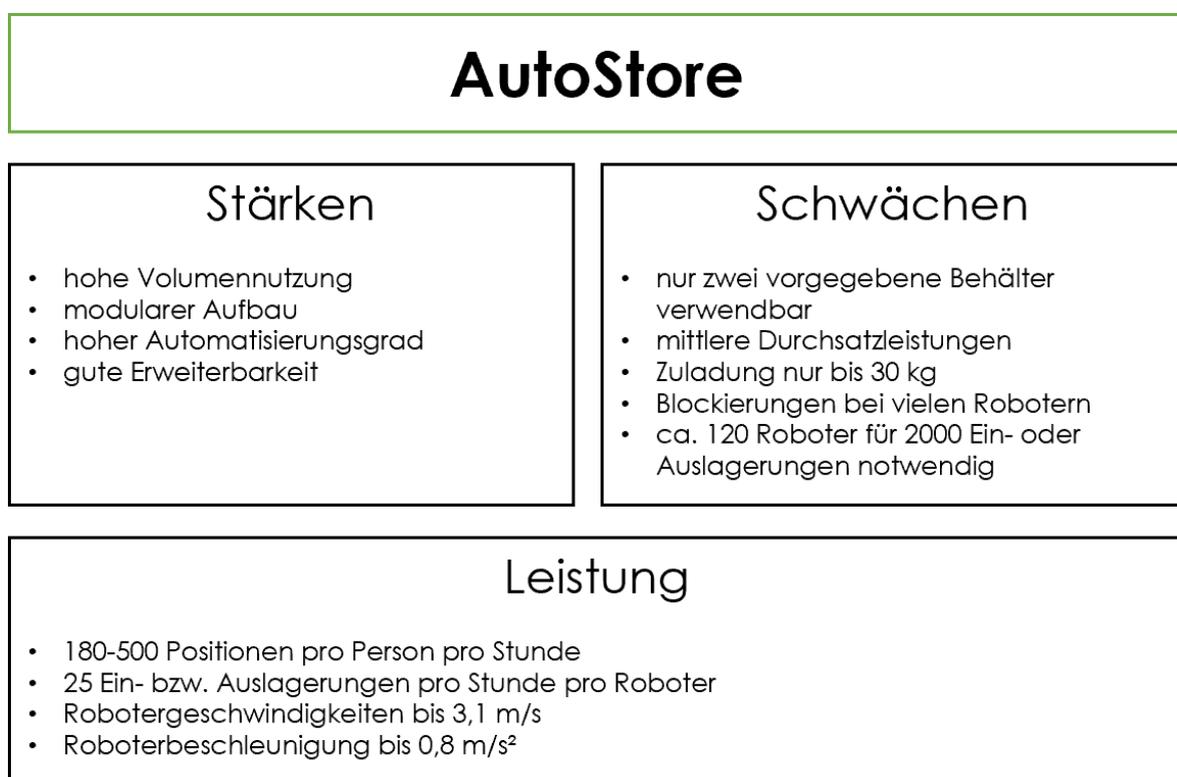


Abbildung 22: Stärken-Schwächen-Analyse vom AutoStore^{265,266,267}

In Abbildung 21 sind die wesentlichen Merkmale und Spezifikationen vom AutoStore-System angeführt.

²⁶⁴ Vgl. Klement, P., <https://logistikknowhow.com/lagerautomatisierung/autostore-lagertechnologie-aus-norwegen/> (Zugriff: 27.12.2020)

²⁶⁵ Quelle: Eigene Darstellung

²⁶⁶ Vgl. Klement, P., <https://logistikknowhow.com/lagerautomatisierung/autostore-lagertechnologie-aus-norwegen/> (Zugriff: 27.12.2020)

²⁶⁷ Vgl. Hoppel, M. et al. (2018), S. 72

5.3.5 Vollautomatisierte Kommissioniersysteme

Vollautomatische Kommissioniersysteme bieten die Möglichkeit, ohne menschliche Arbeitskraft rund um die Uhr Aufträge zu erfüllen. Sie stellen jedoch genaue Anforderungen an das Lagerverwaltungssystem und die Beschaffenheit der Artikel. Solche Systeme können besonders dann eingesetzt werden, wenn ganze Verpackungseinheiten (Schachteln, Boxen, Sackerl) in hoher Stückzahl kommissioniert werden.

Systeme wie die automatische Fachbodenregal-Kommissionierung haben den Vorteil, dass sie ein großes Sortiment bedienen können, da sie nicht ortsgebunden sind. Sie können jedoch aufgrund der mittleren Pickleistung nur für B- und C-Dreher angewendet werden. Die Pickleistung unterscheidet sich dabei stark je nach Ausführung des Systems.²⁶⁸

Roboter haben höhere Zugriffsleistungen als die automatische Fachbodenregal-Kommissionierung, sind jedoch ortsgebunden und auch nur auf ein begrenztes Artikelspektrum einsetzbar. Sie können allerdings kontinuierliche Leistungen bei schweren Gütern leisten, die für den Menschen manuell nicht mehr zu heben sind.²⁶⁹

Schachtkommissionierer sind eine Variante von vollautomatischen Hochleistungskommissionieranlagen. Sie sind für kleine Artikel mit kubischen Abmessungen gebaut und finden hauptsächlich in der Pharma- und Kosmetikindustrie ihre Anwendung.²⁷⁰

Die Abbildungen 23, 24 und 25 zeigen die Vor- und Nachteile sowie die wichtigsten Eckdaten von Systemen zur automatischen Fachbodenregal-Kommissionierung, stationären Kommissionierrobotern und Schachtkommissionierern.

²⁶⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 407

²⁶⁹ Vgl. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/logistikfuerunternehmen/lagerlogistik/roboter-automatisieren-die-stueckgutkommissionierung/> (Zugriff: 31.12.2020)

²⁷⁰ Vgl. Martin, H. (2014), S. 404

automatisches Fachbodenregal-Picking

Stärken

- hoher Automatisierungsgrad
- verschiedene Greifmechanismen möglich
- mittlere bis hohe Kommissionierleistung
- Pickroboter nicht ortsgebunden

Schwächen

- es können nur Artikel mit ähnlichen Abmessungen gegriffen werden
- hohe Investitionskosten

Leistung

- Kommissionierleistung 300 – 1200 Picks pro Stunde

Abbildung 23: Stärken-Schwächen-Analyse der automatischen Fachbodenregal-Kommissionierung^{271,272}

ortsfeste Kommissionierroboter

Stärken

- hoher Automatisierungsgrad
- verschiedene Greifmechanismen möglich
- mittlere bis hohe Kommissionierleistung
- gut für Palettenbau und Depalletierung geeignet
- Hubgewicht bis 800 kg

Schwächen

- Ortsfest
- pro Roboter nur eine geringe Anzahl an Aufgaben durchführbar

Leistung

- Kommissionierleistung 600 – 1200 Picks pro Stunde
- Bewegungsradius 2 – 4 m

Abbildung 24: Stärken-Schwächen-Analyse von stationären Kommissionierrobotern^{273,274,275}

²⁷¹ Quelle: Eigene Darstellung

²⁷² Vgl. Martin, H. (2014), S. 404 f.

²⁷³ Quelle: Eigene Darstellung

²⁷⁴ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 82

²⁷⁵ Vgl. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/logistikfuerunternehmen/lagerlogistik/roboter-automatisieren-die-stueckgutkommissionierung/> (Zugriff: 31.12.2020)

Schachtkommissionierer

Stärken

- sehr hohe Durchsatzleistungen
- sehr hoch Pickleistungen
- geringe Fehlerrate
- vollautomatisierte Hochleistungsanlage

Schwächen

- muss an eine Förderanlage angebunden werden
- pro Roboter nur eine geringe Anzahl an Aufgaben durchführbar
- nur für kleine, kubische Artikel möglich
- Identifikationssystem der Zielbehälter notwendig (Barcode)

Leistung

- Kommissionierleistung bis 10000 Picks pro Stunde
- Durchsatz bis zu 2500 Behälter pro Stunde
- Fehlerrate ~0,01%

Abbildung 25: Stärken-Schwächen-Analyse von Schachtkommissionierern^{276,277,278}

5.3.6 Kommissionierführungen

Kommissionierführungen helfen bei der Einführung der beleglosen Kommissionierung. Sie werden von Lagerverwaltungssystemen oder eigenen Kommissionierprogrammen gesteuert und finden sowohl beim Ware-zur-Person- als auch bei Person-zur-Ware-Prinzip ihre Anwendung. Verschiedene Kommissionierführungen können gegebenenfalls miteinander kombiniert werden (z.B. Terminals und Put-to-light).

Es ist schwierig, solchen Systemen genau Leistungsdaten zuzuordnen, da diese von den lokalen Gegebenheiten, den zu kommissionierenden Artikeln und dem Personal abhängen. Um Pickraten vergleichen zu können, werden die von Martin (2014) angeführten Leistungen wiedergegeben:

- Fachbodenregal bei eindimensionaler Fortbewegung 35 – 90 Zugriffe
- Fachbodenregal bei zweidimensionaler Fortbewegung 40 – 90 Zugriffe
- Palettenregal bei eindimensionaler Fortbewegung 50 – 100 Zugriffe
- Palettenregal bei zweidimensionaler Fortbewegung 40 – 90 Zugriffe
- Durchlaufregal bei eindimensionaler Fortbewegung 140 – 250 Zugriffe

²⁷⁶ Quelle: Eigene Darstellung

²⁷⁷ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 83 f.

²⁷⁸ Vgl. Martin, H. (2014), S. 404

- Durchlaufregal mit belegloser Kommissionierung 250 – 400 Zugriffe
- Umlaufregal bei eindimensionaler Fortbewegung 100 – 160 Zugriffe
- Schacht- und Kommissionierautomaten 4.500 – 10.000 Zugriffe²⁷⁹

Abbildung 26 zeigt eine Stärken-Schwächen-Analyse von Kommissionierführungen.



Abbildung 26: Stärken-Schwächen-Analyse von Kommissionierführungen^{280,281,282}

5.3.7 Automatisierte Transportfahrzeuge

Die Förderleistungen von AGVs sind im innerbetrieblichen Einsatz im Wesentlichen durch die vorherrschenden Sicherheitserfordernisse geprägt. Aus diesen ergeben sich meist begrenzende Höchstgeschwindigkeiten, Mindestabstände und Sperrzonen, in die das Fahrzeug nicht einfahren darf. Im Außenbereich eingesetzte AGVs agieren dagegen meist in abgesperrten Bereichen, wodurch sie eine wesentlich höhere Geschwindigkeit erreichen können.²⁸³

In Abbildung 27 sind Pro und Contra von fahrerlosen Transportsystemen angeführt.

²⁷⁹ Martin, H. (2014), S. 399

²⁸⁰ Quelle: Eigene Darstellung

²⁸¹ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 52 ff.

²⁸² Vgl. Martin, H. (2014), S. 394

²⁸³ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 220

fahrerlose Transportsysteme

Stärken

- Reduktion der Personalkosten
- modulare Erweiterbarkeit der Flotte
- gut kalkulierbare Leistung

Schwächen

- hohe Initialkosten
- Fahrzeuge nur einseitig einsetzbar
- geringe Flexibilität

Leistung

- Fahrgeschwindigkeit innerbetrieblich bis zu 2 m/s
- Lastaufnahme innerbetrieblich bis zu 2t
- Fahrgeschwindigkeit außerbetrieblich bis zu 10 m/s
- Lastaufnahme außerbetrieblich bis zu 30 t

Abbildung 27: Stärken-Schwächen-Analyse von automatisierten Transportfahrzeugen^{284,285}

5.4 Zwischenfazit

Wie eingangs erwähnt, widmet sich dieses Kapitel der Beantwortung folgenden Teils der Forschungsfrage:

- Welche Technologien zur Automatisierung von Lagersystemen sind verfügbar und worin unterscheiden sich diese?

Im oberen Kapitel sind die wichtigsten Grundsysteme der Lagerautomatisierung vorgestellt worden. Da es den Umfang dieser Arbeit überschreiten würde, alle Automatisierungssysteme zu beschreiben, ist darauf geachtet worden, Systeme auszuwählen, welche von vielen Systemproduzenten angeboten werden.

Vollautomatische Regalsysteme können sowohl für Klein- als auch für Großteile implementiert werden. Großteile werden ausschließlich mit Regalbediengeräten ausgeführt. Diese haben niedrigere Investitions- und Wartungskosten und können bei KLT höhere Gewichte managen. Shuttleanlagen sind durch ihre filigrane Technik teurer in der Beschaffung und Wartung und können aufgrund ihrer hohen Leistung mehrere logistische Tätigkeiten wie Konsolidierung und Sequenzierung abdecken. Das AutoStore-System bietet eine sehr hohe Volumenausnutzung, ist jedoch bei den Durchsatzleistungen im Mittelfeld einzuordnen.

²⁸⁴ Quelle: Eigene Darstellung

²⁸⁵ Vgl. Hompel, M. et al. (2011), S. 220

Lifftregale und Umlaufregale können bei B- und C-Artikeln eine günstige Möglichkeit der Lagerautomatisierung darstellen. Sie lassen sich in Lagerverwaltungssysteme einbinden und ermöglichen dem Bedienpersonal eine ergonomische Arbeitsweise.

Kommissionierautomaten lassen sich immer nur für bestimmte Güter einsetzen, können aber bei gleichbleibenden Produktabmessungen sehr hohe Kommissionierleistungen erreichen. Sie werden vorwiegend in der Pharma- und Kosmetikindustrie eingesetzt.

Kommissionierführungen bieten die Möglichkeit der beleglosen Kommissionierung, was die Kommissionierzeit reduziert und die Fehlerrate senkt. Kommissionierführungen werden oft bei Kommissionierstationen von automatisierten Lagersystemen eingesetzt und lassen sich miteinander kombinieren.

Automatisierte Transportfahrzeuge können im inner- und außerbetrieblichen Transport eingesetzt werden und sind gut kalkulierbare Transportmittel. Ihre Leistung hängt maßgeblich von den Umgebungsbedingungen und den Sicherheitsvorschriften des Unternehmens ab.

6 Lagerplanung (Warehouse Design)

Das Design großer, komplexer Systeme, wie z. B. Lagerhäuser, erfordert eine Vielzahl an Analysen, das Wissen von ExpertInnen sowie Methoden zur Organisation und Integration dieses Wissens. Während viele Modelle für die Optimierung einzelner Aspekte von Lagern existieren, gibt es bis heute keine umfassende Design-Methodik. Vor allem mangelt es an Methoden, die alle Designentscheidungen einbeziehen und die effektive Integration von Lösungen in eine vollständige Spezifikation des Lagersystems unterstützt.²⁸⁶

Aus diesem Grund widmet sich Kapitel 6 der Beantwortung folgender Unterfrage:

- Was sind die bekannten Methoden zur Gestaltung von Lagern?

6.1 Literaturzusammenfassung

Die Planung von Lager- und Transportsystemen muss wirtschaftlich durchgeführt werden, was bedeutet, dass sie mit möglichst geringem Zeit- und Arbeitsaufwand durchgeführt werden soll.²⁸⁷

Baker und Canessa²⁸⁸ (2009) haben in ihrer Arbeit, in der sie eine Literaturrecherche und Befragung von Lieferanten und Logistikberatungen durchgeführt haben, die

²⁸⁶ Vgl. Sprock, T. et al. (2017), S. 6331

²⁸⁷ Vgl. Fischer, W.; Dittrich, L. (2004), S. 15

²⁸⁸ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009)

verschiedenen Vorgehensweisen und Tools erforscht, die im Lagerdesign verwendet werden. Sie beziehen sich in ihrer Arbeit ausschließlich auf den Designprozess, der zeitlich gesehen vor der Ausschreibung und Angebotsbegutachtung der Systemlieferanten stattfindet. Der Anwendungsbereich für ihre Forschung ist die Planungsphase von dem Zeitpunkt an, an dem ein spezifischer Bedarf für ein Lager identifiziert wird (z.B. nach einer Überprüfung der Distributionsstrategie), bis hin zur Erstellung einer Betriebsspezifikation, in der z.B. Betriebsmethoden, Ausrüstung, Personalausstattung und Layout detailliert beschrieben werden.

Es gibt eine Reihe Gemeinsamkeiten, die in der von ihnen betrachteten Literatur zum Thema Lagerplanung vorkommen:

- Es wird anerkannt, dass das Lagerdesign sehr komplex ist
- Die Autoren lösen die Aufgabe durch ein schrittweises Vorgehen
- Diese Schritte sind miteinander verbunden und ein gewisses Maß an Wiederholung ist notwendig
- Es ist möglicherweise nicht möglich, die "optimale" Lösung zu identifizieren, da es bei jedem Schritt eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt.

Die Designmodelle werden generell als Prozess beschrieben, der in Schritten abläuft. Jeder Schritt beschreibt eine Aktivität, welche durchgeführt werden muss, um ein Lagerdesign zu entwerfen. Die Anzahl der Schritte pro Modell liegt in der ausgewerteten Literatur zwischen drei und vierzehn. Dieser Unterschied in der Anzahl kommt daher, dass in manchen Modellen die Aktivitäten einzeln angeführt sind und in manchen Modellen zu Gruppen zusammengefasst werden. Die meisten Modelle folgen jedoch einem gemeinsamen Muster, was an den ähnlichen Namen der Schritte erkennbar ist. Es ist erstaunlich, dass sich zwischen dem ältesten und dem jüngsten analysierten Modell 33 Jahre liegen und sich die Schritte der Modelle im Laufe dieser Zeit nicht stark verändert haben²⁸⁹

Die von Baker und Canessa (2009) befragten Firmen haben angegeben, dass sie die Aufgabe des Lagerdesigns ebenfalls in Schritten lösen. Sie geben acht oder neun Schritte an, die sich inhaltlich sehr mit denen der Literatur überschneiden. Außerdem kann festgehalten werden, dass befragten Firmen Tools für jeden genannten Schritt haben. Das ist in der begutachteten Literatur nicht der Fall. Die begutachteten Bücher

²⁸⁹ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009), S. 427 ff.

und Arbeiten der Literatur haben nicht für jede Aktivität ausgewiesene Arbeitshilfen geliefert. Zusammenfassend lassen sich die Schritte und verwendeten Tools der Literatur mit denen der Logistikfirmen kombinieren und in elf Schritten beschreiben.²⁹⁰

1. Systemanforderungen definieren

Die Definition bezieht sich auf das Gesamtsystem, innerhalb dessen das Lager betrieben wird und umfasst daher die Anforderungen der Geschäftsstrategie und die relevanten Einschränkungen, wie z.B. Planungs- und Umweltfragen. Dabei werden Checklisten zu Lagerrollen und Funktionen sowie Wettbewerbsvorteile analysiert und Szenarienplanungen durchgeführt.

Häufig verwendete Tools sind Checklisten und Software zur Planung und Steuerung logistischer Netzwerke.

2. Auswertungsdaten definieren

Je nach Art des Projektes werden erforderliche Daten definiert von den Fachabteilungen angefordert. Die befragten Unternehmen machen dies oft mit Checklisten, normalerweise werden jedoch Datenbanken und Tabellenkalkulationen verwendet und zur Analyse vorbereitet. Diese Daten sind meist Produktdetails, Auftragsprofile, Wareneingangs- und Versandmuster, Kostendaten und Standortinformationen. Auch Flussdiagramme können zur Informationsbeschaffung verwendet werden, falls solchen in ausreichender Qualität in dem Unternehmen vorhanden sind. Es ist eine gängige Vorgehensweise, die historisch extrahierten Daten mit den entsprechenden langfristigen Unternehmenszielen abzugleichen, um einen guten Planungshorizont entwickeln zu können.

Es werden neben den schon genannten Checklisten und Flussdiagrammen noch formelle und informelle Tabellenkalkulationen sowie Datenbankenmodelle verwendet.

3. Daten analysieren

Mit den extrahierten Daten werden normalerweise von Analytikern eine Reihe von Routinestatistiken berechnet, welche danach die/der KonstrukteurIn mit ihrer/seiner Erfahrung interpretiert und Schlüsse daraus zieht. Solche Statistiken beinhalten unter anderem:

- Kundenauftragsprofilierung (z.B.: Paletten-/Karton-/Artikelmix-Profile)

²⁹⁰ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009), S. 430

- Artikelaktivitätsprofilierung (z.B. Verteilung der Artikelpopularität und Verteilung der Bedarfsvariabilität)
- Bestandsprofilierung (z.B. Bestandsverteilung nach Pareto-Gruppe oder Handling Unit)
- Datumsprofilierung (z.B. Saisonalität und tägliche Aktivitätsverteilungen)
- Aktivitätsbeziehungsprofilierung (z.B. Wichtigkeit, dass bestimmte Funktionen in der Nähe anderer Funktionen liegen)
- Investitionsprofilierung (z.B. Lohnsätze und erforderliche Investitionsrendite)

Ebenso ist Benchmarking ein kritischer Teil dieses Prozesses. Die Befragten geben an, nicht im großen Stil auf die Verwendung von fortgeschrittenen mathematischen Techniken (z.B. lineare Programmierung) zu setzen, obwohl einige Techniken natürlich in den Tabellenkalkulationsmodellen enthalten sein können.

Neben den schon genannten statistischen Operationen werden auch hier Flussdiagramme und Tabellenkalkulationen verwendet.

4. Ladungsträger definieren

Die Wahl der Ladungsträger, welche einen großen Einfluss auf die Durchsatzleistung hat, kann von einem Unternehmen oft nicht isoliert getroffen werden. Es ist hingegen vielmehr eine Betrachtung der Supply Chain notwendig. Es kann beispielsweise erforderlich sein, bestimmte Ladungsträger mit KundenInnen zusammen abzustimmen. Lassen sich diese nicht in den Materialfluss integrieren, muss abgewogen werden, ob ein Umpackvorgang durchgeführt werden kann.

Dabei werden analytische und simulierende Hilfsmittel eingesetzt.

5. Betriebsabläufe und Methoden festlegen

Eine Vielzahl von Techniken wird von den Befragten verwendet, darunter Checklisten, Lagerzonierung, Technologiebewertungsdiagramme und Standardarbeitsverfahren. Es wird hervorgehoben, dass die Expertise der LagerdesignerInnen eine maßgebliche Rolle in diesem Prozess spielt. Ein Wissen über die im Unternehmen vorherrschenden Prozesse und deren Eigenheiten sowie der auf dem Markt angebotenen technischen Hilfsmittel ist unabdinglich. Ein wichtiger Teil dieses Schrittes ist die Entscheidung über die Zonen, in die das Lager eingeteilt werden soll (z. B. Zonen für verschiedene Produktgruppen, Temperaturregime oder Pareto-Klassifizierungen). Auch dies scheint der Erfahrung

der LagerdesignerInnen überlassen zu sein. Die Darstellung der täglichen Lagerflüsse kann dabei behilflich sein.

6. Mögliches Equipment und dessen Eigenschaften begutachten

Im Gegensatz zu einigen der vorherigen Schritte gibt es in der Literatur viele Werkzeuge, die bei der Bewertung von Gerätetypen helfen können. Dies spiegelt sich auch in der breiten Palette von Techniken wider, die von den Lagerplanungsunternehmen verwendet werden. Es kommen z.B. Entscheidungsbäume, Matrizen, SCOR-Bewertungen und Faktoranalysen zum Einsatz.

Ein schrittweiser Ansatz zur Gerätebewertung umfasst:

- Technologiebewertung auf hoher Ebene, basierend auf allgemeinen Faktoren wie dem Umfang des Betriebs und der erforderlichen Flexibilität
- Geräteattribute, um festzustellen, ob der Gerätetyp für die Anwendung geeignet ist
- Entscheidungsbäume
- Vollkostenvergleich, um alle mit den verbleibenden Optionen verbundenen Kosten zu berechnen
- Sensitivitätsanalysen, um festzustellen, ob die bevorzugten Systeme auch unter alternativen Geschäftsszenarien noch gut funktionieren
- Computersimulation, um die Effektivität des bevorzugten Systems unter verschiedenen Bedingungen (z. B. Kranausfall) zu testen

Die Eingrenzung der Optionen ist ebenfalls ein wichtiger Schritt, um unpassende Optionen zu verwerfen und somit die Designaufgabe zu vereinfachen. Sobald die undurchführbaren Optionen eliminiert worden sind, können analytische und Simulationsmethoden verwendet werden, um bestimmte Alternativen zu bewerten.

7. Berechnen der Gerätekapazitäten

Dies ist im Allgemeinen eine Frage der Berechnung und es werden in der Regel formale Tabellenkalkulationsmodelle verwendet, die auf Lagerflüssen basieren. Viele der Analyse- und Simulationsmethoden, die im vorherigen Schritt erwähnt worden sind, befassen sich tatsächlich mit den Gerätekapazitäten und -mengen sowie mit der weitergefassten Frage der Geräteauswahl.

In seltenen Fällen kann diese Aufgabe auch mit Simulationen durchgeführt werden.

8. Definieren der Haupt- und Nebenprozesse, die im System durchgeführt werden sollen

In der Literatur sind keine Tools für diesen Schritt beschrieben. Er scheint aus der Erfahrung der Lagerdesigner abgeleitet zu sein, manchmal formalisiert in Checklisten von Anforderungen.

9. Layoutentwürfe erstellen

Alle Befragten nutzen CAD-Programme, um Layouts zu erstellen. Besondere Beachtung wird dabei auf einen effizienten Materialfluss sowie die Möglichkeit zur Erweiterbarkeit des Systems gelegt.

10. Auswerten und beurteilen

In diesem Schritt geht es vor allem darum, die betriebliche und technische Machbarkeit der vorgeschlagenen Lösungen zu validieren, zu prüfen, ob sie die Anforderungen aus Schritt 1 (d. h. die ursprünglichen Anforderungen) erfüllen, und eine Bewertung der Kapital- und Betriebskosten vorzunehmen.

Dabei werden verschiedenste Formen der Simulation eingesetzt.

11. Bevorzugtes Design auswählen

Dieser Schritt ist im Grunde die Zusammenführung aller oben genannten Elemente zu einem kohärenten Entwurf, wobei z.B. die zu verwendenden Ladeeinheiten, die Arbeitsabläufe und -flüsse, die Informationssysteme, die Gerätetypen und -mengen, die internen und externen Layouts, der Personalbedarf und die Kosten ermittelt werden.

In der Literatur wird für diesen Schritt kein spezifisches Verfahren beschrieben, aber die Unternehmen für die Lagerplanung haben einige Beispiele sowohl für quantitative (z.B. finanzieller Business Case) als auch für qualitative (z.B. SWOT-Analyse) Methoden angegeben.²⁹¹

6.2 Hierarchischer Ansatz

Eine weitere Vorgehensweise beim Lagerdesign ist der hierarchische Ansatz. Dieser beschreibt die Entscheidungen, die bei der Auswahl von Lagersystemen getroffen werden müssen. Man kann unterscheiden, ob die Entscheidungen auf einer strategischen, taktischen oder operativen Ebene angesiedelt sind. Zum Beispiel gehören Entscheidungen über den Prozessablauf und den Automatisierungsgrad typischerweise zur funktionalen und teilweise zur technischen Spezifikation und sind strategischer Natur. Die Auswahl grundlegender Lagersysteme ist eine strategische,

²⁹¹ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009), S. 430 ff.

die Dimensionierung dieser Systeme und die Festlegung eines Layouts eine taktische Entscheidung. Detaillierte Steuerungsrichtlinien gehören typischerweise der operativen Ebene an. Die meisten Entscheidungen sind miteinander verknüpft. Ein hierarchischer Ansatz des Lagerdesigns spiegelt den zeitlichen Horizont der Entscheidungen wider. Langfristige Entscheidungen sind strategisch, mittelfristige Entscheidungen taktisch und kurzfristige Entscheidungen sind operativ. Die auf einer höheren Ebene gewählten Lösungen liefern Einschränkungen für den Designvorgang auf niedrigerer Ebene. Beginnend mit begrenzten Details wird ein erster grober Entwurf skizziert, während in den nachfolgenden Phasen dieser Entwurf verfeinert wird. Dies wird auch als Top-Down-Ansatz bezeichnet. Die ideale Entwurfsmethode gruppiert verwandte Probleme auf derselben Entwurfsebene und leitet eine Lösung ab, indem die verschiedenen Teilprobleme gleichzeitig optimiert werden, um ein globales Optimum zu erreichen. Es ist wichtig, die Beziehungen zwischen den Teilproblemen zu erkennen, um suboptimale Lösungen zu vermeiden.²⁹²

Auf der strategischen Ebene werden Entscheidungen betrachtet, die eine langfristige Auswirkung haben. Dies betrifft oft Entscheidungen, die hohe Investitionen mit sich bringen. Die beiden Hauptgruppen sind die Entscheidungen über die Gestaltung des Prozessablaufs und die Entscheidungen über die Auswahl der Lagersystemtypen.

Auf der taktischen Gestaltungsebene sind eine Reihe von mittelfristigen Entscheidungen zu treffen, die auf den Ergebnissen der im vorangegangenen Unterabschnitt besprochenen strategischen Entscheidungen basieren. Taktische Entscheidungen betreffen typischerweise die Dimensionierung von Ressourcen (Größe des Speichersystems, aber auch Anzahl der MitarbeiterInnen), die Festlegung eines Layouts und eine Reihe von organisatorischen Fragen. Die taktischen Entscheidungen haben eine geringere Auswirkung als die strategischen Entscheidungen, erfordern aber dennoch einige Investitionen und sollten daher nicht zu oft überdacht werden.

Auf der operativen Ebene müssen die Prozesse innerhalb der Beschränkungen ausgeführt werden, die durch die strategischen und taktischen Entscheidungen auf den höheren Ebenen festgelegt worden sind. Da Schnittstellen zwischen verschiedenen Prozessen typischerweise im Rahmen der Entwurfsprobleme auf der strategischen und taktischen Ebene behandelt werden, bedeutet dies, dass auf der operativen Ebene weniger Wert auf die Interaktion von Prozessen gelegt wird und diese daher unabhängig analysiert werden können. Die Hauptentscheidungen auf

²⁹² Vgl. Rouwenhorst, B. et al. (2000), S. 518

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Vorgehensweise zur Technologieauswahl
in der Lagerautomatisierung
dieser Ebene betreffen Zuweisungs- und Steuerungsprobleme von Personen und Geräten.

6.3 Zwischenfazit

- Was sind die bekannten Methoden zur Gestaltung von Lagern?

Folgendes kann zur vierten Teilfrage der Forschungsfrage dieser Arbeit genannt werden:

In der Literatur lassen sich viele Ansätze zur Entwicklung von Lagersystemen finden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die einzelnen genannten Schritte der Vorgehensweisen inhaltlich ähnlich sind. Jedoch kann aufgrund der Komplexität der Aufgabe und der unterschiedlichen Gegebenheiten in den Unternehmen keine genaue, allgemeingültige Vorgehensweise genannt werden. Vielmehr müssen die Schritte auf die individuellen Bedürfnisse des Projektes angepasst werden. Die Literaturzusammenfassung von Baker und Cessna²⁹³ (2009) ergibt elf aufeinanderfolgende Schritte, die die wichtigsten Tätigkeiten abdecken.

Eine weitere Möglichkeit ist der Top-Down-Ansatz, in dem strategische, operative und taktische Ziele genannt werden, welche nacheinander Entscheidungen mit langfristigen, mittelfristigen und kurzfristigen Auswirkungen treffen.

7 Vorgehensweise zur Technologieauswahl in der Lagerautomatisierung

Mit der Beantwortung aller Unterfragen in vorigen Teilen der Arbeit, kann darauf aufbauend die eigentliche Forschungsfrage beantwortet werden. Diese ist der Vollständigkeit halber hier noch einmal angeführt.

- Welche möglichen Technologien zur Lagerautomatisierung stehen der Firma Knorr-Bremse GmbH in Mödling zur Auswahl?
 - Was sind die wesentlichen Aufgaben und Bestandteile des Lagers?
 - Welche Kennzahlen zur Messbarkeit von Lagersystemen gibt es?
 - Welche Technologien zur Automatisierung von Lagersystemen sind verfügbar und worin unterscheiden sich diese?
 - Was sind die bekannten Methoden zur Gestaltung von Lagern?

²⁹³ Vgl. Baker, P.; Canessa, M. (2009), S. 430

7.1 Kennzahlensystem zur Lagerautomatisierung

Wie in Abschnitt 4.4.8.2 beschrieben, werden interaktive Kennzahlensysteme zur Lösung einzigartiger, komplexer und neuartiger Probleme verwendet. Ein solches System ist das Fundament der Vorgehensweise zur Technologieauswahl von Lagerautomatisierungslösungen. In diesem Kapitel soll nun diese Vorgehensweise erstellt und anschließend in Kapitel 8 an einem Beispiel getestet werden.

Folgende zwei Kennzahlen sollen das Modell beschreiben:

- Ladungsträgerbewegungen

Ladungsträgerbewegungen sind definiert als all diejenigen Bewegungen in und aus den Lagerbereichen eines Systems, sowie die systeminternen Transfers von Ladungsträgern zwischen einzelnen Stationen bzw. Prozessschritten. Die zeitliche Entkopplung zwischen Prozessen und Bereichen erfolgt durch Staukapazität (kurzfristig), Pufferkapazität (mittelfristig) und Lagerkapazität (langfristig). Je nach gewählter Technologie kann es hier zu Überlappungen kommen, z.B. Puffern in Lagerbereichen.

Ladungsträgerbewegungen sind in der Leistungskennzahl inkludiert, mit der Automatisierungslösungen bemessen werden. Stückgut wird vorwiegend auf Ladungsträgern befördert. Automatisierungskonzepte der Intralogistik basieren alle auf Ladungsträgertransporten. Die Ladungsträger sind mit Identifikationsmerkmalen (z.B. Barcodes, QR-Codes, RFID-Tags) ausgestattet und eindeutig erkennbar. Diese Identifikationsmerkmale werden dazu verwendet, um das Material, das transportiert werden muss, logisch mit dem Ladungsträger zu verknüpfen. Dem Lagerverwaltungssystem ist somit über die eindeutige Identifizierung des Ladungsträgers eine Steuerung des Materials möglich.

- Lager-, Puffer- und Staukapazitäten

Gibt an wie viele Einheiten eines gegebenen Ladungsträgers in bestimmten Bereichen in einem System Platz finden. Das heißt, es handelt sich im weiteren Sinne um eine Flächen- bzw. Volumenangabe, die notwendig ist, um einen gegebenen Lagerbestand abbilden zu können. Stellplätze können Lager-, Puffer- oder Stauplätze darstellen. Die Notwendigkeit für Lager-, Puffer- und Staukapazitäten kann für die Erhaltung der intralogistischen Flüsse sein oder durch die zeitliche Überbrückung von Bedarfen der Stakeholder entstehen.

Automatisierte Lagersysteme können im weitesten Sinn mit diesen beiden Kennzahlen bemessen werden. Die Herausforderung besteht nun darin, gemessene oder

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Vorgehensweise zur Technologieauswahl
in der Lagerautomatisierung
gewünschte logistische Anforderungen eines Systems in diese beiden Kennzahlen zu überführen.

7.1.1 Logistische Anforderungen

Zur Erfassung der Leistungsdaten wird das Lager in den drei Analyseebenen (siehe Abschnitt 4.5) in seine Teilbereiche und Teilprozesse unterteilt, um die Arbeitsweisen und Durchsätze aufzunehmen. Anschließend wird jeder Vorgang, der einen Zugriff auf einen Artikel, eine Einlagerung oder eine Auslagerung darstellt, als Ladungsträgerbewegung festgehalten. Es müssen alle Prozesse, die zusätzlich zu den Ein- und Auslagerungen stattfinden, wie zum Beispiel Kommissionierungen, Qualitätskontrollen, Umpackvorgänge, Serialisierungen, Verpackungen etc., in Ladungsträgerbewegungen umgewandelt werden. Beispielhaft kann festgehalten werden:

Eine Kommissionierung nach dem statischen Bereitstellungsprinzip (Abschnitt 3.5.1.1) läuft so ab, dass das Kommissionierpersonal sich zur Ware bewegt und dort den Artikel entnimmt. In einer automatisierten Lösung nach dem dynamischen Bereitstellungsprinzip würde dies bedeuten, dass die Ware in einem Ladungsträger zur Person gebracht wird, diese die Entnahme durchführt und der Ladungsträger danach wieder rückgelagert wird. Es werden also pro Kommissionierung mindestens eine Auslagerung und eine Einlagerung generiert. Enthält ein Ladungsträger (Quellbehälter) weniger Stücke des geforderten Artikels als kommissioniert werden müssen, muss ein weiterer Quellbehälter mit der gleichen Ware zum Entnahmeort transportiert werden, was zusätzliche Bewegungen auf der Anlage bedeutet. Es werden also mehrere Ladungsträger bei einer Kommissionierung bewegt.

Dieses Beispiel erklärt die Vorgehensweise, wie der Prozessschritt der Kommissionierung in Ladungsträgerbewegungen umzurechnen ist. Bei allen anderen Prozessteilschritten wird analog verfahren.

In automatisierten Lagersystemen wird Material vorwiegend in vorhin beschriebenen Ladungsträgern aufbewahrt. Die Abmessungen dieser Ladungsträger definieren wie groß die Stellplätze sein müssen. Für die Berechnung der Stellplatzkapazitäten wird das gelagerte Material in Äquivalente des genutzten Ladungsträgers umgerechnet. Dazu sind Informationen über bestandstrennende Kriterien, Anzahl und Volumen der Materialien notwendig, mit denen das Gesamtvolumen des Lagers bemessen werden kann. Obsolete Bestände, die durch eine Änderung der Nachfrage oder des

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Vorgehensweise zur Technologieauswahl
in der Lagerautomatisierung
Sortiments bzw. durch eine Überalterung des Lagermaterials entstehen, können
eventuell eliminiert werden.

Es ist darauf zu achten, dass nicht jedes Material in jedem Ladungsträger transportiert und gelagert werden kann. Es müssen unter Umständen mehrere Lösungen parallel entworfen werden.

Ein wesentlicher Schritt bei der Ermittlung der Lagerbewegungen ist die Frage, ob ein Prozess auf einer automatisierten Anlage gleich abzufließen hat wie in einem manuellen Lager. Ein großer Vorteil bei der Einführung von automatisierten Lösungen ist die Möglichkeit der Erneuerung von vorhandenen Prozessen. Dieses Process-Reengineering kann die Leistung eines Systems enorm beeinflussen.

Intralogistische Systeme unterscheiden sich alle in ihren Abläufen und Eigenheiten voneinander. Es ist demnach eine schwierige Aufgabe, eine generische Vorgehensweise zu entwickeln, die alle Prozessschritte auffasst und sie in automatisierungsrelevante Kennzahlen umwandelt. Grundsätzlich handelt es sich jedoch immer um ein internes logistisches System, in welchem ein gewisser Ablauf vorherrscht.

Abbildung 28 zeigt schematisch den Aufbau eines intralogistischen Systems.

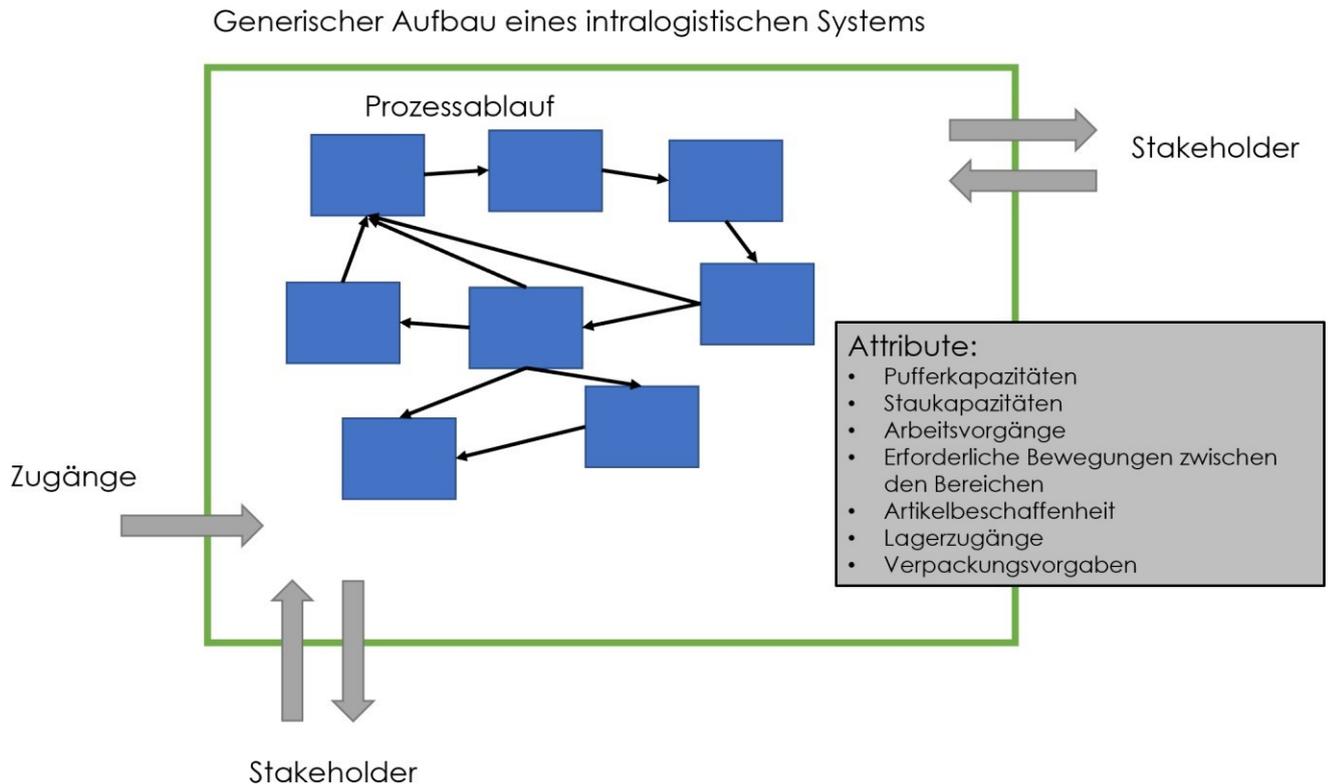


Abbildung 28: Beschaffenheit eines Intralogistiksystems²⁹⁴

Solche Systeme besitzen an ihren Grenzen eine oder mehrere Schnittstellen für Materialflüsse und Informationsflüsse. An diesen Schnittstellen können Stakeholder von dem System versorgt, das System von Lieferanten beliefert oder Informationen ausgetauscht werden.

Weiters weisen intralogistische Systeme Eigenheiten in Form von Attributen auf, welche gewissen Arbeitsweisen bedingen. Als Beispiel dafür können Puffervorgänge, Sequenzierungen, erforderliche Bewegungen über Systemgrenzen, Staukapazitäten in Bereichen des Systems oder Belegungsstrategien genannt werden. Ein Teil dieser Attribute kann unter Umständen durch Reorganisation, Elimination von obsoleten Prozessen oder Obsoleszenz durch die Automatisierung vom Vorgehen substituiert werden. Beispielsweise kann ein ausreichend performantes System manuelle Prozesse wie die Sortierung oder Sequenzierung von Ladungsträgern übernehmen, was den manuellen Prozess obsolet macht.

Es ist das Ziel, die Abläufe auf eine Ebene zu abstrahieren, in der der Materialfluss mit allen Attributen, die für die Lagerprozesse notwendig sind, bewertet werden kann.

²⁹⁴ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH

Vorgehensweise zur Technologieauswahl in der Lagerautomatisierung

Liegt bei den verantwortlichen Personen kein ausreichendes Prozessverständnis vor oder mangelt es an Auswertungsdaten in ausreichender Qualität, so müssen diese in einer Vorstudie erfasst werden. Dabei sind ausführliche Zeitaufnahmen jedes Prozesses notwendig. Zusätzlich zu den Zeitaufnahmen können MitarbeiterInnengespräche dabei helfen, die tatsächlichen Arbeitsweisen sowie häufig auftretende Probleme zu erfassen.

7.1.2 Nicht-logistische Anforderungen

Den oben erfassten logistischen Anforderungen sind anschließend die nicht-logistischen Anforderungen gegenüber zu stellen. Diese sind gewissermaßen Einschränkungen oder Nebenbedingungen, welche auf die logistischen Erfordernisse wirken.

Folgende nicht-logistische Anforderungen können auftreten:

- Budget
 - aus Personaleinsparungen
 - aus Produktivitätssteigerungen
 - aus Qualitätssteigerungen
 - als Weiterentwicklung des Unternehmens
- eingeschränkte Flexibilität von übergeordneten informationstechnischen Systemen (ERP, WMS)
- vorhandene Gebäude
- Beschäftigungsgrad der Region
- Gesetze
- Standortflexibilität des Unternehmens
- Einzuhaltende Payback-Period der Investition
- Automatisierungsziel
 - Produktivitätssteigerung (Erhöhung des Durchsatzes, Erhöhung der Fertigungsmenge, Erhöhung der Kommissionierleistung)
 - Kosteneinsparung durch beleglose Kommissionierung
 - Qualitätssteigerung
 - Verbesserung der Serviceleistung
 - Verbesserung der Produktqualität
 - Personaleinsparungen
 - Entlastung des Menschen von schwerer körperlicher Arbeit

- Sonstige Eigenheiten einer Branche oder eines Unternehmens

Sie müssen ebenso wie die logistischen Anforderungen ermittelt werden und in einem weiteren Schritt von diesen abgezogen werden.

7.2 Vorgehensweise

In diesem Abschnitt ist der Ablauf der Vorgehensweise beschrieben.

7.2.1 Erfassung der IST-Situation

Ausgehend von der IST-Situation sind die Lagerprozesse in den Lagerbereichen darzustellen. Zur Übersichtlichkeit kann ein Materialflusslayout zur Hand genommen werden. Die Aufteilung des Lagers in die Lagerbereiche und die Analyse der dort ablaufenden Arbeiten bietet eine übersichtliche und hierarchische Herangehensweise, bei der jeder Prozess einzeln betrachtet werden kann. Die Leistungsdaten jedes Ablaufes in den Lagerbereichen können in das Materialflusslayout übertragen werden. Des Weiteren ist darzustellen, mit welchen Stakeholdern das System interagiert und welche Anforderungen diese an das System stellen. Darüber hinaus sind die Systemgrenzen festzulegen.

Ziel des ersten Schrittes ist es, das Lagersystem mit seinen Teilprozessen abbilden zu können. Die Teilprozesse sollen mit Leistungsdaten versehen sein, um einen mengenmäßigen Überblick über das gesamte Lager zu bekommen. Ebenfalls sollen die Stakeholder und die Systemgrenzen des Lagergesamtsystems bekannt sein.

7.2.2 Anforderungen definieren

Nachdem die Leistungsdaten der Lagerprozesse erfasst worden sind, können die Kennzahlen und Merkmale des Systems erarbeitet werden. Dafür werden Materialflüsse und Daten prozessspezifisch, also gesondert, wie auch systemisch, also ganzheitlich, betrachtet. Eine prozessspezifische Datenanalyse lässt ablaufbedingte Eigenheiten erkennen, die ganzheitliche Betrachtungsweise führt dazu, dass nicht nur Teilbereichsoptimierungen durchgeführt werden.

Datenauswertungen beschaffen weiter Informationen zu den Abläufen der Prozesse. Insbesondere werden Artikelstrukturen, Auftragsgrößen und zeitlich auftretende Spitzen erforscht, welche dabei helfen, das automatisierte Lagersystem auf diese Abläufe auslegen zu können.

Ein weiterer Schritt ist die Definierung der nichtlogistischen Anforderungen. Diese können sich durch strategische Unternehmens- oder Konzernentscheidungen, geopolitische, geographische oder räumliche Einschränkungen, Ziele, Softwareanforderungen oder sonstige Gegebenheiten ergeben. In Abschnitt 7.1.2 sind weitere nicht-logistische Anforderungen angeführt.

Ziel des zweiten Schrittes ist es, mittels weiterer Analysen die logistischen und nicht-logistischen Anforderungen zu erfassen. In Abwägung beider kann eine erste Technologiewahl getroffen werden. Dabei können mehrere Systeme, einzeln oder kombiniert ausgewählt werden.

Abbildung 29 zeigt eine schematische Anordnung von Automatisierungstechnologien nach Ladungsträgerbewegungen und Lagerkapazität.

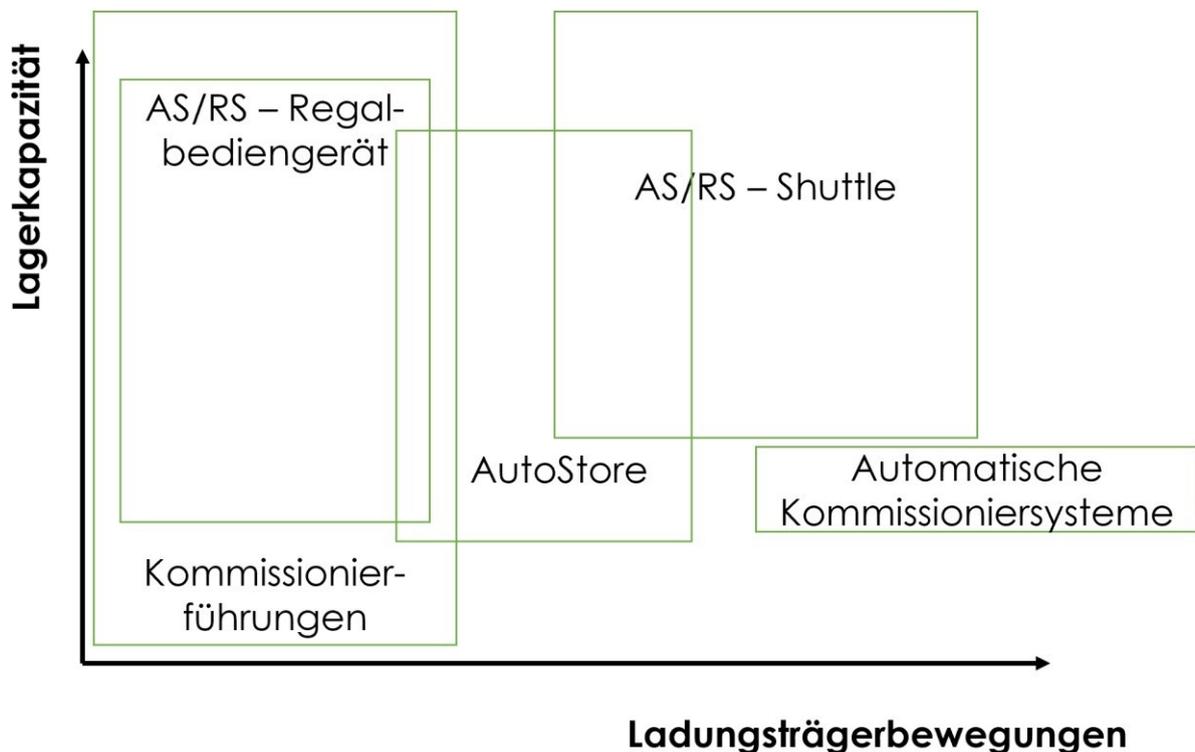


Abbildung 29: schematische Anordnung von Lagerautomatisierungstechnologien²⁹⁵

Erst über eine erste Technologieeinschätzung können anschließend die Sollprozesse genauer definiert werden, da sich die Arbeitsweisen der verschiedenen Systeme stark unterscheiden.

²⁹⁵ Quelle: Eigene Darstellung

7.2.3 SOLL-Prozesse erarbeiten

In diesem Teil sollen die Prozesse in automatisierter Form definiert werden. Dabei werden die Lagerprozesse vom Ist-Stand in eine automatisierte Durchführung übertragen. Der Ablauf von Aufgaben kann dabei verändert werden, Prozesse können vollständig oder zum Teil automatisiert werden und die Obsoleszenz von Arbeitsweisen durch Automatisierung kann auftreten.

Ziel dieses Abschnittes ist die Erarbeitung automatisierter Abläufe anhand von logistischen Vorgaben des IST-Standes und technischen Möglichkeiten von automatisierten Lagersystemen.

7.2.4 Technologieauswahl

Alle Auswirkungen von automatisierten Abläufen sind in Ladungsträgerbewegungen und Stellplätze zu überführen. Neue Gegebenheiten, die nicht genau berechnet werden können, müssen durch Erfahrung und Technologiewissen bestmöglich abgeschätzt werden.

Aus den daraus entstehenden Anforderungen kann eine Technologieentscheidung getroffen werden. Diese wird gegen die Optimierung eines Zieles oder mehrerer Ziele wie zum Beispiel Budget, Platz oder Durchsatz ausgelegt.

Um den bestmöglichen Nutzen aus einer Technologie ziehen zu können, ist nach der Auswahl das Gespräch mit mehreren Systemlieferanten zu suchen. Jeder Lieferant kann auf die individuellen Bedürfnisse eines Unternehmens anders eingehen und diese auf andere Weise erfüllen.

8 Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH

Dieses Kapitel soll die oben beschriebene Vorgehensweise anwenden, mit Daten befüllen und testen. Um das Modell mit realistischen Gegebenheiten der Industrie durchspielen zu können, werden dafür Daten der Knorr-Bremse Mödling GmbH verwendet.

Als erstes folgt eine kurze Firmenbeschreibung, anschließend die Anwendung des Modells und im letzten Teil die Technologiewahl anhand der identifizierten Kennzahlen und Prozesse.

8.1 Knorr-Bremse Mödling GmbH

Die Knorr-Bremse-Gruppe entwickelt und produziert Bremssysteme für Nutz- und Schienenfahrzeuge. Damit steht sie für weltweite Kompetenz auf diesem Gebiet. Die Knorr-Bremse-Gruppe liefert ihre Produkte an OEM im Nutz- und Schienenfahrzeugsektor und ist an über 100 Standorten in 30 Ländern vertreten. Zwei Divisionen teilen das Unternehmen nach ihren Produkten in *Division Nutzfahrzeuge* und *Division Schienenfahrzeuge* ein. Wenn in weiterer Folge von *Knorr-Bremse* gesprochen wird, ist damit immer die Division Schienenfahrzeuge gemeint. Diese beiden Firmen gehören zum selben Mutterkonzern (Knorr-Bremse AG mit Sitz in München), werden jedoch immer getrennt betrachtet.

Die Knorr-Bremse GmbH ist 1968 in Wien gegründet und 1976 nach Mödling bei Wien verlegt worden. Am Standort Mödling sind neben der Knorr-Bremse Rail auch die Firmen Zelisko GmbH (Verkehrs- und Elektroenergietechnik) und Skach GmbH (Systeme für Nutzfahrzeuge) beheimatet.

Hier werden Magnetschienenbremsen, Wirbelstrombremsen, Sandungs-Systeme, Wischer-Systeme, Gleitschutzventile, Luftfederungsventile, Führerbremssventile und verschiedene Wandler und Verkehrsmanagementsysteme entwickelt und hergestellt. In Mödling sind derzeit ca. 800 Menschen beschäftigt. Der Standort hat darüber hinaus die Entwicklungskompetenz vieler Produkte und die Marktkompetenz für ganz Osteuropa übernommen.

Die unten angeführte Grafik zeigt schematisch einen Teil der Produkte, die die Firma Knorr-Bremse GmbH herstellt.

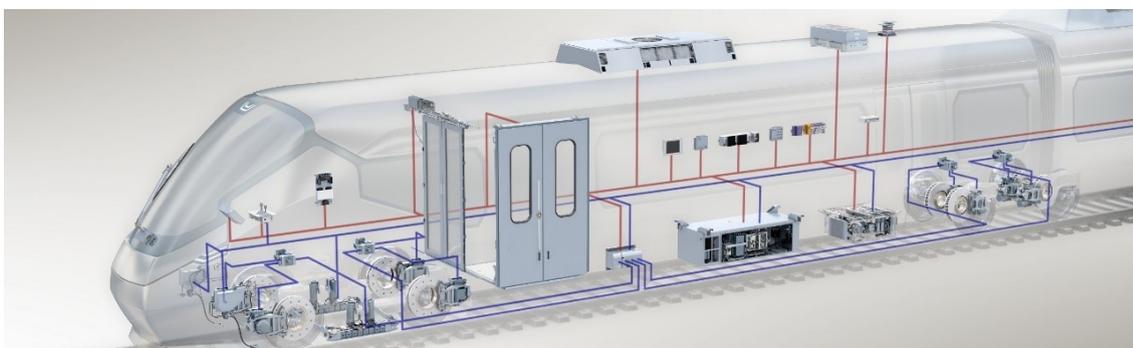


Abbildung 30: Produktportfolio der Knorr-Bremse für Zugsysteme

Die Automatisierungsstrategie von Knorr-Bremse in Mödling hat durch eine Potenzialanalyse des gesamten Standortes durch ein renommiertes Institut begonnen. Dieses hat besonders großes Potenzial in der Automatisierung des Lagers gesehen, woraufhin ein Projekt zur Umsetzung einer Lagerautomatisierung aufgesetzt worden ist.

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH

Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
Ebenjenes Potenzial der Lagerautomatisierung hat das Projekt vorangetrieben. Ein Projektteam mit Erfahrung auf dem Gebiet der Lagerautomatisierung hat aus vorhandenen Daten Informationen gewonnen und Erkenntnisse daraus gezogen. In einer Vorstudie sind Materialfluss- und Kommissionierdaten erhoben und Datenauswertungen angefertigt worden. In Gesprächen mit LagermitarbeiterInnen und Führungskräften ist der Arbeitsablauf aufgenommen worden, um einen tiefen Einblick in die Lagerprozesse zu bekommen. Das Unternehmen hat versucht, Knowhow aufzubauen, welches durch die manuelle Arbeitsweise nicht vorhanden gewesen ist, um möglichst versierte Entscheidungen treffen zu können.

Des Weiteren sind die verschiedenen Stakeholder am Standort in die Automatisierungsstrategie eingebunden worden. Die verschiedenen Anforderungen sind aufgenommen und in Workshops sind verschiedene Wege zur Belieferung aller Parteien erarbeitet worden. Die Stakeholder haben die Anforderung gehabt, keine Veränderungen im Ablauf durchzuführen, mit Ausnahme einer Verminderung der Durchlaufzeit.

Softwarelimitation und die Abbildung von Prozessen im ERP-Programm SAP sind mit externen und internen SAP-Spezialisten abgeklärt worden.

Anschließend sind Firmen aus ähnlichen Branchen besucht worden, um sich verschieden Konzepte der Lagerhaltung anzuschauen. Lieferantenbesuche und Workshops mit Lieferanten haben technische Einblicke und mögliche Optionen aufgezeigt.

Als eine Zielversion der Lagerautomatisierung werden eine weiterführende Anbindung mit AGV-Lösung, die Eliminierung der Konsolidierungsprozesse sowie Personaleinsparungen und eine Sicherung des Standortes Mödling genannt.

8.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Technologieauswahl in der Lagerautomatisierung soll nun am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH durchgeführt werden. Es folgt dem gleichen Ablauf wie in Abschnitt 7.2 angeführt.

8.2.1 Erfassung der IST-Situation

Das Lager in Mödling dient mehreren Unternehmen. Neben Knorr-Bremse, welche mit Produktions- und Versandware der größte Abnehmer von Material ist, werden auch drei weitere Unternehmen aus dem Lager versorgt (siehe 8.1).

Das Lager unterteilt sich in folgende Lagerbereiche (siehe Abbildung 31):

- Kleinteilelager (KTL) in blau
- Hochregallager (HRL) in grün
- Konsolidierungsbereich in rot
- Wareneingang in braun
 - Qualitätsprüfung in violett
- Verpackung und Versand in gelb

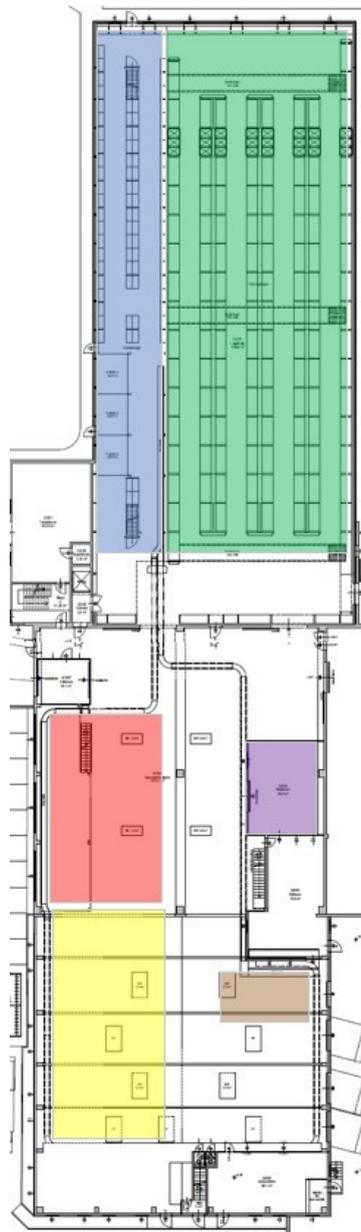


Abbildung 31: Lagerbereiche im Lagerhaus²⁹⁶

²⁹⁶ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH

Der Lagerblock selbst kann in zwei Teilbereiche unterteilt werden. Im Kleinteilelager finden Kleinladungsträger bis zu einer Größe von 600x400mm Platz. Wenn im Folgenden von KLT gesprochen wird, handelt es sich immer um einen SSI-Schäfer VDA KLT6421 mit den Abmessungen 600x400x21mm. Dieser Behälter wird im ganzen Knorr-Bremse-Konzern eingesetzt. Da der Konzern ebenso Bremssysteme für Nutzfahrzeuge herstellt, hat sich der in der Automobilindustrie beheimatete Behälter durchgesetzt. Im Hochregallager sind Paletten und Gitterboxen untergebracht. Das Kleinteilelager besteht aus einem Bereich mit Fachbodenregalen und einem Bereich mit Liftrregalen. Die Fachbodenregale sind auf vier Geschoßen übereinander angeordnet, im Bereich der Liftrregale stehen drei Regale nebeneinander. Das Hochregallager besteht aus vier Gassen, die mit Schmalgangstaplern bedient werden. Das Lager ist logisch in verschiedene Zonen geteilt. Jeder Gang im Hochregallager, jedes Geschoß im Fachbodenregal und jedes Liftrregal ist eine eigene Lagerzone. Die Kommissionierung läuft jeweils in den einzelnen Zonen ab, die Artikel eines Auftrages werden anschließend in der Konsolidierung zusammengeführt. Die Ablauforganisation kann als Typ (1 | M | 11) beschrieben werden.

Abbildung 32 zeigt die Aufteilung des Lagers in Liftrregale, Fachbodenregale und Hochregale.

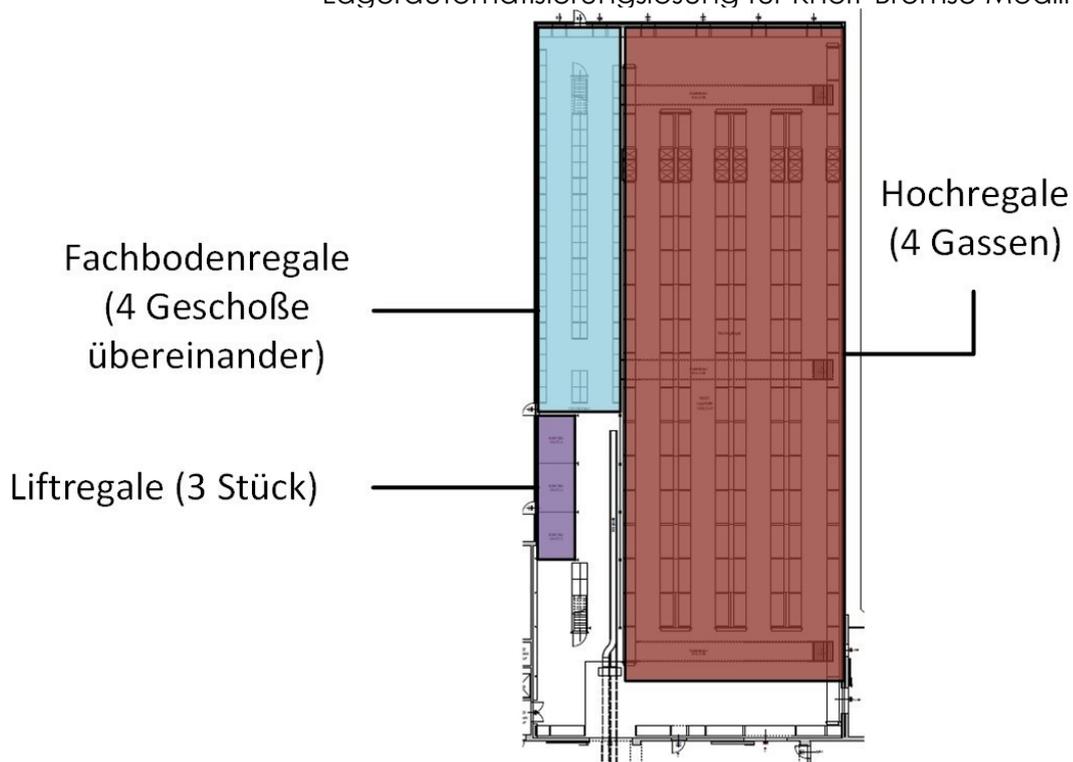


Abbildung 32: Aufteilung des Lagers in Teilbereiche²⁹⁷

Nun folgt eine Beschreibung der Arbeitsabläufe in den einzelnen Lagerbereichen.

8.2.1.1 Wareneingang

Angelieferte Ware wird vom Lieferanten entweder in Kartonagen oder KLTs auf Paletten angeliefert. Die angelieferten KLTs sind immer genormte VDA-Behälter, welche standardmäßig im ganzen KB-Konzern zum Einsatz kommen. Artikel, die nicht in solchen Behältern angeliefert werden, werden falls notwendig bei der Vereinnahmung in KLTs umgepackt. Die Vereinnahmung und Buchung der Anlieferungen erfolgt im SAP, hierbei wählen die MitarbeiterInnen den gewünschten Lagerbereich mit Lagerplatz (Hochregallager oder Kleinteilelager). Die KLTs werden nach erfolgter Buchung mit einem ausgedruckten Einlagerauftrag versehen. Vor der Eilagerung passieren die Waren noch die Qualitätskontrollen. Dabei kann zwischen einer Stichprobenüberprüfung und einer Überprüfung aller angelieferten Artikel unterschieden werden.

8.2.1.2 Fachbodenregale

KLTs, die ins Kleinteilelager eingelagert werden sollen, werden mittels Behälterfördertechnik in den jeweiligen Bereich transportiert. Die Ware wird von den BenutzerInnen an den von SAP angezeigten Lagerplatz eingelagert und auf einem

²⁹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
mobilen Terminal quittiert. Leerbehälter bleiben vor Ort und werden für kommissionierte Ware verwendet.

Freigegebene Kommissionieraufträge werden unter Einhaltung von strengem FIFO von den KommissioniererInnen nach im SAP definierten Regeln abgearbeitet. Die MitarbeiterInnen werden durch den Pick-Prozess ebenfalls über das mobile Terminal geführt. Die entnommenen Artikel jeder Auftragszeile werden in Greifschalen gelegt. Wie systemseitig für bestimmte Artikel vorgegeben, werden Angaben zu Serialnummern oder Herstelldaten im SAP erfasst. Erforderlicher Teileschutz wird im Bedarfsfall angebracht und jedes Material wird mit einer im SAP erzeugten und auf mobilen Druckern gedruckten Warenbegleitkarte versehen. Alle Greifschalen eines Auftrages werden zusammen in KLTs in den Konsolidierungsbereich befördert. Dies geschieht ebenfalls über Behälterfördertechnik.

8.2.1.3 Liftrigale

Einlagerungen für die Liftrigale werden ebenfalls wie im Fachbodenregal mittels Fördertechnik vom Wareneingang in das Kleinteilelager transportiert. Abgesehen vom Bereitstellungsprinzip der Liftrigale ist der Kommissionierablauf ident zu dem im Fachbodenregal.

8.2.1.4 Hochregallager

Waren deren Einlagerort das im Hochregal ist, werden von einem Stapler auf dem Vorplatz der zugewiesenen Hochregalgasse abgestellt. Dort wird die Palette von einem Schmalgangstapler zum vorgegebenen Regalplatz transportiert und auf einem mobilen Terminal quittiert.

Die Kommissionierungen für freigegebene Aufträge werden direkt vom Schmalpurstapler aus gepickt und werden ebenfalls mit einer Warenbegleitkarte versehen und auf einer Palette abgelegt. Handelt es sich um schwere und große Artikel, welche nicht vom Stapler aus kommissioniert werden können, wird die Palette ausgelagert und am Vorplatz des Regalganges kommissioniert. Auch Artikel aus dem Hochregallager werden anschließend in den Konsolidierungsbereich gebracht.

8.2.1.5 Konsolidierung

Kommissionierte Ware aus dem KTL und HRL wird, wie oben beschrieben, mittels Behälterfördertechnik oder Stapler in den Konsolidierungsbereich transportiert. Hier werden alle Artikel eines Produktionsauftrages zusammen auf Routenzüge oder Montagewägen konsolidiert. Dies geschieht, sobald alle Materialien eines Auftrages

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH aus den jeweiligen Lagerzonen gesammelt in der Konsolidierung bereit liegen. Anschließend werden die fertig bestückten Wägen in die Produktion transportiert. Die Zusammenstellung von Versandaufträgen wird ebenfalls im Konsolidierungsbereich abgewickelt. Der Konsolidierungsprozess wird ebenfalls unter der Führung von SAP auf mobilen Terminals durchgeführt.

8.2.1.6 Verpackung

Artikel, die nicht für einen Produktionsauftrag kommissioniert werden, werden in den Versandbereich transportiert, wo ein externer Dienstleister die Verpackung und Etikettierung übernimmt.

8.2.1.7 Innerbetrieblicher Transport

Tabelle 4 enthält Informationen zum innerbetrieblichen Transport.

Tabelle 4: Übersicht des innerbetrieblichen Verkehrs²⁹⁸

Innerbetrieblicher Transport	
Behältertransport (KLT)	Transport der Behälter vom Wareneingang zum KTL mittels Fördertechnik, Behälter werden aus dem Lager mittels Fördertechnik in den Konsolidierungsbereich transportiert. Danach mittels flurgebundenen Fahrzeugen am Routenzug in die Produktion gebracht.
Palettentransport	Palettentransport erfolgt im Lagerbereich mit flurgebundenen Fahrzeugen (Staplern)

8.2.1.8 Stellplätze

Die Anzahl der Stellplätze und weitere technische Informationen von Hochregallager und Kleinteilelager sind in den Tabellen 5 und 6 zusammengefasst.

Tabelle 5: Stellplätze und technische Informationen des Hochregallagers²⁹⁹

Hochregallager	
Lagertyp	Hochregallager mit elektrischen Schmalgangstaplern
Kommissionierung	Manuelle, auftragsbezogene Kommissionierung nach dem Person-zur-Ware Prinzip
Ladeeinheiten	- Europalette, Standardmaß 1200 x 800 x 144 mm, Gewicht 20-30 kg

²⁹⁸ Quelle: Eigene Darstellung

²⁹⁹ Quelle: Eigene Darstellung

	- Teilweise KLT mit Kleinteilen auf Paletten, diese werden bei Bedarf direkt am Lagerplatz kommissioniert - Stahlgitterboxen, Standardmaß 1200 x 800 mm
Stellplätze	3546 Stellplätze mit verschiedenen Höhen (750mm, 650mm, 1150mm, 1100mm)
Lagerfläche	Ca. 1050 m ² (HRL mit 4 Gassen)
Schicht	2-Schichtbetrieb

Tabelle 6: Stellplätze und technische Informationen des Kleinteilelagers³⁰⁰

Kleinteilelager	
Lagertyp	4 Stockwerke Fachbodenlager für Kleinteile, 3 Liftregale (Kardex Shuttles)
Kommissionierung	Manuelle Kommissionierung nach dem Person-zur-Ware Prinzip mit Hilfe von Mobile-Terminals bei Fachbodenlager, sowie Ware-zum-Person Prinzip mit mobilen Terminals bei Kardex Shuttles
Transporteinheit	- Lagerung von KLTs (600 x 400) in Regalfächern und 3 Kardex Shuttles
Stellplätze	Ca. 10.500 Stellplätze gesamt inkl. Kardex (600x400 Äquivalente)
Lagerfläche	Ca. 430m ² Grundfläche pro Geschoß, 4 Geschoße
Schicht	2-Schichtbetrieb

Das Kleinteilelager ist stark überfüllt, was nicht nur am Lagerfüllstand von 99% auffällt, sondern auch an den vielen Kleinteilen, welche im Hochregallager gelagert sind. Das schlägt sich negativ auf den Durchsatz des Lagers aus, da die Kommissionierzeiten im Hochregallager sehr hoch sind. Des Weiteren gibt es bereits externe Außenlager, welche bei starker Überfüllung von Kleinteile- und Hochregallager genutzt werden.

Zum Lagergut kann gesagt werden, dass es sich um eine Vielzahl verschiedener Artikel handelt - insgesamt über 32.500 verschiedene. Diese sind zum Großteil Kleinteile wie Schrauben, Beilagscheiben, Dichtringe, Magnetventile, Steckverbindungen usw. Die Großteile sind vorwiegend Blechbehälter, Sinterstücke, Zwischenglieder und Verpackungsmaterial.

³⁰⁰ Eigene Darstellung

8.2.1.9 Ladungsträgerbewegungen

Die Leistungsdaten der Lagerbereiche sind in Abbildung 33 dargestellt.

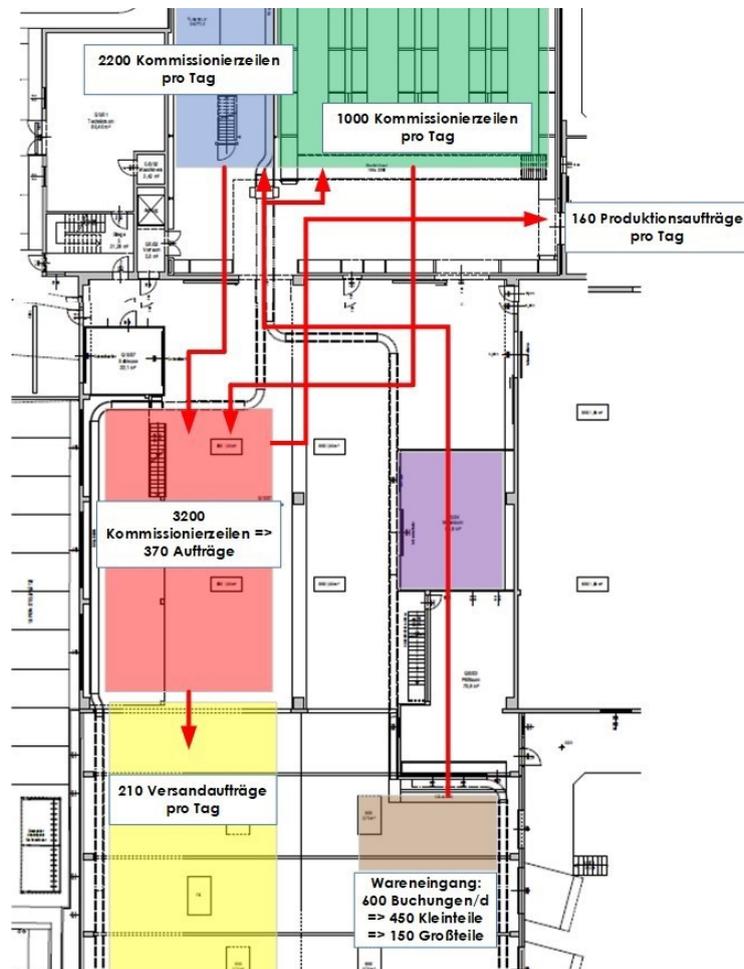


Abbildung 33: Leistungsdaten der Lagerbereiche³⁰¹

8.2.2 Anforderungen definieren

In diesem Schritt werden die Anforderungen definiert, welche das Lagersystem hat. Als erstes können die nicht-logistischen Anforderungen angeführt werden.

8.2.2.1 Nicht-logistische Anforderungen

Nicht-logistische Anforderungen sind die Einschränkungen, welche sich durch Unternehmens- oder Umwelteinflüsse ergeben. Folgende nicht-logistischen Anforderungen können bei diesem Projekt identifiziert werden:

- Gebäude
Das bestehende Gebäude ist 1990 in einer Silokonstruktion erbaut worden. Das bedeutet, dass die Dachlasten über die Regalstützen des Hochregales

³⁰¹ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH Technologieauswahl einer

Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH abgefangen werden. Da der Kleinteilebereich größer gemacht werden muss, ist es notwendig, einen statischen Umbau durchzuführen. Eine erste statische Abklärung hat ein maximales Freivolumen von 5,6x9,5x9,6 (LxBxH) Metern ergeben. Dieser Platz kann durch die Demontage einer Regalzeile des Hochregallagers und die Überleitung der Dachlasten durch Träger auf die nächste Regalzeile erreicht werden.

- SAP

Am Standort Mödling ist derzeit eine veraltete SAP-Version als ERP-System im Einsatz. Diese verfügt über kein Ladungsträgermanagement und kann somit mit keiner Ladungsträgeridentifizierung umgehen. Obwohl der Herstellersupport dieser Version von SAP mit Ende 2027 endet, wird der Standort Mödling vom Konzern voraussichtlich erst 2025 mit einer neueren Version ausgestattet. Die Softwareentwicklungen seitens SAP sind daher möglichst gering zu halten, da diese nicht garantiert in die neue Version importiert werden können.

- Payback-Period < 7 Jahre

Der Business-Case des Automatisierungsprojekts muss einen ROI nach Übernahme der Anlage in unter sieben Jahren ermöglichen. Dieser ist durch MitarbeiterInnenreduzierung zu erreichen. Berechnet wird die Einsparung nach Konzernvorgabe, die je nach Standort Personalkosten, Abschreibungen etc. unterschiedlich handhabt.

- Hochregallager soll manuell bleiben

Nach einer strategischen Entscheidung der Geschäftsführung am Standort Mödling ist es nicht angedacht, das Hochregallager in diesem Projekt zu automatisieren.

8.2.2.2 Datenauswertung

Nach dieser Vorarbeit im ersten Schritt des Modells können Datenanalysen durchgeführt werden, um einen besseren zeitlichen Überblick über die auftretenden Leistungen zu bekommen. Für ein tieferes Verständnis der Lagerprozesse werden zusätzlich die Artikelstruktur, die Auftragsstruktur und der Planungshorizont des Unternehmens analysiert. Weiters werden die Lagerplätze der Kleinteile und der Planungshorizont von Knorr-Bremse beleuchtet.

Zeitlicher Verlauf der Kommissionierleistung

In Abbildung 34 werden die vom Kleinteilelager durchgeführten Kommissionierzeilen im Verlauf der Zeit angeführt.

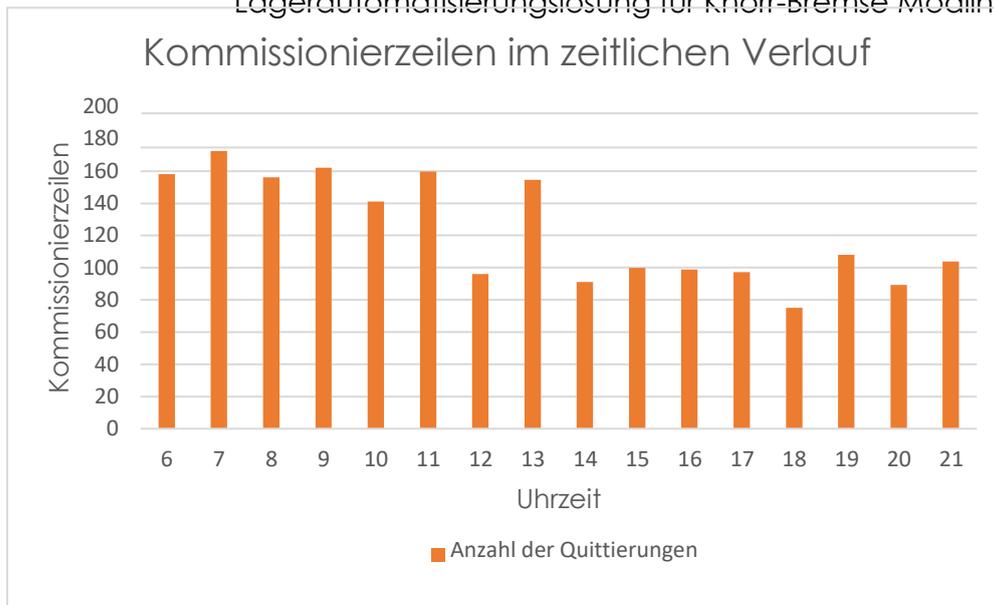


Abbildung 34: quitierte Kommissionierzeilen im zeitlichen Verlauf³⁰²

Wie in oberer Abbildung ersichtlich, ist die Anzahl an Kommissionierzeilen pro Stunde in der ersten Schicht (6-14 Uhr) höher als in der zweiten Schicht (14-22 Uhr). Es treten Spitzenwerte von über 170 Kommissionierzeilen pro Stunde auf.

In Relation zu den Kommissionierzeilen müssen die Anzahl der MitarbeiterInnen gestellt werden. In der ersten Schicht arbeiten abhängig von der Einteilung 12-14 Personen, in der zweiten Schicht 6-8 Personen. Geübte KommissioniererInnen schaffen pro Stunde bei günstigen Zugriffen (kleine Menge) etwa 30 Kommissionierzeilen pro Stunde. Mit Pausen, sonstigen unproduktiven Zeiten und vielen Aufträgen mit großen Stückzahlen kann von einer durchschnittlichen Kommissionierleistung von 13-17 Zeilen pro Stunde ausgegangen werden.

Das Unternehmen weist aufgrund des infrastrukturelevanten Sortiments keine saisonale Produktions- und Vertriebsschwankungen auf. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die erforderliche Kommissionierleistung über das Jahr hinweg gleichbleibt.

Artikelstruktur

Die ABC-Analyse aller Artikel im Lager ist in einem Auswertungszeitraum von einem halben Jahr gemacht worden. Dabei hat festgestellt werden können, dass es sich um eine klassische bis steile Struktur handelt. Die Hälfte der Materialien, die auf Lager liegen, sind für über 98% der Zugriffe verantwortlich.

³⁰² Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
Die ABC-Struktur ist in Abbildung 35 angeführt.

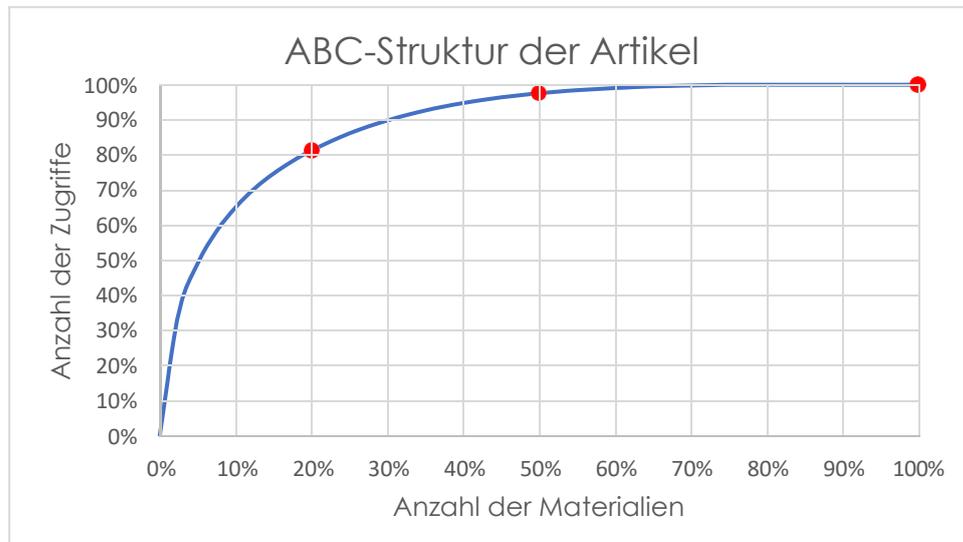


Abbildung 35: ABC-Analyse aller Artikel³⁰³

Bei entsprechender Lagerung der Artikel nach ihrer Drehung kann die Kommissionierzeit gesenkt werden. Für ein automatisiertes Lagersystem bedeutet das, dass eine entsprechende softwareunterstützte Einlagerstrategie schnelldrehende Artikel eher in Zugriffsnähe platzieren sollte, um eine verbesserte Auslagerleistung zu erreichen.

Weiters ist eine Betrachtung des Zeitverlaufes der ABC-Struktur angefertigt worden, wozu ein weiteres Halbjahr an Kommissionierdaten ausgewertet worden ist. Danach ist ausgewertet worden, wie die Artikel im Laufe der Zeit ihre Drehung ändern. Wie zu erkennen ist, bleibt ein Großteil der Artikel bei ihrer Drehung. Ein Übergang von A- zu C-Dreher und umgekehrt ist gar nicht vorhanden. Das bedeutet, dass es keine sprunghafte Änderung der Nachfrage bei den Artikeln gibt. Die Änderung der Drehungen je Gruppe ist in den Abbildungen 36-89 dargestellt.

³⁰³ Quelle: Eigene Darstellung

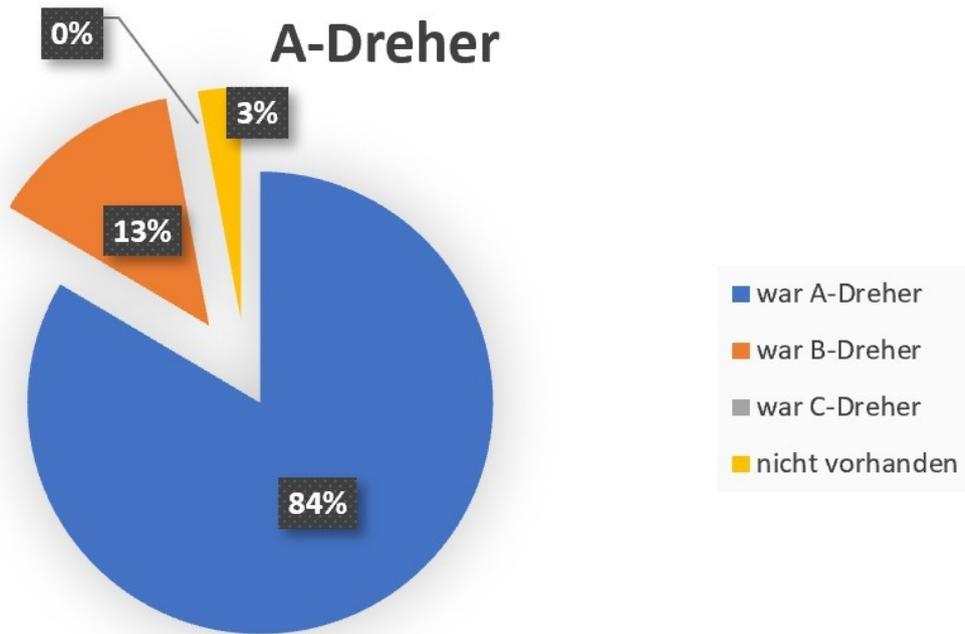


Abbildung 36: Zeitlicher Verlauf von A-Drehern³⁰⁴

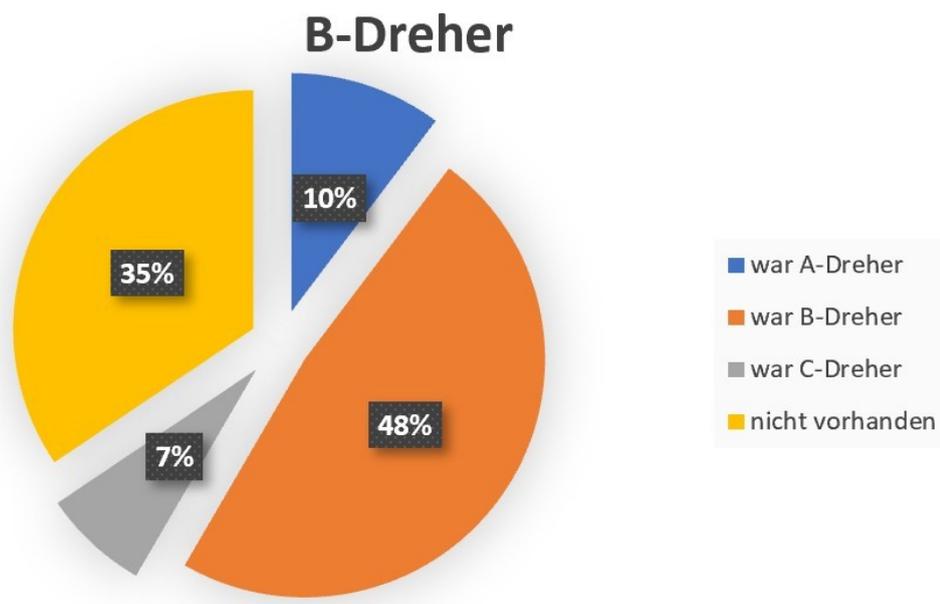


Abbildung 37: Zeitlicher Verlauf von B-Drehern³⁰⁵

³⁰⁴ Quelle: Eigene Darstellung

³⁰⁵ Quelle: Eigene Darstellung

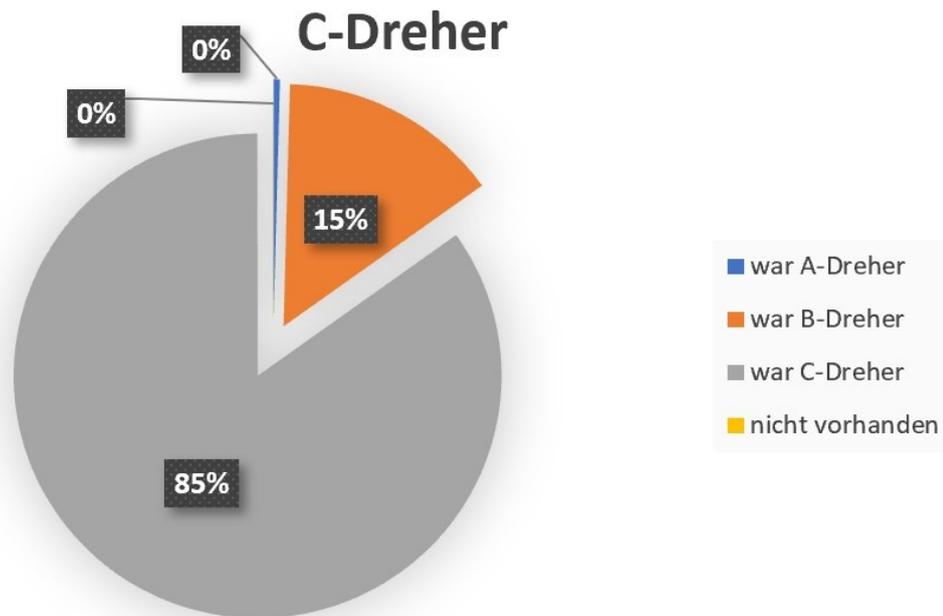


Abbildung 38: Zeitlicher Verlauf von C-Drehern³⁰⁶

Um das Lager auf überalterte Artikel zu prüfen, sind Kriterien für obsoleete Bestände definiert worden. Ein Artikel gilt als obsolet, wenn er vom Zeitpunkt der Auswertung aus rückwirkend 1,5 Jahre nicht mehr kommissioniert worden ist und keinen Bedarf für zukünftige Produktions- und Versandaufträge besteht. 3992 Artikel haben als obsolet markiert werden können. Das entspricht 12,3% aller Artikel im Lagerbestand. Obsolete Bestände sollten auf keinen Fall in ein automatisiertes Lager übertragen werden. Artikel, die als Ersatzteile für den Servicebereich aufgehoben werden müssen, werden im Hochregallager zusammen auf Paletten archiviert. Der restliche Teil der obsoleten Bestände wird verschrottet.

Kleinteile im Hochregallager

Eine Betrachtung der gelagerten Artikel im Hochregallager hat ergeben, dass viele Kleinteile auf Paletten eingelagert werden. Um die Zugriffszeiten erhöhen zu können, ist bei der Automatisierung eine Vergrößerung des Kleinteilelagers zu berücksichtigen. Aufgrund der unzuverlässigen Stammdaten im Hochregallager hat eine optische Begutachtung aller Artikel im Hochregallager durchgeführt werden müssen. Diese Begutachtung aller Großteile im Hochregal hat ergeben, dass ca. 2.500 Kleinladungsträger zusätzlich ins Kleinteilelager umgelagert werden müssen. Das ergibt eine Mindestanforderung der Stellplätze im Kleinteilelager von 13.000 KLT-Äquivalenten (10.500 + 2.500; siehe 8.2.2.1).

³⁰⁶ Quelle: Eigene Darstellung

Planungshorizont des Unternehmens

Knorr-Bremse Mödling GmbH plant mit einem jährlichen Umsatzwachstum von 5%. Die Automatisierungsstrategie von Knorr-Bremse Mödling ist den Auswirkungen dieses Wachstums ebenfalls ausgesetzt. Ziel ist es, dass ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme die Anlage für zehn Jahre diesen Anforderungen genügt. Auswirkungen hat dieser Plan auf die Anzahl der Stellplätze sowie die Anzahl der Kommissionierungen, die über die Anlage abgehandelt werden. Jedoch kann die Wachstumsrate des Umsatzes nicht direkt auf die Auswirkungen im Lager umgeschlagen werden. Höhere Produktionszahlen bedeuten nicht immer die Produktion neuer Produkte. Vielmehr werden schon vorhandene Produkte mehr verkauft, woraus eine höhere Einkaufsmenge und ein höheres Lagervolumen der vorhandenen Artikel resultiert. Auch bei den Kommissionierungen kann aufgrund erhöhter Losgrößen angenommen werden, dass sich das Unternehmenswachstum nicht 1:1 auf die Lagerbewegungen auswirkt. Eine Umrechnung aus der Industrie empfiehlt für das Lagerwachstum die Wurzel des Umsatzwachstums anzunehmen. Das wäre in diesem Fall 2,24% - es wurde aus Sicherheitsgründen jedoch mit 2,5% Wachstum der Stellplätze und des Lagerdurchsatzes gerechnet.

Auftragsstruktur

Produktionsaufträge machen ca. 43% aller Aufträge aus. Obwohl die Anzahl der Versandaufträge höher ist, sind Produktionsaufträge für 75% der Kommissionierungen verantwortlich.

Um die Kommissionierzeiten und daraus folgend die Auslagerleistung zu den Stationen berechnen zu können, ist eine Auswertung über die zu kommissionierenden Stück pro Kommissionierzeile erstellt worden.

Wie in Abbildung 41 dargestellt, müssen bei einem Großteil der Kommissionierungen (74%) weniger als 10 Stück eines Artikels gezählt werden. Mittlere (10-30 Stück) Stückzahlen bei Kommissionierzeilen kommen zu 15% vor, den Rest stellen Kommissionierzeilen mit großen Stückzahlen (>30 Stück).

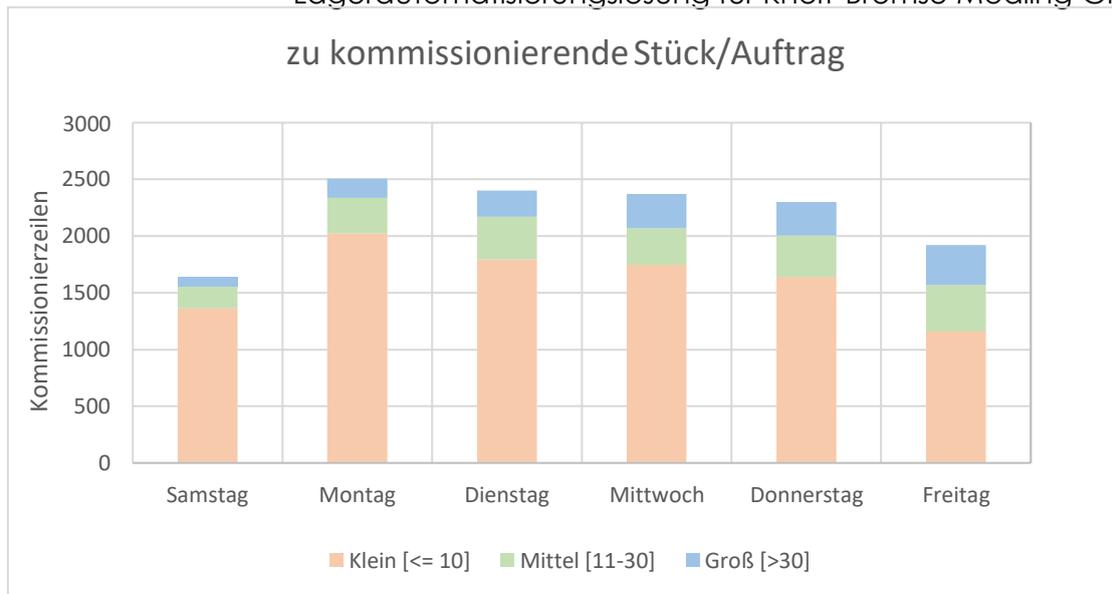


Abbildung 39: zu kommissionierende Stückzahlen pro Kommissionierzeile³⁰⁷

Es sind ausführliche Zeitstudien durchgeführt worden, um die Kommissionierzeiten der MitarbeiterInnen für die Automatisierungslösung berechnen zu können. Tabelle 7 zeigt die Greifzeiten für kleine, mittlere und große Stückzahlen bei der manuellen Fachbodenkommissionierung, geführt mittels mobiler Terminals nach dem Person-zur-Ware Prinzip.

Tabelle 7: Greifzeiten nach zu kommissionierender Menge im Fachboden³⁰⁸

Stückzahl	Anteil an gesamten Kommissionierzeilen	Greifzeit [s]
Klein [≤ 10]	74 %	11,9
Mittel [11-30]	15 %	20,6
Groß [>30]	11 %	53,5
Durchschnitt gewichtet	-	17,78

Aus durchgeführten Zeitstudien lassen sich nach der gleichen Vorgehensweise die Greifzeiten nach dem dynamisch Ware-zur-Person Bereitstellungsprinzip ableiten. Diese Zeitstudien sind in Anlehnung an die Literatur an die Eigenheiten der Prozesse bei Knorr-Bremse angepasst, um sinnvolle Aufteilungen der Kommissionierzeiten aufzunehmen. Die Greifzeiten zu Stückmengen im Fachbodenregal und am Liftregal sind in den Tabellen 7 und 8 erläutert.

³⁰⁷ Quelle: Eigene Darstellung

³⁰⁸ Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 8: Greifzeiten nach zu kommissionierender Menge am Lifftregal³⁰⁹

Stückzahl	Anteil an gesamten Kommissionierzeilen	Greifzeit [s]
Klein [≤ 10]	74 %	8,0
Mittel [11-30]	15 %	15,6
Groß [> 30]	11 %	22,3
Durchschnitt gewichtet	-	10,71

Daraus ist erkennbar, dass ein Ware-zur-Person-Bereitstellungsprinzip die Greifzeiten stark reduziert. Die Kommissionierabläufe im Vergleich mit einer automatisierten Lösung sind für Fachbodenregal und Lifftregal in den Abbildungen 40 und 41 angeführt. In beiden Fällen ist eine drastische Reduktion der Kommissionierzeit durch entfallene Wartezeit oder Wegzeit anzunehmen. Diese sind aufgrund von Elimination von Tablarwechsel im Lifftregal sowie Wegzeiten, Vorbereitungsarbeiten und Verbringung der Ladungseinheiten zur Fördertechnik. Weiters kann erwartet werden, dass der Druck der Warenbegleitkarte über ein Lagerverwaltungssystem deutlich beschleunigt wird. Die Warenbegleitkarte wird derzeit im SAP-System vor dem Druck generiert, was lange Wartezeiten (5 Sekunden) mit sich bringt.

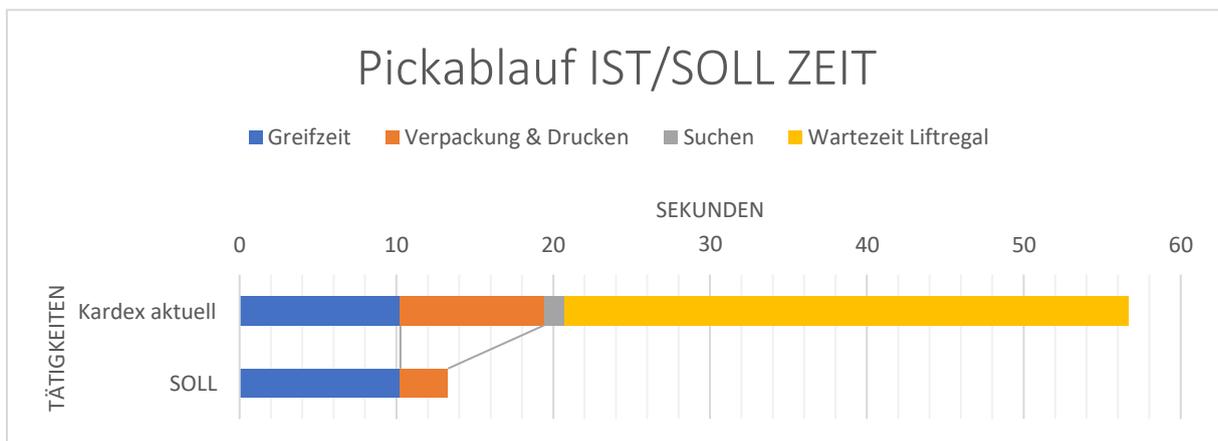


Abbildung 40: Vergleich der Kommissionierzeiten am Lifftregal³¹⁰

³⁰⁹ Quelle: Eigene Darstellung

³¹⁰ Quelle: Eigene Darstellung

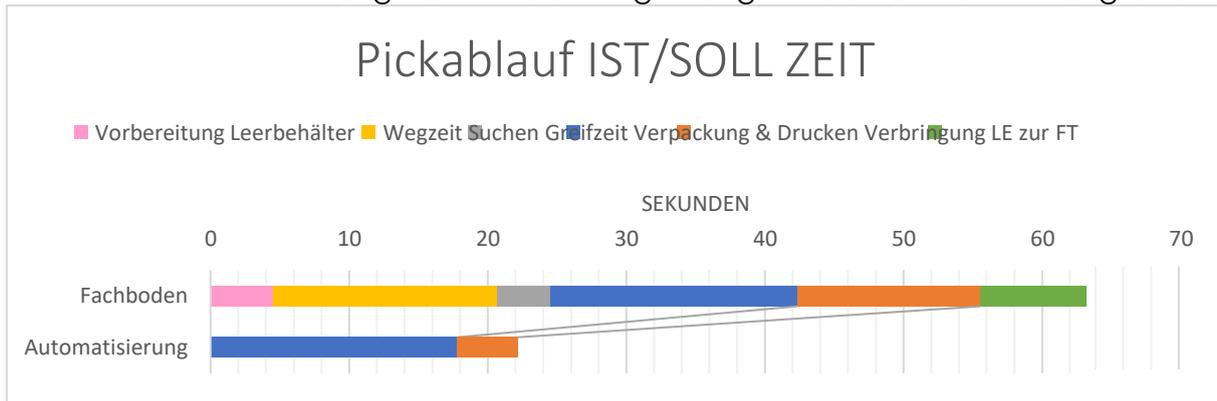


Abbildung 41: Vergleich der Kommissionierzeiten im Fachbodenregal³¹¹

8.2.2.3 Zusammenfassung der Eckdaten

Durch die nicht-logistischen Anforderungen können von Anfang an Automatisierungstechnologien eliminiert werden. Aufgrund einer strategischen Entscheidung soll das Hochregallager in diesem Projekt nicht automatisiert werden. Die Anlage soll so konzipiert werden, dass sie kompatibel für AGVs ist, die Automatisierung des innerbetrieblichen Transportes wird jedoch ebenfalls nicht in diesem Projekt durchgeführt.

Vollautomatische Kommissioniersysteme können aufgrund des breiten Artikelsortiments und der unterschiedlichen Form der Artikel ausgeschlossen werden.

Die beleglose Kommissionierung ist bereits durch die Kommissionierführung mit mobilen Terminals im Einsatz. Aufgrund der hohen Artikelanzahl ist ein manueller Schnelldreherbereich mit stationärer Kommissionierführung (Pick-to-light) für die Reduzierung der Personalkosten nicht zielführend. Bei durchschnittlichen 250 Artikel pro Station in einem Schnelldreherbereich würden für alle A-Dreher 26 Stationen notwendig sein, womit sich keine Personaleinsparung erzielen lässt. Des Weiteren müssten die Teile aus verschiedenen Lagerbereichen weiterhin konsolidiert werden.

Mit den oben genannten Spitzenwerten von 172 Kommissionierungen pro Stunde und einem vergrößerten Lagervolumen durch die Umlagerung von Kleinteilen aus dem Hochregallager in das Kleinteilelager kommen nur mittel bis hoch performante Anlagen zur Auswahl. Eine Steigerung der Kommissionierleistung um 2,5% jährlich ergibt auf den gegebenen Zeithorizont 215 Kommissionierungen pro Stunde in der Spitze. Mit mindestens zwei Ladungsträgerbewegungen pro Kommissionierung sind die

³¹¹ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
 Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
 Leistungsanforderungen mit 430 Ein- und Auslagerungen pro Stunde schon im oberen Mittelfeld.

Verschiedene Alternativen sind begutachtet worden, aufgrund der Leistungszahlen sind für die weitere Berechnung ein AutoStore-System und ein AS/RS-Shuttlesystem als Automatisierungstechnologien berücksichtigt worden.

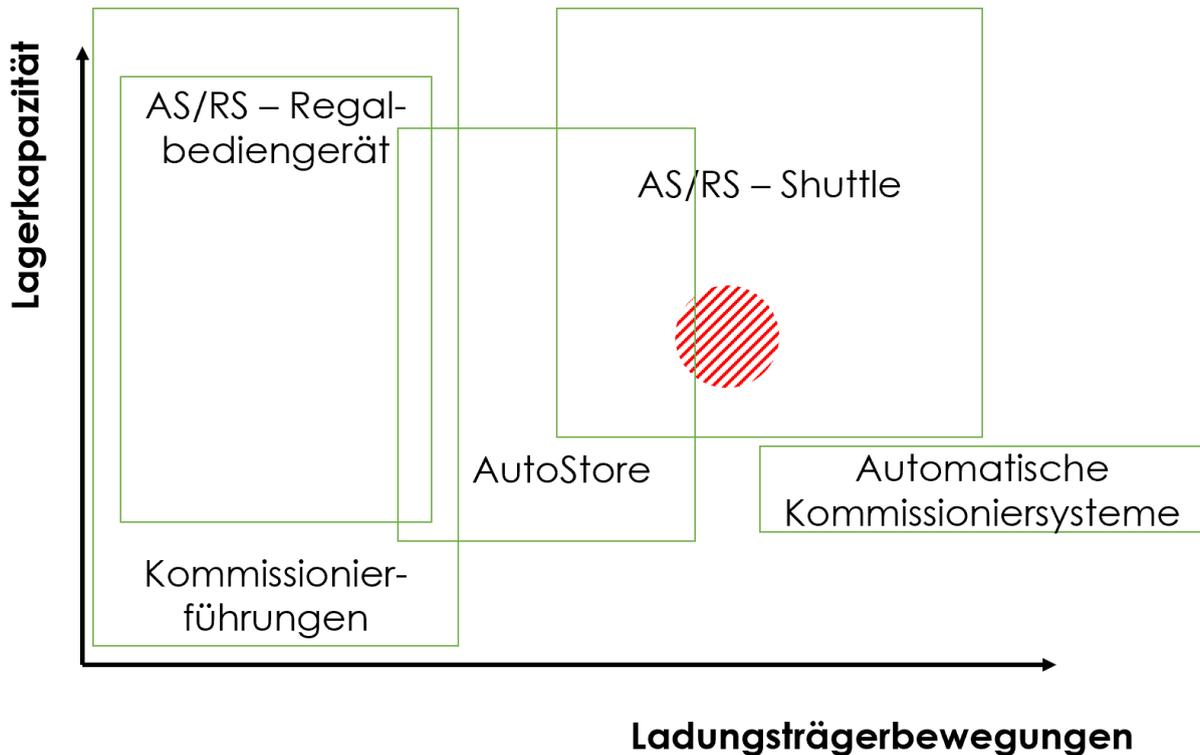


Abbildung 42: Technologieübersicht mit erwartetem Wirkungsbereich³¹²

8.2.3 SOLL-Prozesse definieren

Bei der Übertragung der IST-Prozesse in eine automatisierte Form werden aus den Leistungsangaben durch mögliche Abänderungen der Prozessschritte die SOLL-Prozesse definiert, welche dann durchgerechnet werden.

Kommissionierungen im Durchschnitt

Bei einer automatisierten Lösung wird sich das Bereitstellungsprinzip zu einem Ware-zur-Person-Prinzip ändern. Für eine Berechnung der Ladungsträgerbewegungen müssen dafür die für die Kommissionierungen notwendigen Ein- und Auslagerungen berechnet werden. Aus den Kommissionierabläufen ist bekannt, dass durch das Einhalten von strengem FIFO pro Kommissionierung im Schnitt 1,26 Lagerplätze angesteuert werden müssen. Für eine automatisierte Lösung bedeutet das, dass 1,26

³¹² Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH Technologieauswahl einer

Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH Behälter pro Kommissionierzeile ausgelagert werden müssen. Im schlechtesten Fall wird aus einem sogenannten Quellbehälter nur für einen Auftrag kommissioniert. Quellbehälter müssen nach der Kommissionierung wieder in das System zurückgelagert werden. Die Behälter, in die kommissioniert wird, werden Zielbehälter genannt. Des Weiteren wird angenommen, dass sich die Kommissionierungen ebenfalls um 2,5% jährlich erhöhen, was tägliche 2747 Kommissionierzeilen in zehn Jahren ergibt.

Bei Kleinteilen ist ein Quelle-Ziel-Verhältnis von 9:1 bekannt, was bedeutet, dass im Schnitt neun Kommissionierzeilen in eine Quelle gepickt werden.

Tabelle 9: Umrechnung der Lagerleistung in Ladungsträgerbewegungen³¹³

Kommissionierungen pro Tag	Auslagerungen Quellbehälter pro Tag	Einlagerungen Quellbehälter (worst case 1:1) pro Tag	Auslagerungen Zielbehälter pro Tag	Ladungsträgerbewegungen gesamt pro Tag
2747	3461	3461	305	7227

Konsolidierung

Ebenso soll die Konsolidierung automatisch durchgeführt werden. Das kann durch eine Zwischenpufferung der kommissionierten Waren in den Zielbehälter im System geschehen. Sind alle Behälter eines Auftrages im Lager eingetroffen, kann der ganze Auftrag zusammen ausgelagert werden. Diese Automatisierung des Konsolidierprozesses würde sich folgendermaßen, wie in Tabelle 10 beschrieben, auf die Ladungsträgerbewegungen auswirken (Annahme Arbeitszeiten zweischichtig á 8 Stunden).

Tabelle 10: Erweiterung der Leistung durch Automatisierung des Konsolidierungsprozesses³¹⁴

Behälterbewegungen gesamt ohne Konsolidierung pro Tag	Zusätzliche Einlagerungen pro Tag	Zusätzliche Auslagerungen pro Tag	Ladungsträgerbewegungen gesamt pro Tag	Ladungsträger pro Stunde
7227	305	305	7837	490

³¹³ Quelle: Eigene Darstellung

³¹⁴ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH

In Tabelle 9 ist die Umrechnung der Kommissionierleistung in Ladungsträgerbewegungen angeführt. Tabelle 10 zeigt die Auswirkung der Automatisierung des Konsolidierungsprozesses auf die Ladungsträgerbewegungen.

Auslegung der Kommissionierstationen

Eine weitere Einflussgröße auf die Ladungsträgerbewegungen ist die Auslegung der Kommissionierstationen. Dabei ist darauf zu achten, dass die KommissioniererInnen dauerhaft mit Material versorgt werden, damit es zu keinen Wartezeiten kommt. Eine Automatisierungsanlage ist so auszulegen, dass die MitarbeiterInnen während der Arbeit ausgelastet sind.

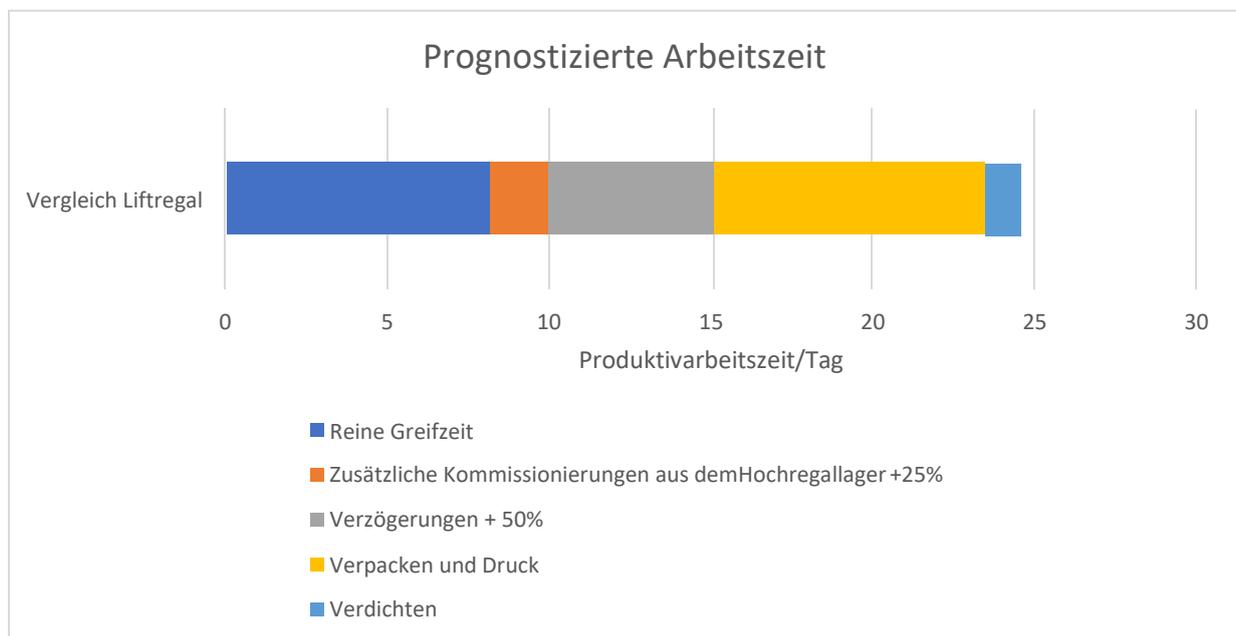


Abbildung 43: Prognostizierte Arbeitszeiten am System³¹⁵

Abbildung 43 zeigt die Prognostizierte Arbeitszeit für die Kommissionierung. Dabei ist angenommen worden, dass täglich 2747 Kommissionierungen durchgeführt werden. Dabei ist die gewichtete durchschnittliche Greifzeit am Liftregal aus den Zeitstudien herangezogen worden. Diese ist anschließend mit einem Aufschlag von 25% für zusätzliche Kommissionierungen für Kleinteile, die derzeit im Hochregallager gelagert sind, versehen worden. Anschließend sind weitere Aufschläge für ungeplante Verzögerungen (50%) sowie Verpackung des Materials und Drucken der Warenbegleitkarte hinzugezählt worden.

Bei automatisierten Systemen sind in der Regel Verdichtungsvorgänge notwendig, um den Füllgrad von Behältern zu erhöhen. Dieser Vorgang wird typischerweise an den

³¹⁵ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
 Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
 Kommissionierstationen durchgeführt und ist mit 400 Verdichtungen und 10 Sekunden pro Verdichtung abgeschätzt worden.

Eine strategische Entscheidung hat ergeben, dass vier Kommissionierstationen am Standort Mödling zum Einsatz kommen sollen.

Aus den Annahmen und Zeitstudien geht hervor, dass bei voller Produktivität 111 Kommissionierzeilen pro Stunde pro MitarbeiterIn kommissioniert werden können. Zu Spitzenzeiten wird angenommen, dass alle vier Kommissionierstationen mit ausreichend Material versorgt werden müssen. Folgende Rechnung kann analog zu den oben genannten Kriterien aufgestellt werden (Tabelle 11).

Tabelle 11: Berechnung der Ladungsträgerbewegungen für vier Kommissionierstationen³¹⁶

Kommissionierungen pro Stunde	Auslagerungen Quellbehälter pro Stunde	Einlagerungen Quellbehälter (worst case 1:1) pro Stunde	Auslagerungen Zielbehälter pro Stunde	Ladungsträgerbewegungen gesamt pro Stunde
444	560	560	49	1169

Analog zu der oben genannten Aufstellung muss für dieses Szenario ebenfalls die Auswirkung der Automatisierung des Konsolidierungsprozesses durchgeführt werden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Ladungsträgerbewegungen für automatischen Konsolidierungsprozess³¹⁷

Behälterbewegungen gesamt ohne Konsolidierung pro Stunde	Zusätzliche Einlagerungen pro Stunde	Zusätzliche Auslagerungen pro Stunde	Ladungsträgerbewegungen pro Stunde
1169	49	49	1267

Spitzenszenario

Für die Auslegung der Leistungsspitzen sind weitere Annahmen erforderlich. Hier wird damit gerechnet, dass die Anlage gleichzeitig alle Kommissionierstationen mit Behältern versorgt und zeitgleich Einlagerungen vom Wareneingang und Auslagerung für Versand- und Produktionsware abgewickelt werden müssen. Dafür können die errechneten Ladungsträgerbewegungen pro Stunde für die Kommissionierung und

³¹⁶ Quelle: Eigene Darstellung

³¹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

Möglichkeiten der Lagerautomatisierung am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH
Technologieauswahl einer Lagerautomatisierungslösung für Knorr-Bremse Mödling GmbH
Konsolidierung von 1267 um weitere 200 Ladungsträgerbewegungen pro Stunde aus dem Wareneingang und 400 Ladungsträgerbewegungen pro Stunde für Auslagerungen von vorkommissionierter Auftragsware erweitert werden. Das ergibt eine Leistungsspitze von 1867 Ein- und Auslagerungen pro Stunde.

Diese Spitzen treten dann auf, wenn alle Bereiche gleichzeitig hohe Anforderungen an das System stellen. Die Berücksichtigung dieser Szenarien ist vor allem dann wichtig, wenn Leistungsspitzen aufgrund von organisatorischen Maßnahmen nicht geglättet werden können.

Stellplätze

Auch die erweiterte Lagerkapazität von 13.000 muss auf für die nächsten 10 Jahre Wachstum im Unternehmen ausgelegt werden. Für die Zwischenpufferung müssen je nach Auftragsvorschau ca. weitere 500 Lagerplätze geschaffen werden. Bei 2,5% jährlicher Vergrößerung der 13.500 Stellplätze sind in zehn Jahren mindestens 16.860 Stellplätze notwendig.

8.2.4 Technologieauswahl

In diesem letzten Schritt der Vorgehensweise werden die ausgewerteten Kennzahlen zur Technologieauswahl herangezogen.

Zuletzt sind sich AS/RS mit Shuttletechnologie und das AutoStore-System gegenübergestellt. Das AutoStore-System kommt bei den berechneten Leistungsspitzen deutlich an seine Grenzen. Des Weiteren ist das System auf Grund seiner vielfach tiefen Lagerung bei einem breiten Sortiment und strengem FIFO nicht zu empfehlen. Ein weiterer Nachteil dieses Systems ist, dass die Kommissionierstationen aufgrund fehlender Fördertechnik direkt am Lagerblock angebracht werden müssen, was die optimale Ausnutzung des vorhandenen Volumens nicht ermöglicht. Aufgrund der nicht-flexiblen Einsetzbarkeit kann das AutoStore-System das Projektziel nicht so gut erreichen wie eine Lösung mit einem AS/RS-Shuttlesystem.

Die Technologiewahl für Knorr-Bremse Mödling fällt auf ein AS/RS-System mit Shuttletechnologie. Ein Lagersystem mit zwei Gassen ist in der Lage, die Leistungserfordernisse zu erfüllen. Die gegebene hohe Leistungskapazität kann dabei helfen, Inventur- und Verdichtungs Vorgänge über die Anlage abzubilden, wenn diese nicht unter Volllast steht. Bei der Kapazität der Stellplätze kann eine

größzügigere Auslegung eine größere Zwischenpufferung von Versand- und Produktionsaufträgen ermöglichen.

Wie in Kapitel 7.2.4 ist weiterführend das Gespräch mit Systemlieferanten zu suchen, um eine genaue Spezifikation durchführen zu können.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der steigenden Beliebtheit von Automatisierung in Materialfluss- und Lagersystemen stehen Firmen vor der Frage welche Technologie sie zur Automatisierung ihrer Abläufe wählen. Nach einer Einleitung sind deshalb in Kapitel zwei grundlegende Begriffe zum Thema Logistik erklärt. In Kapitel drei sind darauffolgend Themen der Lagerhaltung wie Lagermittel, Lagerbetriebsstrategien und gängige Arbeiten im Lager erläutert. Kennzahlen und Kennzahlensysteme, sowie deren Entwicklung und Anwendung im Lager sind in Kapitel vier beschrieben. Kapitel fünf bietet einen Überblick über die in der Lagerautomatisierung häufig eingesetzten Technologien, die Vor- und Nachteile dieser sowie durchschnittliche Leistungsangaben dazu. Im letzten Teil des Theorieblocks sind die in der Literatur gängigsten Schritte zum Entwurf von Lagersystemen angeführt.

Anschließend ist in Kapitel sieben die Vorgehensweise, zur Technologiewahl von Lagerautomatisierungslösungen und die dazu benötigten Kennzahlen beschrieben. In Kapitel acht wird diese Vorgehensweise dann am Beispiel der Knorr-Bremse Mödling GmbH getestet. Dieses Kapitel beinhaltet weiters eine Firmenbeschreibung, sowie die detaillierte Beschreibung der Schritte bis zur Technologiewahl.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Technologieauswahl für Systeme der Lagerautomatisierung nicht pauschal für gewisse Umstände getroffen werden kann. Vielmehr ist eine genaue Betrachtung der Prozesse und Arbeitsweisen notwendig, welche in Kennzahlen übersetzt werden müssen mit denen anschließend eine Technologiewahl getroffen werden kann.

Da auf dem Gebiet der Lagerautomatisierung aktuell sehr viel technologische Entwicklung, sowohl in den physischen Lösungen als auch in der Materialflussteuerung sowie in der Benutzerführung passiert, gibt es hier wenig sehr zutreffende Referenzen in der Literatur. Darüber hinaus findet man keine belastbaren Modelle welche in der Lage sind basierend auf bekannten Anforderungen eine Technologieauswahl zu unterstützen.

Die vorliegende Arbeit versucht einen Vorstoß in dieses Aufgabengebiet zu leisten und Unternehmen sowie Individuen einen Leitfadens zu bieten, wie die Herangehensweise an die Planung und Auslegung einer Lagerautomatisierungslösung erfolgen kann.

Literaturverzeichnis

Arnold, D.; Furmans, K. (2009): Materialfluss in Logistiksystemen. 6. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-01405-5.

Baker, P.; Canessa, M. (2009): Warehouse design: A structured approach. In: European Journal of Operational Research, Jg. 193, Nr. 2, S. 425–436.

Baker, P.; Halim, Z. (2007): An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. In: Supply Chain Management: An International Journal, Jg. 12, Nr. 2, S. 129–138 Emerald Group Publishing Limited.

Bond, J. (2020): Top 20 Materials Handling System Suppliers 2020. URL: https://www.mmh.com/article/top_20_materials_handling_system_suppliers_2020 (Zugriff: 21.12.2020).

Cieplik, W. (2015): Regalbediengerät oder Shuttle? URL: <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/regalbediengerat-oder-shuttle.htm> (Zugriff: 21.12.2020).

Delfmann, W.; Reihlen, M.; Wickinghoff, C. (2003): Prozessorientierte Logistik-Leistungsrechnung. 01.01.2003.

Diehn, M. (2015): Shuttlesysteme vs Regalbediengeräte: Keine Frage des Geschmacks. URL: <https://www.materialfluss.de/regalbediengerate/shuttlesysteme-vs-regalbediengerate-keine-frage-des-geschmacks.htm> (Zugriff: 29.12.2020).

DIN 30781-1:1989-05, Transportkette; Grundbegriffe DIN 30781-1:1989-05, Transportkette; Grundbegriffe, Beuth Verlag GmbH. URL: <https://www.beuth.de/de/-/-/1424693> (Zugriff: 06.12.2020a).

Fischer, W.; Dittrich, L. (2004): Materialfluß und Logistik: Potentiale vom Konzept bis zur Detailauslegung. 2. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-62260-1.

Freye, D. Logistik-Definitionen. URL: <https://www.explortal-logistics.net/explortal-logistics/wissen-1/begriffsdiskussionen/logistik-definitionen.html> (Zugriff: 04.11.2020).

Govindaraj, T.; Blanco, E. E.; Bodner, D. A.; Goetschalckx, M.; McGinnis, L. F.; Sharp, G. P. (2000): Design of warehousing and distribution systems: an object model of facilities, functions and information. Proceedings of Smc 2000 conference proceedings. 2000 IEEE international conference on systems, man and cybernetics. "cybernetics evolving to systems, humans, organizations, and their complex interactions"

Grün, O.; Jammerneegg, W.; Kummer, S. (2019): Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik. Hallbergmoos: Pearson Deutschland GmbH. ISBN 978-3-8273-7351-9.

Gudehus, T. (2013): Logistik I: Grundlagen, Verfahren und Strategien. Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-56975-3.

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2004): Produktion und Logistik. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-23246-9.

Higginson, J.; Bookbinder, J. (2005): Distribution Centres in Supply Chain Operations. In: Logistics Systems: Design and Optimization. ISBN 978-0-387-24971-1, S. 67–91.

Hompel, M.; Sadowsky, V.; Beck, M. (2011): Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-29622-5.

Hompel, M.; Schmidt, T. (2007): Warehouse Management: Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-74876-2.

Hompel, M.; Schmidt, T.; Dregger, J. (2018): Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik. 4. Aufl., Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-56180-5.

Irrgang, R. (2019): Regalbediengerät (RBG): Definition, Aufbau & Hersteller. URL: <https://www.mm-logistik.vogel.de/regalbediengerat-rbg-definition-aufbau-hersteller-a-604169/> (Zugriff: 29.12.2020).

Irrgang, R. (2020): Flexible Logistikmaschinen. URL: <https://www.mm-logistik.vogel.de/flexible-logistikmaschinen-a-956045/> (Zugriff: 30.12.2020).

Jodin, D.; Hompel, M. (2012): Sortier- und Verteilsysteme: Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung. 2. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-31289-2.

Jodlbauer, H. (2008): Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. Springer Vienna. ISBN 978-3-211-78140-1.

Klement, P. (2019): AutoStore: Lagertechnologie aus Norwegen. Logistik KNOWHOW. URL: <https://logistikknowhow.com/lagerautomatisierung/autostore-lagertechnologie-aus-norwegen/> (Zugriff: 27.12.2020).

Koch, S. (2012): Logistik: Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-15288-7.

Krieger, P. D. W. Definition: Kennzahlen.
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kennzahlen-41897>. URL:
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kennzahlen-41897> (Zugriff: 07.12.2020).

Krämer, K. (2002): Automatisierung in Materialfluss und Logistik: Ebenen, Informationslogistik, Identifikationssysteme, intelligente Geräte. Deutscher Universitätsverlag. ISBN 978-3-8244-2152-7.

Manzini, R.; Gamberi, M.; Regattieri, A. (2006): Design and control of an AS/RS. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Jg. 28, Nr. 7, S. 766–774.

Martin, H. (2014): Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9. Aufl., Springer Vieweg. ISBN 978-3-658-03143-5.

Martin, H. (2016): Transport- und Lagerlogistik: Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit. Springer-Verlag. ISBN 978-3-658-14552-1.

Mehta, B. R.; Reddy, Y. J. (2014): Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-12-801098-3.

Pfohl, H.-C. (2013): Logistikmanagement: Funktionen und Instrumente. Implementierung der Logistikkonzeption in und zwischen Unternehmen. Springer-Verlag. ISBN 978-3-662-08410-6.

Pfohl, H.-C. (2018): Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 9. Aufl., Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-56227-7.

Poll, D. Intralogistik: Optimale Produktionsauslastung bei niedrigem Lagerrisiko. Produktion Online. URL: <https://www.produktion.de/technik/optimale-produktionsauslastung-bei-niedrigem-lagerrisiko-123.html> (Zugriff: 23.12.2020).

Rouwenhorst, B.; Reuter, B.; Stockrahm, V.; van Houtum, G. J.; Mantel, R. J.; Zijm, W. H. M. (2000): Warehouse design and control: Framework and literature review. In: European Journal of Operational Research, Jg. 122, Nr. 3, S. 515–533.

Simons, R. (1994): Levers of Control: How Managers Use Innovative Control Systems to Drive Strategic Renewal. Harvard Business Press. ISBN 978-1-4221-6067-1.

Sprock, T.; Murrenhoff, A.; McGinnis, L. F. (2017): A hierarchical approach to warehouse design. In: International Journal of Production Research, Jg. 55, Nr. 21, S. 6331–6343 Taylor & Francis.

Staehe, W. H. (1969): Kennzahlen und Kennzahlensysteme als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen. 1. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-663-00706-7.

Stölzle, W.; Gaiser, C. (1996): Logistik Kennzahlensystem. Kennzahlen als Instrument für den Leistungsnachweis von Distributionslagerhäusern. In: Controlling, Jg. 8, Nr. 1, S. 40–48.

Syska, A. (2014): Kennzahlen für die Logistik. Springer-Verlag. ISBN 978-3-662-08056-6.

Thomas, M.; Thomas, S. (2014): Regalbediengerät. Logistik KNOWHOW. URL: <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/regalbediengerat/> (Zugriff: 23.12.2020).

Van Belle, J.; Valckenaers, P.; Cattrysse, D. (2012): Cross-docking: State of the art. In: Omega, Jg. 40, Nr. 6, S. 827–846 (Special Issue on Forecasting in Management Science).

Weber, J.; Kummer, S. (1990): Aspekte des betriebswirtschaftlichen Managements der Logistik. In: Die Betriebswirtschaft, Jg. 50, Nr. 6 S. 775–787.

Zsifkovits, H. E. (2012): Logistik. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.

Ersatzteillager: Schneller Lieferservice für Trumpf-Kunden Durchblick im Artikel-Dschungel. Industrieanzeiger. URL:
<https://industrieanzeiger.industrie.de/technik/logistik/durchblick-im-artikel-dschungel/>
(Zugriff: 23.12.2020).

Konsolidierung. Logistik KNOWHOW. URL:
<https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/konsolidierung/>
(Zugriff: 01.12.2020).

Atomisierung der Aufträge. Logistik KNOWHOW. URL:
<https://logistikknowhow.com/logipedia/atomisierung-der-auftraege/>
(Zugriff: 02.12.2020).

Mehr als nur lagern – OSR Shuttle™ Evo optimiert Logistik | KNAPP AG. KNAPP. URL: <https://www.knapp.com/evo/> (Zugriff: 23.12.2020).

Roboter automatisieren die Stückgutkommissionierung - ingenieur.de. ingenieur.de - Jobbörse und Nachrichtenportal für Ingenieure. URL: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/logistikfuerunternehmen/lagerlogistik/roboter-automatisieren-die-stueckgutkommissionierung/> (Zugriff: 31.12.2020).

SCM Definitions and Glossary of Terms. URL:

https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx

(Zugriff: 04.11.2020).

Autostore. URL: <https://autostoresystem.com/de/systeme/> (Zugriff: 27.12.2020).

Technologie: SERVUS Logistik Baukasten - SERVUS Intralogistics. SERVUS Intralogistics

GmbH. URL: <https://www.servus.info/technologie-servus-logistik-baukasten/> (Zugriff:

23.12.2020)

